



UNISINOS

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS
CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES ACÚSTICAS DE
CONTRAPISOS PRODUZIDOS COM MATERIAIS
RECICLADOS**

JOICE GIULIANI KRÁS BORGES

São Leopoldo, Novembro de 2015

JOICE GIULIANI KRÁS BORGES

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES ACÚSTICAS DE
CONTRAPISOS PRODUZIDOS COM MATERIAIS
RECICLADOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS como requisito parcial para a qualificação em trabalho dissertação.

Orientador: Prof. Dr. Bernardo Fonseca Tutikian
Co-orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Maria Fernanda de Oliveira Nunes

Banca examinadora: Prof^ª. Dr^ª. Eugenia Aumond Kuhn
Prof. Dra. Dinara Xavier da Paixão

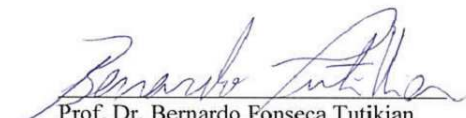
São Leopoldo, Novembro de 2015


JOICE GIULIANI KRÁS BORGES


**"ANÁLISE DAS PROPRIEDADES ACÚSTICAS DE
CONTRAPISOS PRODUZIDOS COM MATERIAIS
RECICLADOS"**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração: Gerenciamento de Resíduos, da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS.

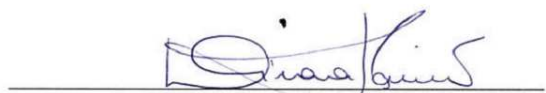
Aprovada em 26 de novembro de 2015


Prof. Dr. Bernardo Fonseca Tutikian
Orientadora - UNISINOS


Prof.^a Dr.^a Luciana Paulo Gomes
Coordenadora do PPGEC - UNISINOS


Prof.^a Dr.^a Maria Fernanda de Oliveira Nunes
Coorientadora - UCS

BANCA EXAMINADORA


Prof.^a Dr.^a Dinara Xavier da Paixão - UFSM


Prof.^a Dr.^a Eugênia Aumond kuhn - Centro Universitário Ritter dos Reis

Dedico esta conquista à minha família, especialmente ao meu esposo e amigo Mauro Vinícius Silva Rocha, pelo amor, paciência, incentivo e apoio.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por conduzir a minha vida, pela saúde e força, e por me dar o privilégio de conviver com pessoas especiais.

Ao professor, Dr. Bernardo Tutikian, pela sua orientação constante, incentivo e dedicação. Junto a ele, um agradecimento especial à Coorientadora, professora Dr^a. Maria Fernanda de Oliveira Nunes.

À professora Dr^a. Andréa Parisi Kern, por permitir a realização do estágio docente.

Aos meus pais Jefferson e Marilene, meus irmãos, meu marido e familiares por todo amor, carinho e incentivo.

A todos os colegas e amigos do itt Performance, pelo apoio e ajuda em especial o bolsista Matheus Dilly laboratorista Sérgio Klippel e analista Fernanda Pacheco.

Aos funcionários do itt FUSE pela ajuda.

Aos colegas do laboratório de materiais de construção (LMC), Ingrid Vergara Schorr, Maurício Chefer, Rodrigo Périco e Júlio César Maia Daudt, pelo apoio e ajuda.

Pela distância necessária durante esta trajetória, agradeço a todos os amigos.

A empresa Tacosola, empresa Rondosul e empresa Pirahy alimentos, pelo fornecimento dos resíduos.

Ao programa de pós-graduação em engenharia civil-PPGEC/Unisinos.

Aos órgãos de fomento à pesquisa, Fapergs, pela concessão da bolsa de estudos e Capes, pelo financiamento da pesquisa.

A todas as pessoas que, por ventura eu tenha esquecido, e que de certa forma

FONTES DE FINANCIAMENTO DA PESQUISA

Este trabalho foi realizado na Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC, com incentivo programa de Suporte à Pós-Graduação de Instituições de Ensino Particulares.

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES/PROSUP.

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq.

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul – FAPERGS.

Instituto Tecnológicos em Desempenho e Construção Civil– itt Performance.

Instituto Tecnológicos em Ensaios e Segurança Funcional – itt FUSE.



SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DA PESQUISA.....	19
1.1.1 Justificativa da escolha dos resíduos	21
1.1.1.1 Resíduo da indústria calçadista: EVA.....	21
1.1.1.2 Resíduo da agroindústria: casca de arroz (CA).....	22
1.1.1.3 Resíduos de madeira da indústria da construção civil: serragem (RM).....	23
1.2 OBJETIVOS	24
1.2.1 Objetivo geral	24
1.2.2 Objetivos específicos	24
1.3 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	24
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	26
2.1 CONTRAPISO EM EDIFICAÇÕES.....	26
2.2 ACÚSTICA DE EDIFÍCIOS	27
2.3 DESEMPENHO ACÚSTICO DE SISTEMAS DE PISO	31
2.4 USO DE RESÍDUOS NO ISOLAMENTO ACÚSTICO	38
2.4.1 Utilização de resíduos na construção civil	39
2.4.2 Resíduo de EVA	41
2.4.3 Resíduos de casca de arroz	43
2.4.4 Resíduos de madeira	44
3 MATERIAIS E MÉTODOS	47
3.1 MATERIAIS	47
3.1.1 Aglomerante	47
3.1.2 Análise granulométrica do cimento	48
3.1.3 Agregados e resíduos	49
3.1.3.1 Agregado Miúdo Natural	49
3.1.3.2 Seleção dos resíduos	49
3.1.3.3 Resíduo de EVA.....	50
3.1.3.4 Resíduo do arroz, casca de arroz (CA)	51
3.1.3.5 Resíduo de madeira (serragem) - (RM)	52
3.1.3.6 Água.....	53
3.1.4 Caracterização dos agregados	53
3.1.4.1 Massa específica e unitária	53

3.1.4.2 Análise granulométrica dos agregados	54
3.2 MÉTODOS DE ENSAIOS.....	56
3.2.1 Confeção das formas.....	56
3.2.2 Produção das argamassas	57
3.2.3 Moldagem dos Corpos de prova.....	58
3.2.4 Ensaio no estado fresco.....	60
3.2.4.1 Índice de consistência.....	60
3.2.4.2 Densidade de massa.....	60
3.2.5 Ensaio no estado endurecido.....	61
3.2.5.1 Densidade de Massa Aparente.....	61
3.2.5.2 Resistência à compressão e à tração na flexão	61
3.2.5.3 Resistência a impactos de corpo duro.....	62
3.2.6 Rigidez Dinâmica.....	63
3.2.7 Fluência à compressão	66
3.2.8 Níveis de ruído de Impacto	67
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	73
4.1 PROPRIEDADES FÍSICAS AVALIADAS	73
4.1.1 Ensaio no estado fresco.....	73
4.1.1.2 Índice de consistência.....	73
4.1.1.3 Densidade de massa.....	74
4.2 Caracterizações da argamassa no estado endurecido	75
4.2.1 Medição da densidade aparente.....	75
4.2.2 Ensaio de Resistência à tração na flexão e à compressão	77
4.2.2.1 Tração na flexão	77
4.2.2.2 Compressão axial.....	78
4.3 ENSAIO DE CORPO DURO	79
4.4 RIGIDEZ DINÂMICA.....	80
4.4.1 Rigidez dinâmica dos compósitos com EVA	81
4.4.2 Rigidez dinâmica dos compósitos com CA	82
4.4.3 Rigidez dinâmica dos compósitos com RM	83
4.5 FLUÊNCIA À COMPRESSÃO.....	84
4.5.1 Fluência à compressão dos compósitos com EVA	84
4.5.2 Fluência à compressão dos compósitos com CA	85
4.5.3 Fluência à compressão dos compósitos com RM	86

4.6 NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA DE IMPACTO PADRONIZADO PONDERADO ($L'_{nT,W}$).....	88
4.6.1 Níveis de pressão sonora de impacto padronizado ponderado ($L'_{nT,W}$) dos compósitos com EVA	90
4.6.2 Níveis de pressão sonora de impacto padronizado ponderado ($L'_{nT,W}$) dos compósitos com CA	91
4.6.3 Redução dos sons de impacto, (ΔL) em dB, estimado a partir da rigidez dinâmica	92
5 CONCLUSÕES	95
5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS	95
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	97
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98
APÊNDICE A: QUANTIDADE DE MATERIAIS UTILIZADOS PARA CONFECCÃO DOS CORPOS DE PROVA	113
APÊNDICE B: GRANULOMETRIA DA AREIA E DOS RESÍDUOS	114
APÊNDICE C: TRAÇÃO NA FLEXÃO AOS 28 DIAS	116
APÊNDICE D: COMPRESSÃO AXIAL	117
APÊNDICE E: FLUÊNCIA À COMPRESSÃO	118
APÊNDICE F: NÍVEL DE PRESSÃO SONORA PADRONIZADO PONDERADO ($L'_{nT,W}$) E OS VALORES POR BANDA DE UM TERÇO DE OITAVA (L'_{nT}).	121

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Valores de referência de critério e nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado, $L'_{nT,w}$ recomendados pela norma brasileira NBR 15575-3:2013	36
Quadro 2: Caracterização química, física e mecânica do cimento Portland CPV-ARI RS	48
Quadro 3: Diâmetro equivalente do cimento.....	48
Quadro 4: Caracterização dos agregados.....	53
Quadro 5: Análise granulométrica dos agregados.....	54
Quadro 6: Modelo experimental de combinação de espessura das amostras e teor de substituição da areia pelos resíduos.....	57
Quadro 7: ensaios nas argamassas no estado fresco e normas utilizadas.....	58
Quadro 8: Ensaios na argamassa no estado endurecido e normas utilizadas	60
Quadro 9: Massa de corpo duro, altura e energia do impacto, critérios e níveis de desempenho para impacto de corpo duro em sistemas de pisos.....	62
Quadro 10: Resultados do ensaio de consistência das argamassas no estado fresco	73
Quadro 11: Resultados do ensaio para determinação da rigidez dinâmica e frequência de ressonância das amostras	81
Quadro 12: níveis de pressão sonora de impacto padronizado ponderado (L'_{nT}).....	89
Quadro 13: Índice de redução dos sons de impacto, ΔL , das argamassas.	93

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Exemplo de um sistema de piso	27
Figura 2: Propagação da onda sonora em torno de uma posição de equilíbrio.....	29
Figura 3: Fontes primária e secundária de ruídos.	30
Figura 4: redução ponderada do nível de pressão de ruído de impacto	34
Figura 5: Comparação entre Brasil e alguns países dos valores de nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado	37
Figura 6: Curvas típicas da variação dos sons de impacto.....	38
Figura 7: Fluxograma da pesquisa	47
Figura 8: Gráfico do diâmetro equivalente do cimento	49
Figura 9: Equipamentos utilizados no beneficiamento do EVA (a) máquina de corte e (b) máquina lixadeira.....	50
Figura 10: resíduo de EVA	50
Figura 11: Equipamentos utilizados para o beneficiamento da casca de arroz (a) descascador de arroz e (b) recolhimento da casca.....	51
Figura 12: Casca de arroz.....	51
Figura 13: (a) máquina de corte; (b) máquina de plaina; e (c) lixadeira.....	52
Figura 14: Resíduo de madeira	52
Figura 15: Curva granulométrica dos agregados	55
Figura 16: Análise visual da forma das partículas dos resíduos: (a) casca de arroz; (b) EVA (d) resíduo de madeira EVA	56
Figura 17: (a) Forma de 1,00 x 1,00m e Forma de 0,20x 0,20m e (b).....	57
Figura 18: Moldagem dos Corpos de prova.....	59
Figura 19: Acabamento final.....	59
Figura 20: Ensaio de tração na flexão	61
Figura 21: Condições de ensaio de Corpo duro	63
Figura 22: Amostras preparadas para o ensaio de rigidez dinâmica.....	64
Figura 23: Shaker usado para o ensaio de rigidez dinâmica	65
Figura 24: Procedimento de ensaio de rigidez dinâmica	65
Figura 25: Esquema de ensaio de Rigidez dinâmica.....	66
Figura 26: Esquema de ensaio de fluência à compressão	67
Figura 27: Equipamentos usados para realização do ensaio de ruído de impacto	68
Figura 28: Câmara acústica do Itt Performance.....	69

Figura 29: Corte Câmera acústica	70
Figura 30: Planta baixa Câmara acústica (sala emissora) - Esc: 1/50	71
Figura 31: Amostra sendo ensaiada.....	71
Figura 32: Diferença de comportamento entre os resíduos e porcentagens de substituição pela areia74	
Figura 33: Resultados de densidade de massa das argamassas no estado fresco	75
Figura 34: Resistência à tração na flexão para as amostras.....	77
Figura 35: Resistência à compressão axial.....	78
Figura 36: Amostra com EVA 25%	79
Figura 37: Amostra com CA 75%	80
Figura 38: Amostras com 50 e 75% de RM	80
Figura 39: Rigidez dinâmica e frequência de ressonância das amostras com EVA.....	82
Figura 40: Rigidez dinâmica e frequência de ressonância das amostras com casca de arroz ..	83
Figura 41: Rigidez dinâmica e frequência de ressonância das amostras com resíduos de madeira	83
Figura 42: Resultados de redução de espessura dos compósitos de referência e de EVA	85
Figura 43: Resultados de redução de espessura dos compósitos de referência e de CA.....	86
Figura 44: Resultados de redução de espessura dos compósitos de referência e de RM	87
Figura 45: Resultados dos níveis de ruído de impacto das amostras com EVA.	90
Figura 46: Resultados dos níveis de ruído de impacto das amostras com CA.....	92

LISTA DE EQUACÕES

Equação 1	29
Equação 2	33
Equação 3	34
Equação 4	35
Equação 5	35
Equação 6	37
Equação 7	61
Equação 8	68
Equação 9	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

μs - Microsegundo 1×10^{-6}

a/agl – Relação água/aglomerante

A/C - Água/Cimento

ABIPLAST - Associação Brasileira da Indústria de Plásticos

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRAF - Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas

ASTM - American Society for Testing and Materials

BCA - "Building Code of Australia"

BCA - Building Code of Australia da Austrália

CA- Casca de arroz

CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção

CII - Classe de Isolamento de Impacto

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento

CP V-ARI - Cimento Portland de Alta Resistência Inicial

CP's – Corpos de provas

$D'_{nT,w}$ - Diferença de nível de Pressão Sonora aérea Padronizada Ponderada

dB- Decibel

$D_{n,T}$ - Diferença de nível de Pressão Sonora aérea Padronizada

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral

EPIA- Estudos Prévios de Impacto Ambiental

EVA- Acetato Etileno de Vinila

FHA -“ Federal Housing Administration” do "United States Department Of Housing and Urban Development" - HUD (Berendt, 1967).

FTIR- Espectroscopia na região de infravermelho

g/cm^2 - Gramas/ centímetros quadrados

Hz = Hertz

IBC - "Institute of Building Control"

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IBGE- Instituto Brasileiro de geografia e estatística

ISO - *International Standardization Organization*

itt Performance - Instituto Tecnológico em Desempenho da Construção Civil - UNISINOS

kg/m^3 –Kilograma por metro cubico

km- quilômetros
KW/h – Quilowatt por hora
 $L_{n,T}$ - Nível de Pressão Sonora de Impacto Padronizado
 $L'_{nT,w}$ - Nível de Pressão Sonora de Impacto Padronizado Ponderado
LMC - Laboratório de Materiais de Construção da UNISINOS
 L_p – “Nível sonoro médio da sala de recepção”
 m^2 - Metros quadrados
MDF- “Medium Density Fiberboard”
MEV- Microscopia eletrônica de varredura
mm - Milímetros
Mpa – Megapascal
NBCC- *New Brunswick Community Colleg* do Canada
NBR - Norma Brasileira Regulamentadora
NIS - Nível de intensidade sonora
NM - Norma Mercosul
NPS - Nível de pressão sonora
NR -Norma Regulamentadora
NRA - *Nouvelle Réglementation Acoustique*
NRC - *Noise reduction coeficiente*
pH - Potencial hidrogeniônico
PNMA- Política Nacional de Meio Ambiente
RM - Resíduo de Madeira
SNIC - Sindicato Nacional da Indústria do Cimento
SOBRAC - Sociedade Brasileira de Acústica
t/ano – Tonela por ano
TGA- Termogravimetria
TR60- Tempo de reverberação
 T_s' - Rigidez dinâmica aparente
UNISINOS - Universidade do vale dos sinos

LISTA DE SÍMBOLOS

CO₂- Dióxido de carbono

°C - Grau Celsius

RESUMO

KRAS BORGES. G, J. **Análise das propriedades acústicas de contrapisos produzidos com materiais reciclados.** São Leopoldo, 2015. 121f. Projeto de Qualificação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Unisinos, São Leopoldo. 2015.

Em meio às mudanças que o setor da construção civil está passando, encontra-se a necessidade de buscar soluções que não agridam o meio ambiente, visto que o setor é grande responsável pela escassez de recursos naturais e pelo aumento da poluição ambiental. Uma alternativa precursora é a inserção de produtos mais sustentáveis, com a utilização de resíduos que podem ser usados como matéria prima em substituição aos agregados naturais. Diante disso, o desafio é a comprovação do desempenho dos produtos e dos sistemas construtivos, principalmente após a nova versão da NBR 15575 (ABNT, 2013) - Desempenho das edificações. A norma estabelece parâmetros de desempenho e requisitos de conforto ao usuário, entre os quais está o acústico. Neste contexto o objetivo do trabalho foi investigar o potencial acústico de compósitos de argamassa com substituição parcial da areia por resíduos: da agroindústria (casca de arroz), da indústria de calçados (EVA) e da construção civil (resíduo de madeira, serragem). Foram investigados os teores de substituição de 25%, 50% e 75%. A medição de isolamento acústico foi efetuada através do ruído de impacto, em placas de 1 m², nas espessuras 3 e 5cm, e ensaio de rigidez dinâmica em placas de 20x20 cm, nas espessuras 3 e 5 cm. Os resultados mostraram que a redução dos níveis de ruído de impacto é maior na medida em que se aumenta a espessura e o teor de resíduos das amostras, especialmente nas bandas de frequências acima de 500 Hz. Em relação aos níveis de pressão sonora padronizado ponderado ($L'_{nT,W}$), o EVA se destacou entre os resíduos, seguido da casca de arroz. As amostras confeccionadas com 75% de EVA apresentaram um forte decaimento nas bandas de frequência acima de 500 Hz. As amostras confeccionadas com 50% de casca de arroz apresentaram reduções de 1 dB para as espessuras de 3 cm e de 3 dB nas amostras com espessuras de 5 cm em relação às amostras de referência.

Palavras-chave: construção civil; resíduo; ruído de impacto; rigidez dinâmica.

ABSTRACT

KRAS BORGES. G, J. **Analysis of subfloors acoustic properties produced with recycled materials.** São Leopoldo, 2015. 121f. Qualification Project (Master in Civil Engineering) – Postgraduate Program in Civil Engineering, Unisinos, São Leopoldo. 2015.

Bearing in mind the evolution of construction industry, it's needed to find solutions that do not harm the environment, considering that the sector is largely responsible for the lack of natural resources and increased environmental pollution. A precursor alternative is increase the use of more sustainable products, such as residues to replace natural aggregates. Thus, the challenge is to prove the performance of products and construction systems, especially after the new version of NBR 15575 (ABNT, 2013) - Performance of buildings. The standard establishes performance and comfort requirements for the users, among which is the acoustic. In this context, the aim of this study was to investigate the acoustic potential of grout composites with partial replacement of sand by residues of agro-industry (rice husk), the shoe industry (EVA) and civil construction (wood waste, sawdust). The substitution levels of 25%, 50% and 75% were investigated. The sound insulation measurement was performed through the impact noise in 1 m² plates, in thicknesses 3 and 5 cm, and the dynamic stiffness test, in plates of 20x20 cm, with thicknesses of 3 and 5 cm. The results showed that the reduction of the impact noise level is higher as it increases the thickness and the residues of the samples, especially in bands above 500 Hz frequency. Regarding the sound pressure levels of weighted standard impact ($L'_{nT,W}$), EVA stood out among the residues, followed by rice husk. The samples made with 75% EVA showed strong decay in the frequency bands above 500 Hz. The samples made with 50% of rice husk showed reductions of 1 dB for the thickness of 3 cm, and 3 dB in samples with thickness of 5 cm, in comparison with the reference samples.

Keywords: construction; residue; impact noise; dynamic stiffness.

1 INTRODUÇÃO

O setor da construção civil vem passando por mudanças impulsionadas pelas obras de infraestrutura e pelos programas habitacionais dos últimos anos (KLINK; DENALDI, 2014). Aliado a este fato, tem-se o aumento populacional que traz uma inevitável poluição sonora principalmente nos grandes centros urbanos.

Além disso, nota-se um aumento no custo dos materiais, principalmente, de cimento e areia, insumos muitas vezes advindos de fontes não renováveis. De acordo com Cornachhia (2009), uma das consequências na elevação dos custos dos materiais de construção é a diminuição das espessuras da estrutura entre ambientes, o que muitas vezes promove perda de qualidade. Ainda, as espessuras são diminuídas para trazer aumento na produtividade o que, consequentemente, reduz os custos da obra.

Conforme o Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM (2014), no Brasil, o consumo de areia e pedra britada foi de 377 milhões de toneladas em 2013, e o consumo de cimento, segundo o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento - SNIC (2014), foi de 69,3 milhões de toneladas. De acordo com Isaia (2011), na produção de uma tonelada de cimento é consumido aproximadamente 100-120 kWh de energia e emitido em torno de 800 kg de CO₂eq.

Diversos setores da economia estão buscando produtos mais sustentáveis e sistemas construtivos que tendam a uma redução de custo e de impactos ambientais (CAMPOS; MAZINI; SILVA NETO, 2012). Segundo Tonet e Gorninski (2013), a utilização de resíduos industriais como matéria prima para a construção civil, em substituição dos produtos convencionais, contribui para um desenvolvimento sustentável, evitando destinações finais incorretas. Por outro lado, segundo Rezende Rodrigues e Vecchi (2014), esta redução de custo reflete no desempenho e na qualidade das edificações.

Considerando a maior exigência do mercado, a busca por qualidade, para trazer mais conforto aos usuários, o desenvolvimento de estudos e inovações tornam-se importantes, devendo ser contemplados desde a concepção do projeto até a escolha dos materiais empregados (SANTOS, 2013). Um avanço significativo para trazer a melhoria de qualidade na construção civil foi a ABNT NBR 15575 (ABNT, 2013) - Edificações Habitacionais — Desempenho. A norma representa um marco na indústria da construção civil brasileira, visto que estabelece requisitos e critérios de desempenho, considerando as exigências do usuário ao avaliar o sistema em condições de uso, algo inédito no Brasil. Diante disso, diversas questões relacionadas ao projeto arquitetônico ganharam maior importância, entre as quais, destaca-se

o isolamento acústico de sistemas de pisos. Trata-se de um dos itens de constantes reclamações de usuários de edifícios residenciais (CORNACCHIA, 2009).

De acordo com Oliveira (2010), as soluções construtivas e os materiais convencionais como fibras de lã de vidro e a lã de rocha, ou os materiais porosos, como espumas de poliuretano e poliestireno, nem sempre atendem os requisitos de desempenho acústico. Além disso, os materiais utilizados em sistemas de piso devem também suportar cargas sem que haja deformações que possam provocar perdas de desempenho ao longo do tempo (LEE *et al.*, 2014).

Em relação ao desempenho acústico, os pisos das edificações não possuem uma espessura mínima definida pelos códigos de obra municipais. Entretanto, as paredes têm suas espessuras regulamentadas, sendo considerados elementos importantes de separação entre unidades habitacionais (NUNES; ZINI; PAGNUSSAT, 2014). Desta forma, para melhorar o isolamento ao ruído de impacto das edificações, segundo Cornacchia (2009), é necessário o conhecimento local, uma vez que os sistemas construtivos das edificações residenciais são distintos entre os países, e a escolha dos sistemas destinados a este fim pode contribuir para estabelecer estratégias de melhoria.

1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DA PESQUISA

De acordo com Loyola (2011), o setor da construção civil é responsável direta e indiretamente pelo consumo de uma grande quantidade de recursos naturais, e também pela geração de uma quantidade significativa de resíduos. Segundo John (2000), a indústria da construção civil consome entre 15% a 50% de todos os recursos extraídos da natureza. Quantidade que coloca esse setor como o maior consumidor individual de recursos naturais.

O consumo de argamassa nas obras brasileiras, incluindo o desperdício, em 1986, chegou próximo a 0,13 m³/m² construído, grande parte usada para contrapiso (LICHTENSTEIN, 1986). Na produção de materiais cimentícios, o setor emite, aproximadamente, 7% das emissões totais de CO₂ em todo o mundo (KIM *et al. et al.*, 2013). Junto com outros setores industriais a construção civil é responsável por parte considerável da geração de resíduos.

Morgado *et al.* (2012) expõem que a utilização de materiais de melhor qualidade e tecnologias inovadoras podem contribuir para melhorar o ciclo de vida ambiental, além de ajudar na sustentabilidade das construções. Santos (2013) e Valle e Simões (2014) afirmam que este problema pode ser mitigado através do aproveitamento de resíduos, haja visto que, em diversos aspectos, os resíduos são nocivos, e podem apresentar potencial de utilização

como coproduto em segmentos variados. Com base nisso, inúmeros trabalhos em todo o mundo estão fazendo uso de resíduos, como exemplo, para avaliar as propriedades físicas, mecânicas e de durabilidade de misturas cimentícias.

No Brasil, a utilização de uma grande diversidade de resíduos na composição de materiais de construção tem sido estudada há algum tempo. Destacam-se, como exemplo, os estudos para determinação do desempenho acústico de compósitos cimentícios com EVA para o isolamento ao som aéreo (GARLET, 1998) e de impacto (HAX, 2002), a utilização de resíduos sólidos, como fibras naturais (vegetais) provenientes dos silos de rejeito que são adicionadas com a finalidade de melhoria das argamassas a base de cimento e concretos (KANNING, 2013). Apesar disso, o conhecimento científico do desempenho acústico ainda é pouco explorado e encontra-se em fase de ascensão.

Tratando-se de desempenho acústico de sistemas de piso, a transmissão sonora é reduzida quando se aumenta a espessura do conjunto, entretanto o principal motivo para não adoção desta prática, segundo Tutikian *et al. et al.* (2013), é o aumento dos custos de material e do peso na estrutura. Desta forma, justifica-se o emprego de materiais leves para este fim. Como funções do contrapiso, Barros e Sabbatini (1991) destacam: possibilitar desníveis entre ambientes; regularizar a base e ser suporte para revestimentos de piso; servir como barreira estanque; e isolante térmico e acústico. Com base nisso, tornam-se importantes os estudos que viabilizem o emprego de compósitos cimentícios destinados ao cumprimento da função conjunta de contrapiso.

As discussões sobre desempenho nas construções brasileiras, até a década de 80, foram apenas no âmbito conceitual. No entanto, impulsionado pelas questões de sustentabilidade nas construções, a partir da década de 90, passou-se a aplicar o conceito “desempenho” (MIRANDA, 2014). Incentivado pelas novas tecnologias, o desempenho, visa ajudar a melhorar a qualidade das habitações, visto que, segundo Borges (2013), o mercado brasileiro carece de caracterização de materiais, principalmente para o isolamento acústico.

Objetivando que tais considerações sejam integradas ao processo de projeto dos edifícios residenciais destaca-se a relevância deste trabalho. Com o estímulo à utilização da ABNT NBR 15575, investigou-se o comportamento acústico de contrapisos destinados a edificações habitacionais, produzidos com materiais reciclados.

1.1.1 Justificativa da escolha dos resíduos

1.1.1.1 Resíduo da indústria calçadista: EVA

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria de Plásticos, o consumo de resinas termoplásticas no Brasil, em 2010, foi de 5,9 milhões de toneladas (ABIPLAST, 2014), sendo que o EVA representa cerca 1% deste montante, ou 59.200 toneladas. No Brasil, em 2005, o processo de corte das chapas de EVA gerou em torno de 18% em massa de material residual, perfazendo o montante da ordem de 7.932 toneladas anuais (ZATTERA *et al.*, 2005). Estima-se que cada par de calçados tenha gerado, em média, 220 gramas de resíduo de EVA (VELHO, 2007).

O estudo do aproveitamento do resíduo de EVA no Brasil teve início com a pesquisa desenvolvida por Garlet (1998), em Porto Alegre. Segundo o autor, a maior parte dos resíduos de EVA não serve para ser reutilizada na própria indústria e seu acúmulo é crescente. Segundo Serrano (2001), a indústria de calçados da região do Vale do Rio dos Sinos (Rio Grande do Sul) gerou uma quantidade de resíduos superior a 200 toneladas/mês em 2001, estando entre estes resíduos oriundos do processo de recortes de placas expandidas, constituídas por aproximadamente 3,9% de EVA. Bezerra (2002) aponta que o volume de resíduos de EVA reaproveitado na própria indústria calçadista está em torno de 40% do volume gerado.

De acordo com Zattera, Zeni e Ferreira (2005), a reciclagem convencional de EVA, é um processo difícil, que pode gerar um produto final de baixa qualidade. Lima Filho (2008) e Rios (2008) concordam que o fato do EVA não se decompor facilmente origina problemas ambientais que vão desde a poluição visual até a proliferação de insetos e de combustão deste material. O problema da geração do resíduo de EVA está associado também a sua baixa massa específica, podendo atingir até $0,15 \text{ g/cm}^3$, gerando dificuldade de armazenamento, podendo ser disposto em aterros sanitários ou a céu aberto (ROLIM, 2000).

Garlet (1998) e Bezerra (2002) sugerem como alternativa para solucionar parcialmente ou totalmente os problemas gerados pelo resíduo de EVA, sua reciclagem e o seu reaproveitamento na construção civil como agregado leve, para ser empregado na produção de concretos, argamassas, blocos e artefatos de cimento. Tutikian *et al.* (2013) afirmam que o concreto moldado com EVA apresenta menor densidade e, em comparação com concretos com agregados naturais, pode melhorar o desempenho acústico ao ruído de impacto em sistemas de pisos.

1.1.1.2 Resíduo da agroindústria: casca de arroz (CA)

De acordo com Melo *et al.* (2010), o cultivo do arroz ocupa o segundo lugar em área plantada no mundo, chegando a 120 milhões de toneladas ao ano. O maior produtor é a China e o Brasil ocupa lugar de destaque, segundo a Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (2015). O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2014) aponta uma produção de 12,6 milhões de toneladas de arroz (em casca) para o ano de 2015 e, se confirmada, será 3,2% maior do que a registrada em 2014 (LSPA, 2015). O consumo de arroz ultrapassa 41 kg/ano per capita (WAILES; CHAVEZ, 2012), sendo o principal produto da cesta básica. O Rio Grande do Sul aparece com 8.472,7 mil toneladas na safra de 2013/2014.

Sabendo-se que as cascas representam 20% desse valor, a produção anual desse rejeito no Estado é da ordem de 1.695.000 t. Esta é a razão pela qual a casca de arroz vem se destacando entre os resíduos agroindustriais em nosso estado (KIELING, 2009). No estudo do processo de uma beneficiadora de arroz do Rio Grande do Sul, observado entre os vinte tipos de resíduos gerados, Saidelles *et al.* (2012) destacaram que a casca de arroz é um dos tipos em maior quantidade. Pandey *et al.* (2010) completam que se trata do coproduto mais expressivo do processamento do arroz. Diante disso, a utilização, o transporte e o destino de forma adequada dos subprodutos gerados é um dos principais desafios enfrentados pela indústria do arroz. (LIM *et al.*, 2012).

Segundo Fávoro, Neto e Radovanovic (2008), muitas fibras naturais, como celulose, madeira, juta, coco e, especialmente “a casca de arroz”, vêm sendo alvo de pesquisas acadêmicas. Alguns exemplos são a utilização destas fibras como reforço em compósitos, uma vez que possui um grande potencial de aplicação no setor da construção civil, diminuindo o custo ambiental, resultado do seu inadequado descarte na natureza (ZUCCO; BERLATO, 2005). Sua utilização no setor da construção civil permite o desenvolvimento de materiais cimentícios com custos mais baixos, o que representa benefícios para o ambiente e habitações mais sustentáveis (RODRIGUES, 2013).

Milani (2008) completam que os aspectos econômicos e tecnológicos, envolvendo a utilização da casca de arroz, viabilizam a substituição parcial da matéria-prima (agregado miúdo), utilizada em materiais de construção convencionais e permite a redução do descarte ou da queima indiscriminada.

Segundo Rodríguez (2013), a CA possui inconveniente, como alto teor de matéria orgânica e de umidade. Por outro lado, os estudos de Guimarães e Tubino (2004); Melo *et al.* (2009); Pauleski (2005); Melo *et al.* (2010) e Flach (2012) demonstram a possibilidade de

utilização da CA. Pereira (2008) destaca que a CA, mesmo com características altamente abrasivas, pouca resistência à degradação, alto teor de cinzas e baixa densidade, o que pode ser positivo para o isolamento acústico.

1.1.1.3 Resíduos de madeira da indústria da construção civil: serragem (RM)

A madeira tem sido utilizada extensivamente como material de construção, como estrutura, devido sua baixa densidade, peso leve e alta rigidez (CHANG, 2014). Apesar disso, segundo Almeida (2011), no Brasil, seu uso está relacionado com habitações de baixa renda ou algo provisório, o que desvaloriza o material. Por outro lado, a utilização de madeira em edifícios residenciais aparece em grande escala em países como os Estados Unidos da América com 90 a 94% do total das edificações, Canadá com 76 a 85%, países nórdicos com 80 a 85% e Escócia com 60% (MORGADO *et al.*, 2012).

De acordo com a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas – ABRAF (2014), no ano de 2009, o Brasil atingiu 6.310.450 ha de florestas plantadas e, segundo Indústria Brasileira de Árvores *Institute* – IBA (2014), as árvores plantadas absorvem 1,767 bilhões de toneladas de CO₂ da atmosfera e cerca de 60% dos plantios são certificados, garantindo a sustentabilidade e a boa prática do setor. Destas, 4.515.730 ha de florestas são de Eucalipto e 1.794.720 ha de Pinus, sendo uma matéria prima essencial para o setor civil. Ainda há a Grápia, Jatobá, Ipê, Louro, Cedro Rosa e Cerejeira, utilizadas na fabricação de portas, janelas, decks e pérgolas.

Garlipp (2008) relata que as florestas plantadas produzem anualmente 1,4 bilhão de m³ de madeira, suprimindo mais de 35% do consumo mundial. O uso dessa madeira se dá em serrarias (46%), fábricas de celulose e papel (18%), produtos não madeireiros (16%), bioenergia (6%) e outros (13%). De acordo com Gomes (2014), em 2030, o consumo de madeira em toras para as indústrias deverá ser de 2,44 bilhões de m³, um aumento de 45% em relação a 2005, considerando o uso de resíduos e de reciclados na produção de painéis.

De acordo com Mosmann (2010), 60% das madeiras utilizadas em formas de fundações e estruturas das edificações são descartadas. Faresin e Melo (2009) relatam que 17% dos resíduos em um aterro industrial correspondem ao descarte de diferentes tipos de madeiras. Atualmente, no Brasil, devido ao crescimento da geração de resíduos, evidencia-se o desenvolvimento de propostas que objetivam minimizar a poluição no meio ambiente relacionada ao consumo de madeira, visto que o gerenciamento de resíduos gerados por serrarias e por indústrias madeireiras, segundo Sá (2009), é uma das principais dificuldades

das indústrias brasileiras e seu aproveitamento, se bem gerenciado, evitaria problemas nos aterros sanitários e extrações desnecessárias.

Brito *et al.* (2006) indicam que o volume de madeira em forma de resíduos, oriundo das indústrias florestais, é muito grande e ainda pouco utilizado. A maior parte é empregada para a geração de energia térmica por meio da queima. O restante dos detritos é descartado de forma inadequada, causando impactos ao ambiente. Além disso, o desconhecimento e a inexistência de tecnologias disponíveis torna este material pouco aproveitado (GOMES, 2014). Tais resíduos são inevitáveis e, mesmo que ocorra a decomposição biológica deste material, o acúmulo em locais impróprios pode ocasionar sérios problemas ambientais (FAGUNDES, 2003).

1.2 OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho estão classificados como geral e específicos.

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral da pesquisa é investigar as propriedades acústicas de contrapisos produzidos com a substituição do agregado miúdo por resíduos de casca de arroz, EVA e resíduo de madeira, para atenuar a transmissão de sons de impacto em edifícios de múltiplos pavimentos.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são os seguintes:

a) determinar comparativamente o desempenho acústico relativo à transmissão dos sons de impacto, entre as placas de contrapiso de 1m², de 3 e 5 cm, produzidas com 25, 50 e 75% de substituição do agregado miúdo por agregados reciclados de CA, EVA e RM;

b) determinar a deformação por fluência à compressão dos compósitos cimentícios de 3 e 5 cm, produzidos com 25, 50 e 75% de substituição do agregado miúdo por agregados reciclados de CA, EVA e RM;

c) determinar a rigidez dinâmica para análise comparativa da redução sonora ao ruído de impacto dos compósitos cimentícios de 3 e 5 cm, produzidos com 25, 50 e 75% de substituição do agregado miúdo por agregados reciclados de CA, EVA e RM.

1.3 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa apresenta as seguintes delimitações:

a) trata-se de um estudo exploratório, no qual foram investigados parâmetros acústicos, visando o isolamento do ruído de impacto e corpo duro. Ademais, embora reconhecidamente importantes, não foram pesquisados outros parâmetros de desempenho como: desempenho térmico, resistência ao fogo, estanqueidade, durabilidade, entre outros reportados pela NBR 15575 (ABNT, 2013);

b) estudo não tem caráter estatístico, desta forma, foram expostos todos os resultados encontrados.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONTRAPISO EM EDIFICAÇÕES

De acordo com Miranda (2009), há mais de 3000 anos as civilizações Gregas e Romanas já utilizavam as argamassas para pavimentação e para assentar e revestir blocos que constituem as paredes das edificações.

Segundo a NBR 13281 (ABNT, 2005), a argamassa é constituída por uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água. Podem ainda ser adicionados alguns produtos especiais (aditivos ou adições), com a finalidade de melhorar ou conferir determinadas propriedades ao conjunto, para atender a finalidade de utilização da argamassa. Neste contexto, o contrapiso consiste em uma camada de argamassa ou enchimento aplicado sobre um terreno, laje ou sobre uma camada intermediária de isolamento ou de impermeabilização. (BARROS; SABBATINI, 1991).

A definição dada por Godoy e Barros (2000) é que o contrapiso de argamassa é uma camada única lançada sobre a laje estrutural, que deve apresentar características como espessura, rugosidade superficial, resistência mecânica, porosidade e durabilidade. Souza (2013) acrescenta que a espessura usual para contrapiso é de 2 a 6 cm e que o contrapiso tem, entre outras funções, nivelar e absorver deformações, servindo também para melhorar a acústica, dependendo do método construtivo e da necessidade. Barros e Sabbatini (1991) apontam que um projeto de contrapiso deve considerar as interfaces com o projeto estrutural (características da base, como resistência e deformabilidade), arquitetura (características do revestimento de piso, níveis de piso acabado e declividades de áreas molháveis), instalações (posicionamento e dimensões de tomadas de piso e tubulações embutidas) e impermeabilização (dimensões da área impermeabilizada e sistema utilizado).

Uma importante característica das argamassas de assentamento estrutural, segundo Martinelli e Helene (1991), é a de distribuir os esforços mecânicos atuantes e as características variam de acordo com o traço (proporção entre aglomerante e agregado), granulometria do agregado, condições de temperatura e umidade. Cincotto, Silva e Carasek (1995) completam que a relação água/cimento é de suma importância, visto que está diretamente relacionada à resistência mecânica das argamassas. Os autores ressaltam ainda que alguns parâmetros que influenciam esta relação são o consumo de agregado seco em relação ao consumo de cimento, a consistência aferida e o tipo de agregado empregado em sua fabricação. Kanning (2013) completa que a resistência à compressão das argamassas se

inicia com o endurecimento e aumenta continuamente com o tempo. De acordo com Maciel, Barros e Sabbatini (1998), a resistência mecânica cresce quando a quantidade de agregado na argamassa diminui, e apresenta diminuição na resistência mecânica se houver aumento na quantidade de água.

Quanto ao traço para argamassas destinadas ao contrapiso, Barros e Sabbatini (1991) citam o traço 1:3, em volume, mas criticam o consumo excessivo de aglomerantes. Carasek (2006) relata que a versão antiga da NBR 7200 (ABNT, 1982) recomendava argamassas mistas com traço em volume de 1:2:9 a 1:2:11, porém a versão atualizada não apresenta essas proporções. O estudo de Godoy *et al.* (2000) optou em trabalhar com argamassa no traço 1:3 em volume, visto que existe grande número de referências indicando este traço. Simultaneamente, o autor usou o traço 1:5, em volume, como alternativa para um menor consumo de cimento. Já o estudo de Flach (2012) considerou para argamassa, o traço 1:4 (cimento: areia) em volume.

A NBR 15575-3 (ABNT, 2013) caracteriza o piso residencial como o elemento responsável por proporcionar o isolamento do som, que varia conforme a finalidade de utilização. Em conformidade com os critérios definidos pela referida norma, o sistema de piso horizontal é composto, majoritariamente, pelas camadas representadas na Figura 1.



Figura 1: Exemplo de um sistema de piso

Fonte: ABNT NBR 15575-2013.

De acordo com a NBR 15575-3 (ABNT, 2013), as camadas são designadas a cumprir a função de estrutura, vedação e tráfego.

2.2 ACÚSTICA DE EDIFÍCIOS

Acústica é a área da física que estuda a manifestação do som em diferentes áreas do conhecimento. Na construção civil, as questões relacionadas à acústica estão dentro do

campo de acústica de edifícios ou acústica arquitetônica, e engloba as aplicações da acústica em ambientes internos. (BISTAFA, 2006).

Segundo Gerges (2000), o som percebido é interpretado pelo ouvido humano, que é um sistema bastante sensível, delicado e complexo, assim sendo, a análise do som ainda não é absolutamente conhecida. De acordo com Arizmendi (1980), as sensações sonoras são estimuladas por percepções de caráter mecânico e psicológico, visto que dentro do cérebro é interpretada como uma sensação especial do som recebido, podendo ser boa ou ruim.

Grunow (2008) relata que, a exemplo de outras propriedades sensitivas humanas, como o tato e o olfato, nossa percepção quanto à variação de intensidade do som é sempre um fenômeno comparativo. Ou seja, interpreta-se o som com o sentido particular da audição e tudo o que é interpretado é aberto à subjetividade em termos de gosto e desgosto (HILL, 2000). Sendo assim, o som pode, a um só tempo, ser agradável ou desagradável, dependendo do ambiente, do momento histórico, das atividades e da memória sensorial de seu receptor (GRUNOW, 2008).

O som faz parte do cotidiano e pode ser entendido como uma manifestação ondulatória caracterizada por flutuações de pressão em torno da pressão ambiente, nas frequências compreendidas entre 20 Hz e 20 kHz (ABNT, 2014). Além disso, os sons podem ser caracterizados de acordo com sua altura e intensidade, sendo que a altura de um som é uma característica que distingue os sons graves dos sons agudos e está relacionada ao número de ciclos por segundos de uma onda sonora, ou seja, a frequência, em hertz (Hz). Os sons com maior comprimento de onda, de baixa frequência, são os sons graves. Quando propagados, os sons graves expressam o fenômeno de difração quando incidem em uma barreira (HASSAN, 2009).

A intensidade, ou amplitude de uma onda sonora, está relacionada à quantidade de energia que é comumente expressa em decibel (dB). De acordo com Silva (2005), a propagação da onda sonora é realizada através da vibração das partículas, em função da diferença de pressão entre a fonte emissora e a fonte receptora do meio, em torno de uma posição de equilíbrio, conforme representado na Figura 2.

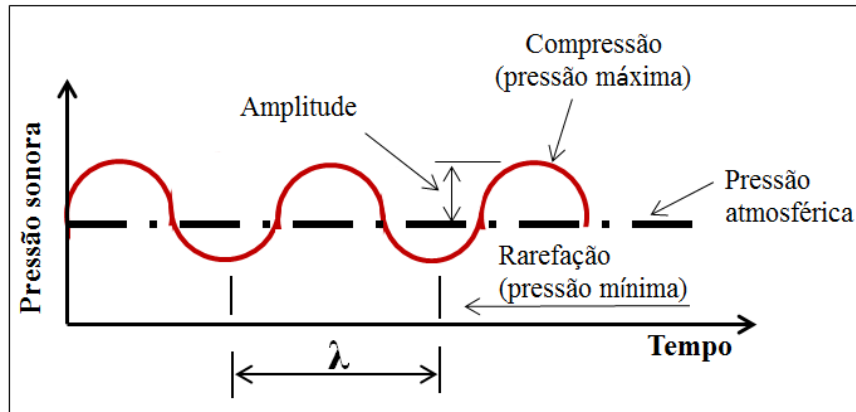


Figura 2: Propagação da onda sonora em torno de uma posição de equilíbrio.

Fonte: Silva (2005).

A quantidade de ciclos por segundos, ou frequência, de uma onda sonora tem uma relação entre o comprimento dessa onda (λ) em metros e a velocidade de propagação do som (v) em metros por segundos, conforme a Equação 1 (HOPKINS, 2012).

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

Equação 1

Onde:

v = velocidade de propagação do som (m/s);

λ = comprimento de onda (m);

f = frequência (Hz).

Os sons, cujas frequências têm maior número de oscilações temporais, são mais altos e correspondem aos sons agudos, ao contrário dos sons graves, que se encontram nas frequências mais baixas com menor número de oscilações temporais (BISTAFA, 2006).

Os sons captados pelo ouvido humano estão no intervalo de frequências entre 20 Hz e 20 kHz, sendo esse um intervalo muito extenso que, por motivos de padronização de ensaios e análises acústicas, é dividido em bandas. Para fins de estudos em acústica de edifícios, adotam-se as frequências centrais de oitavas de 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 e 8000 Hz. Para ensaios em laboratório, deve-se utilizar um intervalo menor, denominado de bandas de um terço de oitava, que divide o intervalo entre as frequências centrais de oitava em três partes. Por exemplo, o intervalo em bandas centrais de oitava entre 125 e 250 Hz, passa a ter outras duas bandas de frequências de 160 e 200 Hz. (HOPKINS, 2012; PATRÍCIO, 2010a)

A propagação do som apresenta características distintas em função do meio, podendo se propagar pelo ar ou pelos sólidos. Segundo a NBR 16313 (ABNT, 2014), o som

de impacto é resultante do impacto entre materiais. Nos edifícios residenciais, os exemplos mais comuns são os passos, arrastar de cadeiras a queda de objetos no piso.

Observa-se na Figura 3 as fontes primárias e secundárias de sons, que demonstram as duas trajetórias de propagação do ruído sobre a laje, que gera, além do ruído decorrente da excitação do meio sólido, ruídos denominados como secundários, provenientes do contato entre os elementos horizontais e verticais de vedação. (CARVALHO, 2010).

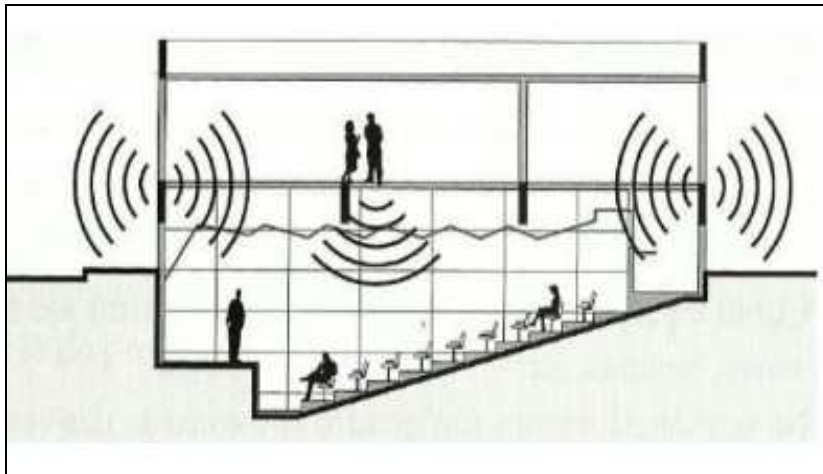


Figura 3: Fontes primária e secundária de ruídos.

Fonte: Carvalho (2010).

O isolamento acústico compreende a proteção contra entrada ou saída de sons aéreos e sons de impacto em um determinado recinto, impossibilitando a passagem da onda sonora. (BISTAFA, 2006)

O isolamento sonoro pode ser alcançado através de duas soluções: por meio da diferença de impedância, que é definida pelo produto da densidade específica do meio pela velocidade do som no meio em questão; ou através da lei da massa, no qual diferentes faixas de frequências resultam em padrões distintos de transmissão sonora. Os materiais com impedância muito diferentes em relação ao ar têm menor capacidade de acoplamento e uma menor transmissão da energia sonora, o que significa mais capacidade de isolamento sonoro. (HOPKINS, 2012; LOSSO; VIVEIROS, 2004).

De acordo com Simões (2011), a espessura dos sistemas de piso (laje, contrapiso e piso) e a isolação são diretamente proporcionais, para os mesmos materiais. Portanto, o correto dimensionamento destes elementos é uma das maneiras de promover o isolamento acústico entre pisos. No Brasil, algumas vezes são usados sistemas de piso, com a utilização combinada de elementos leves sem finalidade estrutural, como blocos cerâmicos vazados e blocos de concreto celular. Apesar de apresentarem benefícios do ponto de vista de custos e

de redução de cargas na estrutura, têm sua eficiência acústica reduzida se não forem utilizadas mantas e contrapisos adequados (NUNES; ZINI; PAGNUSSAT, 2014).

As pessoas são frequentemente sensibilizadas por diversos contaminantes natural e ecológicos, o ruído é um destes contaminantes (PAIXÃO, 2002). E para que seja possível reduzir os ruídos, as formas de tratamento variam conforme o tipo de fonte, tanto aéreas, quanto de ruídos transmitidos por impacto através de vibrações dos sólidos.

Devido aos altos valores de densidade e de velocidade do som, as ondas de impacto podem se propagar a longa distância (GERGES, 2000). Isso ocorre porque se trata de um meio de transmissão por contato, em que a laje se torna um irradiador de energia sonora em ampla faixa de frequências, devido aos movimentos vibratórios induzidos pela excitação localizada (BISTAFA, 2006).

De acordo com Hopkins (2012), os impactos são vibrações que se propagam pelas estruturas, desta forma o isolamento das vibrações envolve a utilização de materiais capazes de absorver esta energia. Quando criadas nos pisos, notadamente nos pisos rígidos, essas vibrações tendem a se espalhar nos elementos ligados a ele.

2.3 DESEMPENHO ACÚSTICO DE SISTEMAS DE PISO

Por se tratar do sistema construtivo que recebe estímulos decorrentes de cargas dinâmicas produzidas por usuários, o ruído de impacto de edificações residenciais é um problema relacionado ao sistema de piso. Os sistemas de pisos são compostos, fundamentalmente, por lajes, contrapisos e revestimentos distintos. Possuem diferenças de dimensões e características que podem ser usadas como elementos atenuadores da transmissão de energia sonora de um ambiente para outro, causadas pelo impacto.

Santos (2013) sugere que para isolar ruídos de impacto, é importante atenuar o nível sonoro transmitido pela estrutura de um andar para outro e recorrer a formas construtivas, que amortecem as vibrações oriundas do choque entre sólidos. Desta forma, de acordo com Warnock (1999), se faz necessário adicionar um material resiliente no piso, reduzindo os elevados níveis sonoros.

Carvalho (2010) refere que as lajes das edificações de concreto armado promovem a transferência de vibrações para as estruturas de apoio (vigas e pilares), que se conectam às paredes dos ambientes e as induzem a vibrar. A redução do ruído de impacto em pisos está associada à densidade superficial do contrapiso, com a rigidez dinâmica e a espessura da base. Sendo assim, para atingir o conforto acústico é fundamental que o sistema de piso esteja projetado para amortecer os ruídos de impacto e isolar os ruídos aéreas, pois estes dois

apresentam diferenças e as soluções construtivas nem sempre atendem simultaneamente aos dois requisitos (NUNES; ZINI; PAGNUSSAT, 2014).

Kimura e Inoue (1989) descrevem que o ruído é fortemente influenciado por fatores estruturais, como a rigidez da laje. Nos últimos anos, muitos trabalhos evidenciaram a importância do isolamento ruído aéreo e o amortecimento do ruído de impacto, contribuindo para avaliar o desempenho de sistemas de piso. Hassan (2009) completa que o aumento da espessura das lajes pode diminuir os níveis de ruído de impacto, por outro lado esta prática não é favorável do ponto de vista arquitetônico, estrutural e econômico.

Kim, Jeong e Yang (2009) analisaram o efeito de materiais para amortecimento do impacto mecânico em pisos de edifícios de múltiplos pavimentos e observaram que os materiais resilientes comumente utilizados em pisos flutuantes amplificam os ruídos nas frequências abaixo da banda de frequência de 100 Hz e têm sua maior eficiência nas bandas de frequência maiores que 500 Hz. Já Lee, Kim e Lim (2014) apontam para o uso de materiais resilientes colocados entre a laje e acabamento final, que podem oferecer uma solução simples e eficaz de reduzir o ruído de impacto em habitações com vários andares.

No Brasil, constata-se a predominância de pesquisas relacionadas ao desempenho de materiais utilizados nos sistemas de pisos flutuantes. Cornacchia (2009) investigou o nível de isolamento ao ruído de impacto em sistemas de pisos de unidades residenciais. Galbrun (2010) examinou a modelagem de transmissão de vibrações em lajes tipo vigota/tabela de edifícios. O autor concluiu que a aplicabilidade do modelo se limita às frequências baixas e médias.

O isolamento acústico do som de impacto pode ser feito por um piso flutuante que consiste na utilização de um material resiliente, entre a laje estrutural e o contrapiso. Desta maneira, o contrapiso e as demais cargas ficam sobre o material resiliente, funcionando como um sistema massa-mola-massa, cuja primeira frequência de ressonância está abaixo da frequência mínima de excitação (GERGES, 2000).

O amortecimento do impacto mecânico pode ser provido com a utilização de materiais resilientes, que funcionam como “molas” e são caracterizados por sua rigidez dinâmica (s') e quantificados em meganewton por metro cúbico (MN/m^3). Conforme apresentado na Equação 2, esta propriedade pode ser expressa em termos do módulo de elasticidade do material, E (N/m^2), e da sua espessura, d (m). (HOPKINS, 2012).

$$S' = \frac{E}{d}$$

Equação 2

Onde:

S' = Rigidez dinâmica (MN/m³);

E = módulo de elasticidade do material (N/m²);

d = espessura (m).

Conforme António, António e Nossa (2008), os materiais resilientes apresentam propriedades dinâmicas que estão relacionadas com a sua capacidade de amortecer o impacto. Uma das propriedades é a rigidez dinâmica, que, de acordo com diferentes pesquisas (D'ALESSANDRO; ASDRUBALI; BALDINELLI, 2014; KIM; JEONG; YANG, 2009; SCHIAVI; BELLI; RUSSO, 2005), pode ser usada como parâmetro de estimativa do desempenho acústico dos materiais. Moreira, António e Tadeu (2012), completam que, a rigidez dinâmica é a capacidade física que os materiais resilientes têm para amortecer o impacto.

De acordo com Neves, António e Nossa (2008) e Kim, Jeong e Yang (2009), a eficácia da solução depende das características elásticas do material, da camada intermediária e da ausência de ligações rígidas entre a superfície e os elementos estruturais e não estruturais. Kim, Jeong e Yang (2009) acrescentam que na medida em que a rigidez dinâmica do material diminui, a frequência de ressonância também diminuiu, o que leva à redução do ruído de impacto. Hopkins e Hall (2006) destacam que as células que compõem o material exercem um importante papel no comportamento acústico, visto que podem aumentar consideravelmente a rigidez dinâmica. Os autores acrescentam que materiais de células abertas podem apresentar comportamento acústico inferior aos de células fechadas, pois o ar contido no interior desloca-se dentro do material (HOPKINS; HALL, 2006).

A utilização de materiais resilientes tais como espumas, borrachas, cortiça e feltros, que poderão ser colocados sob a camada de revestimento dos pavimentos ou fazendo parte de uma camada flutuante, é uma prática comum para reduzir as vibrações estruturais geradas por ações de impacto. (NEVES; ANTÓNIO; NOSSA, 2008).

A rigidez dinâmica é determinada através de ensaios que determinam a frequência de ressonância de um sistema a partir de vibrações verticais, conforme recomendações da norma ISO 9052-1. A rigidez dinâmica é definida pela capacidade de um material resiliente dissipar um impacto mecânico, conforme Equação 3.

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{S'_t}{m'_t}}$$

Equação 3

Onde:

S'_t = rigidez dinâmica aparente por unidade de área do corpo de prova (MN/m^3);

m'_t = massa total por unidade de área usada durante o ensaio (kg/m^2);

Para reduzir a transmissão do ruído de impacto, é importante que a base elástica tenha um valor reduzido de rigidez dinâmica e a base flutuante tenha maior densidade superficial. Desta forma, é possível estimar empiricamente a redução no nível de pressão de som de impacto de um piso flutuante em termos da massa real de uma laje (BARON; BONFIGLIO; FAUSTI, 2004).

A redução ponderada do nível de pressão de ruído de impacto ΔL_w , em dB, pode ser conhecida através da interpretação do ábaco mostrado na norma BS EN 12354-2 e apresentado na Figura 4.

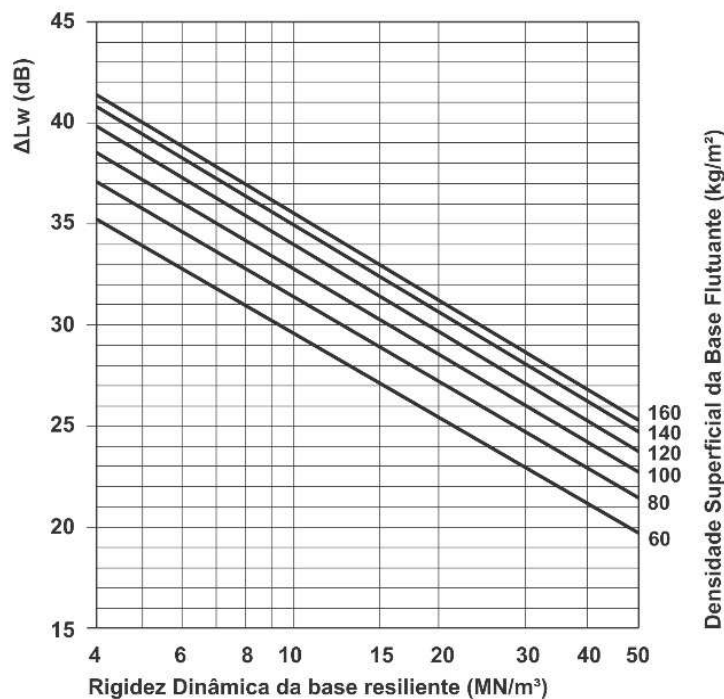


Figura 4: redução ponderada do nível de pressão de ruído de impacto

Fonte: (PATRÍCIO, 2010b)

É possível prever ainda o comportamento de um material, sendo usado em piso flutuante quanto ao isolamento do som, através do cálculo de ΔL (dB), por meio dos valores

da frequência de ressonância f_0 (Hz), sugeridos pela BS EN 12354-2:2000, conforme pode ser visto na Equação 4.

$$\Delta L = 30 \log (f/f_0) \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

$$f = 500 \text{ Hz}$$

f_0 = frequência de ressonância

O material resiliente que compõe um piso flutuante deve sofrer uma deformação como consequência do amortecimento de um impacto mecânico. No entanto, essa deformação não pode acarretar a perda na sua eficiência ao longo do tempo. Por isso, a deformação que a base resiliente sofre ao longo do tempo é outra informação fundamental na caracterização do desempenho acústico de um sistema de piso. Essa deformação decorrente de uma carga lenta e constante, é determinada através do ensaio de fluência na compressão (ZUCHETTO *et al.*, 2015). A pesquisa de Dikavičius e Miškinis (2009) mostrou que a rigidez dinâmica depois do teste de fluência à compressão diminuiu em cerca de 40% para lã mineral e cerca de 30% para poliestireno elástico, em comparação com os valores antes do ensaio.

Os resultados da deformação relativa, são obtidos através do cálculo expresso pela Equação 5.

$$\varepsilon_r = \frac{X_t}{d_s} \times 100 \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

ε_r = deformação relativa

X_t = deformação (mm) no tempo;

d_s = espessura inicial, em milímetros, do corpo de prova (mm)

No ensaio de fluência à compressão, é estimada a deformação para um determinado tempo de uso do sistema de piso, que pode estar relacionado com a vida útil em projeto (VUP) prevista na NBR 15575. Considerando a periodicidade dos processos de manutenção especificados no respectivo Manual de Uso Operação e Manutenção, elaborado em atendimento à norma NBR 5674 (ABNT, 2012), visto que para garantir a VUP é obrigatório realizar manutenção. A classificação de desempenho de VUP para pisos internos, revestimentos de argamassa, entre outros é de 13 anos a 20 anos, independente da manutenção.

Através desta estimativa, pode-se verificar, se as solicitações causadas pelo uso em função do tempo propiciam a perda de amortecimento de ruído de impacto no piso.

Atualmente, o desempenho acústico de sistemas de pisos é classificado conforme a NBR 15575-3: (ABNT, 2013) – Edifícios habitacionais - Desempenho - Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos internos. Nessa parte, a norma determina critérios quantitativos para isolamento de ruído aéreo e de impacto de pisos, que devem ser estipulados a partir de ensaios, conforme procedimentos de normas ISO, especificadas na metodologia desta pesquisa.

Os níveis de desempenho estabelecidos pela NBR 15575 (ABNT, 2013) que se referem a unidades autônomas ou coletivas, para a caracterização do isolamento do ruído de impacto e ruído aéreo são: mínimo (M), intermediário (I) e superior (S). Para que o sistema atenda aos requisitos da norma deve-se alcançar ao menos o nível mínimo. A NBR 15575 (ABNT, 2013) recomenda que o construtor ou incorporador informe o nível de desempenho dos sistemas que compõem a edificação habitacional, quando exceder o nível mínimo (M).

Os valores de referência para a classificação de desempenho acústico ao ruído de impacto de sistemas de pisos é dado pelo Nível de Ruído de Impacto Padronizado Ponderado ($L'_{nT,w}$), conforme o Quadro 1.

Quadro 1: Valores de referência de critério e nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado, $L'_{nT,w}$ recomendados pela norma brasileira NBR 15575-3:2013

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: ABNT NBR 15575:2013 Edificações habitacionais – Desempenho.

Existe uma complexidade não somente no Brasil, para caracterizar as propriedades dos materiais utilizados em edificações (PAIXÃO, 2002). O limite para ruído de impacto estabelecido pela norma brasileira no nível mínimo (80 dB), por exemplo, quando comparado com os demais países, Figura 5, é muito tolerante e não reflete um padrão próximo ao praticado em outros países. No Brasil, para alcançar o nível superior, é necessário atingir o máximo de 55 dB em $L'_{nT,w}$.

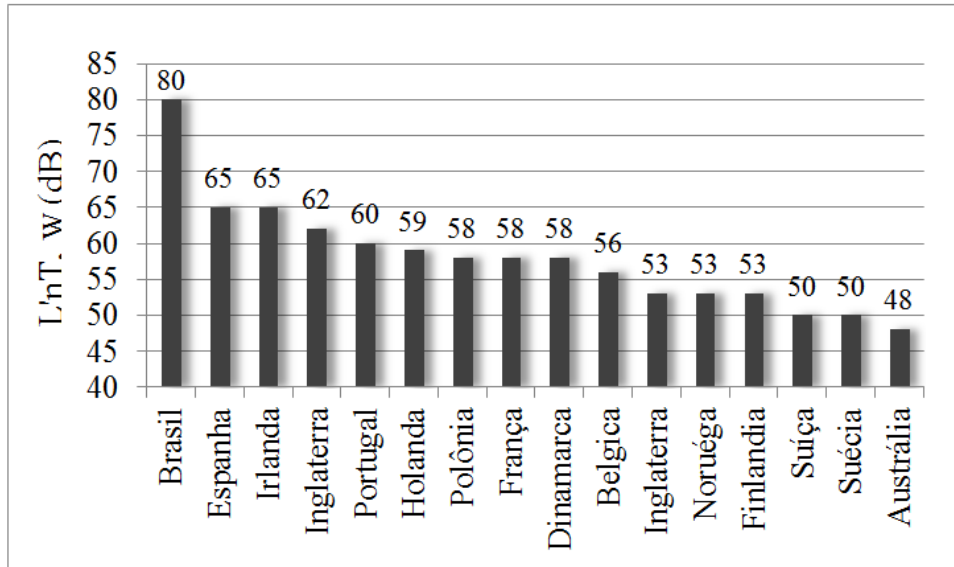


Figura 5: Comparação entre Brasil e alguns países dos valores de nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado

Fonte: adaptado (RASMUSSEN, 2010).

Segundo Patrício (2002), quando se avalia o isolamento dos sons de impacto em laboratório, as respostas são mais confiáveis, visto que em avaliações feitas em campo as respostas são influenciadas pelo próprio local. A medida da capacidade da laje em transmitir sons de impacto é dada pelo nível sonoro de impacto (L_n). Uma das maneiras de se medir esta propriedade é em laboratório, com a utilização de uma câmara reverberante, dividida em sala de emissão e sala de recepção.

A redução do nível de ruído de impacto de revestimentos de pisos, expresso em níveis de banda de 1/3 de oitava, segundo Patrício (2002), é obtida a partir da Equação 6.

$$\Delta L = L_{no} - L_n$$

Equação 6

Onde:

L_{no} = nível de pressão sonora de impacto normalizado na sala de recepção produzida pela máquina (dB)

L_n = nível de Pressão sonora (dB)

De acordo com Hassan (2009), um exemplo de como o isolamento de som de impacto é melhorado com a utilização de revestimentos em pavimentos, é mostrado através da curva típica representada na Figura 6.

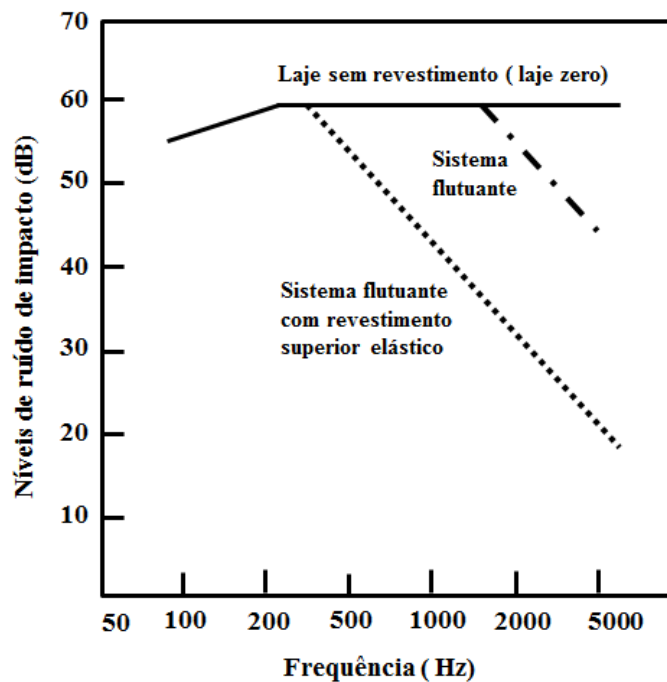


Figura 6: Curvas típicas da variação dos sons de impacto

Fonte: adaptado de Hassan (2009)

Nota-se que, a partir das médias e altas frequências, os níveis de ruído de impacto em um sistema com revestimento elástico, tendem a melhorar. Segundo Hassan (2009), o aumento da espessura da laje também pode contribuir para diminuir os níveis de ruído de impacto, por outro lado, não é uma solução prática do ponto de vista arquitetônico, estrutural e econômica. Sendo assim, o uso de materiais de revestimento, com superfícies resiliente pode ser usado como solução.

2.4 USO DE RESÍDUOS NO ISOLAMENTO ACÚSTICO

O impacto ambiental gerado pela construção civil é um assunto de extrema relevância, visto que o setor é consumidor de grandes volumes de recursos naturais não renováveis e grande gerador de resíduos (KUHN, 2006). De acordo com Mateus e Bragança (2011) e Pacheco-Torgal e Jalali (2012), o setor da construção civil consome mais de 50% do volume de recursos naturais utilizados a cada ano. Os resíduos gerados pela indústria da construção civil e por outras atividades desenvolvidas dentro das edificações são contínuos e o descarte exige grandes espaços para armazenamento (KUHN, 2006).

Segundo Kuhn (2006) e Kim, Shim e Cha (2013), a reciclagem e reutilização de resíduos surgiu como uma solução sustentável para justificar este problema, além de evitar o esgotamento dos recursos naturais que apresentam crescente demanda no setor. Rocha (2008)

ressalta que a motivação para a utilização de resíduos também está associada à possibilidade de redução de custos de processos construtivos.

Práticas de reciclagem e reutilização de resíduos trazem, entre outros, benefícios ambientais ligados com a minimização do consumo de recursos naturais (KUHN, 2006). Diante disso, o uso de resíduos para fabricação de concretos e argamassas tem sido frequentemente abordado em diversas pesquisas (ERHART *et al.*, 2014).

Por outro lado, a crescente produtividade na construção civil aumenta as exigências do usuário com relação ao desempenho das edificações e dos produtos. Um exemplo é a utilização de agregados porosos e leves associados ao desempenho acústico, para a atenuação de ruído aéreo e de impacto.

2.4.1 Utilização de resíduos na construção civil

Os materiais de construção sustentáveis são aqueles feitos a partir de fontes e recursos naturais, que reduzem os efeitos negativos para a população e para o meio ambiente durante sua produção. São aqueles que exigem o mínimo de consumo de energia no processo de fabricação, podendo ser inteiramente recicláveis ou biodegradáveis. Alguns materiais atendem a estes requisitos, como: madeira ou outros materiais vegetais (bambu, cana, palha, casca de arroz), lã, feltro, couro, cortiça, minerais (areia e pedras), seda e algodão, óleo de linhaça natural, borracha natural, adesivos naturais, entre outros (MENKES, 2004; MARQUES, 2007; IDHEA, 2008; DEL REY *et al.*, 2011; GONZALEZ *et al.*, 2013).

Por razões já conhecidas, o emprego de resíduos vem sendo amplamente desenvolvido em pesquisas no Brasil e no mundo. Regionalmente têm sido investigados resíduos para produção de argamassas e concretos, tais como: contraforte de calçados, cinza de casca de arroz e resíduos de britagem de concreto (WERLE, 2010; GONÇALVES, 2011; HEINECK, 2012; KRÜG, 2011; FEDUMENTI, 2013; CECCONELLO, 2013; SARTORI, 2013). Em relação à utilização de resíduos com a finalidade de atenuação de ruído, Flach (2012) destaca o ganho de desempenho acústico e nas propriedades mecânicas e de durabilidade.

Dentre vários estudos que utilizaram resíduos, alguns de grande relevância estão na Ásia e na Europa, particularmente em Portugal e na Espanha (FOULADI *et al.*, 2010; DEL REY, 2011; CARVALHO; RICHA; CARVALHO, 2012; HERRERO; MAYOR; OLIVARES, 2013). Rushforth *et al.* (2005) analisaram o comportamento acústico frente ao ruído de impacto e as propriedades dos materiais argamassados, com a utilização de resíduos

de carpete, como agregado e compararam seu desempenho com os materiais convencionais, concluindo que foram mais eficazes que os materiais utilizados comercialmente.

Baseado na norma italiana (*Italian Standardization Organization*) UNI 10667-14, através de requisitos e métodos de ensaio para a incorporação de materiais reciclados, como agregado em argamassas de cimento, D'Alessandro *et al.* (2014) investigaram experimentalmente o comportamento acústico de concreto contendo polímeros leves derivados da reciclagem de fios elétricos após a remoção do cobre. Sua finalidade foi usá-los em contrapisos. A investigação foi realizada através da determinação da rigidez dinâmica e de ensaios de ruído de impacto, demonstrando bons resultados.

Na Espanha, Herrero, Mayor e Olivares (2013) avaliaram as propriedades físicas e mecânicas, a condutividade térmica e as propriedades de isolamento acústico de placas de gesso contendo diferentes frações granulométricas de resíduo de pneus. Os resultados experimentais apresentaram uma melhora no desempenho térmico e acústico. Os autores obtiveram melhores resultados de isolamento de ruído de impacto nas amostras com partículas menores de resíduo de pneu em todos os percentuais de adições estudados.

Em Portugal, Carvalho, Richa e Carvalho (2012) analisaram, em câmara reverberante, pavimentos flutuantes com aglomerados compostos de cortiça. O objetivo dos autores foi de melhorar o isolamento sonoro de ruídos de impacto. Os autores relatam ser possível apurar que outros tipos de base podem melhorar substancialmente o isolamento sonoro nas médias-altas frequências. Destacam ainda, que é possível obter o isolamento sonoro de ruídos de impacto para altas frequências, zona de maior sensibilidade auditiva humana, atingindo frequências superiores a 500 Hz e uma redução de quase 7 dB nos 1,25 kHz.

Ainda em Portugal, Patrício (2002) estudou o comportamento acústico de pisos através de um estudo de caso realizado em laboratório e *in loco* para o isolamento de ruído de impacto, utilizando materiais resilientes, como madeira e cortiça. O autor apontou que os valores de índice de isolamento de ruído obtidos nos diferentes métodos de ensaio foram ligeiramente distintos. Conforme o esperado, os valores em laboratório demonstram melhores resultados.

No mesmo país, Branco e Godinho (2013) avaliaram argamassas fabricadas com agregados leves, tais como: poliestireno expandido, cortiça expandida e granulados de argila expandida. A finalidade foi investigar através de testes de laboratório o desempenho acústico e comparar a redução do impacto sonoro proporcionado pelos três diferentes agregados empregados. Todas as amostras apresentaram uma redução ao som de impacto, especialmente

nas frequências mais altas. A cortiça foi a que apresentou melhor resultado entre os agregados estudados (BRANCO; GODINHO, 2013).

Maderuelo-Sanz *et al.* (2011) avaliaram o desempenho acústico de um tipo de material feito com resíduos de borracha reciclada, comparando a alguns materiais disponíveis comercialmente. O material com resíduos, mesmo com espessura menores, apresentou melhor desempenho.

Os isoladores acústicos podem ser coxins de borracha, cortiça ou outros distribuídos uniformemente, como placas de lã de vidro ou de rocha, polietileno expandido (isopor elastilizado), dentre outros materiais (BISTAFA, 2006). Diante disto, alguns pesquisadores utilizaram resíduos em seus estudos com este fim, tais como fibra de coco, fibra de banana, fios elétricos, garrafa pet e madeira (MAFRA *et al.*, 2005; RICO; RESTREPO; GONZÁLEZ, 2009; D'ALESSANDRO *et al.*, 2014; REY *et al.*, 2011; MELO, 2007). Em geral, percebe-se que um dos determinantes na escolha dos resíduos é a disponibilidade na região.

2.4.2 Resíduo de EVA

O EVA, poli [(etileno)-co-(acetato de vinila)], é um copolímero termofixo, que pode ser disponibilizado na forma de chapas expandidas retangulares de aproximadamente 1 m². Existe no mercado uma grande quantidade de tipos de polímeros, derivados de diferentes compostos químicos. Cada polímero é mais indicado para uma ou mais aplicações, dependendo de suas propriedades físicas, mecânicas, elétricas, óticas, entre outras (ROCHA *et al.*, 2007). Os polímeros possuem uma complexa morfologia, que é composta por uma fase cristalina, contendo uma região interfacial, com segmentos metilênicos e uma fase amorfa (ZATTERA *et al.*, 2005). Ainda segundo os autores, as principais características do EVA são: flexibilidade, leveza, resistência a baixas temperaturas, elasticidade similar à da borracha, boa resistência à quebra sob tensão, além de ser um material atóxico e de baixo custo.

O EVA é utilizado pelo setor fabril em artigos como: viseiras, brinquedos, material didático e, principalmente, na indústria calçadista, na qual passa por procedimento mecânico de corte, com a finalidade de ser usado para fabricação de solas e palmilhas (PRESTES, 2013). De acordo com Braskem S.A (2015), o EVA surgiu em 1938 de forma experimental e teve sua comercialização iniciada em 1960, sendo sua primeira utilização na indústria calçadista brasileira em 1970. Segundo Polari Filho (2005), o crescimento econômico da indústria calçadista, que busca elevar sua produtividade, utilizando processos

modernos em grande escala de produção, contribuiu para geração de grande quantidade de resíduo deste setor.

Segundo Zuchetto *et al.* (2015), o EVA, assim como os diferentes polímeros utilizados em diversos setores produtivos, constitui um dos maiores problemas ambientais em termos de soluções de descarte com baixo impacto no meio ambiente, pois sua reduzida densidade de massa aparente demanda grandes volumes para sua deposição (ZUCHETTO *et al.*, 2015). A característica de baixa densidade do agregado leve de EVA indica que pode ser usado para qualificação de desempenho acústico em edifícios, especialmente para o amortecimento de ruído de impacto de pisos (TUTIKIAN *et al.*, 2013).

Hax (2002) buscou uma alternativa para a reciclagem dos resíduos sólidos oriundos das indústrias calçadistas de EVA. A autora verificou a potencialidade do EVA no isolamento de ruído de impacto nas edificações. O EVA foi moldado em placas, com diversas espessuras e composições, que foram testadas em laboratório. As amostras compostas por EVA e resina sintética apresentaram os melhores desempenhos, com L_w em torno de 14 dB em relação a amostra referencial.

Frias *et al.* (2012) produziu argamassa com “pet coke”, que é um subproduto sólido, do processo de refinamento do petróleo, para testar o comportamento acústico, frente ao ruído de impacto em placas de grande dimensão. Os resultados medidos entre as frequências de 100 a 5000 Hz, demonstraram uma melhoria do isolamento acústico de 14 dB em relação a amostra de referência. Os autores relacionam esta melhoria à porosidade do material.

Tutikian *et al.* (2013), ao estudarem o concreto leve com substituição de agregado graúdo natural por agregado reciclado de EVA para avaliar a atenuação de ruído de impacto, constataram que o uso deste material pode reduzir os níveis de ruído de impacto em até 15 dB e o maior percentual de agregado graúdo de EVA não implicou um desempenho acústico superior segundo a NBR 15575. Os autores observaram também que, quanto maior for a porcentagem de substituição de EVA, menores serão os valores de densidade e de volume do concreto no estado fresco. Os melhores resultados foram os com maior proporção de agregados graúdo de EVA com traço de 1: 1: 4 e 1: 1,5: 3,5, que apresentaram densidades mais baixas. Por fim, Tutikian *et al.* (2013) analisaram a relação entre o ruído de impacto e os vazios e detectaram que o aumento da quantidade de vazios conduz a um melhor desempenho acústico em lajes e coberturas.

antos (2013) avaliou placas cimentícias quanto ao seu isolamento acústico, conforme parâmetros da NBR 15575, em sistemas de piso flutuante. Verificou que a

utilização de EVA está coerente com o desempenho esperado para o sistema de referência ($L'_{nT,w} = 80$ dB). O sistema de piso flutuante avaliado nos experimentos com a presença da laje pré-moldada convencional apresentou o desempenho mais crítico do que a laje maciça. A autora concluiu 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 multipavimentos. Observou ainda que, quanto maior a espessura do material resiliente, melhor foram os resultados adquiridos.

Lee *et al.* (2014) utilizaram o EVA com a finalidade de amortecimento de impacto entre pisos. Os autores destacam que para diminuir a rigidez dinâmica, a densidade de material deve ser reduzida, apesar de que materiais de baixa densidade muitas vezes não resistem às cargas sobre o piso. Os resultados dos testes indicaram que, na medida em que o ruído de impacto reduziu, a rigidez dinâmica do material diminuiu.

Os ensaios para determinação da rigidez dinâmica de materiais cimentícios com resíduos de EVA também foram realizados por Zuchetto *et al.* (2015), que verificaram a relação entre aumento da proporção de EVA e redução da rigidez dinâmica, com consequente aumento no isolamento ao ruído de impacto em sistemas de piso (ZUCHETTO; NUNES; TUTIKIAN, 2015).

2.4.3 Resíduos de casca de arroz

A casca do arroz é um dos principais resíduos gerados pelo beneficiamento do grão e, dependendo da forma de descarte, pode gerar significativos danos ao meio ambiente (ZUBAIDI; BARAKAT; ALTOUBAT, 2013).

Amick (1982) destaca que a CA representa cerca de 23% do grão do arroz (em volume), e apresenta dificuldade de condicionamento final, baixas propriedades nutritivas, resistência à degradação e grande volume ocupado (CALHEIRO, 2011). Almeida (2010) complementa que a CA é uma matéria-prima de baixo custo, considerada de difícil reaproveitamento, visto que é imprópria para alimentação animal. Corrêa e Quevedo (2013) completam que se trata de um material fibroso e que sua estrutura é constituída por um grande teor de sílica, fator que dificulta o processo de decomposição da casca, permanecendo por vários anos no solo obrigando seus produtores a queimá-las, gerando inúmeros problemas ambientais.

A CA também é usada para a geração de energia termoelétrica com a biomassa residual, revela-se, portanto, uma alternativa de geração de energia. Neste contexto, Mayer Castellanelli e Hoffmann (2007) destacam a diminuição das emissões de carbono na

atmosfera, o que contribui para redução do efeito estufa. Além disso, a CA possui potencial de aplicação no setor da construção civil na produção de concreto e argamassa. Assim sendo, Milani (2008) destaca a necessidade de uma avaliação nos aspectos econômicos e tecnológicos.

A partir dessa situação alguns estudos vêm sendo desenvolvidos para o atendimento de diferentes requisitos na construção civil (GONZÁLEZ *et al.*, 2013). Beraldo e Tojal (2001) utilizaram CA em substituição ao agregado mineral miúdo na argamassa de cimento, para a fabricação de blocos vazados e confecção de pisos. Rossi, Cardoso e Beraldo (2005) avaliaram o desempenho térmico de placas confeccionadas com argamassa de cimento, areia e CA e concluíram que o resultado foi benéfico. Ainda segundo Moura (2014) a CA possui baixo custo, baixa densidade, biodegradabilidade, além de serem atóxicas e não abrasivas, possuem boa propriedade térmica e mecânica. Sendo assim, sua utilização pode contribuir para o desenvolvimento sustentável.

Já Pauleski *et al.* (2007) estudaram a viabilidade da utilização da CA e de partículas de madeira para produção de painéis. Os resultados encontrados demonstram que, comparados aos painéis convencionais, os com CA e partículas de madeira apresentaram boa qualidade, evidenciando a viabilidade de uso desses materiais na confecção desse tipo de produto.

Paz e Santos (2002) utilizaram a CA e o pó de pneu para investigar o isolamento do ruído de impacto, a pesquisa demonstrou que estes resíduos tiveram grande potencial para substituir os materiais comerciais. Ferreira, Gobo e Cunha (2008) utilizaram a CA na fabricação de tijolos de solo-cimento e comprovaram a viabilidade de uso destes resíduos. O estudo realizado por Flach (2012) demonstrou que a CA, na forma natural, pode ser utilizada em blocos vazados e pisos, porém sem função estrutural.

2.4.4 Resíduos de madeira

Um dos materiais de construção mais antigos utilizados pelo homem é a madeira. As florestas surgiram há cerca de 380 milhões de anos, segundo o Museu de Nova York (NATURE, 2010). Historicamente a madeira vem sendo empregada em sua forma sólida e sua utilização no setor da construção civil está associada a todas as etapas da obra (FAGUNDES, 2003). De acordo com Guo *et al.* (2008), as fibras inorgânicas, quando comparadas às fibras vegetais, possuem melhores propriedades biodegradativas, atoxicidade, menor densidade e abrasividade, e são abundantes no Brasil.

A exploração de recursos naturais renováveis é um assunto polêmico e tem sido objeto de discussão. Conforme Miranda (2009), a madeira representa 10,2% do total de resíduos em uma obra de edifício residencial e 16,6% dos resíduos relacionados à fase estrutural. As madeiras geram um resíduo chamado de serragem (RM) proveniente do processo de beneficiamento das madeiras, necessários para o setor civil.

O Brasil possui aproximadamente sete milhões de hectares de plantios florestais, dos quais 93,4% correspondem aos gêneros *Pinus* (25,2%) e *Eucalyptus* (74,8%). O Rio Grande do Sul é um dos estados que se destaca no cenário nacional, com Santa Catarina ocupando o quinto lugar, com cerca de 10% da área plantada (ABRAF, 2014). Atualmente, o Brasil possui 6,35 milhões de hectares certificados na modalidade de manejo florestal e envolve 89 operações de manejo, entre áreas de florestas nativas e plantadas.

Segundo Zordan (1997), a utilização da madeira está relacionada a aspectos ambientais, como o alto consumo de recursos naturais, o manejo incorreto e a grande geração de resíduos, além de diminuir a biodiversidade e seu descarte não ser explorado completamente, podendo contaminar o solo (MOSMANN, 2010). Por outro lado, Trianoski *et al.* (2013) relatam que a indústria de painéis de madeira aglomerada tem utilizado grandes volumes de madeira, sobretudo de florestas plantadas de *Pinus*, sendo necessário diversificar espécies e aumentar a produção da matéria-prima.

Azambuja, Verneti e Magalhães (2004) afirmam que os resíduos provenientes de serrarias oriundos de cortes e aparas das madeiras podem ser aproveitados para a produção de chapas de aglomerados, gerando um produto de maior valor agregado. Negrão *et al.* (2014) acrescentam que podem ser utilizados como painéis aglomerados. Os autores analisaram as propriedades físicas e mecânicas de painéis constituídos com quatro espécies de madeiras tropicais da Amazônia: cedrinho, cordia, fícus e paineira. Investigaram a viabilidade de produzir painéis aglomerados com estes resíduos e obtiveram valores satisfatórios.

A mistura de fibras de madeira e gesso em diferentes proporções foi estudada por Ramezani *et al.* (2012). Os autores concluíram que o aumento das fibras de madeira reduz as propriedades mecânicas nos materiais. Além disso, a redução na proporção de fibras de madeira aumenta o isolamento acústico nas baixas frequências, sem influenciar claramente o comportamento nas médias frequências (RAMEZANI; SHAHDAB; NOURI, 2012).

Outros estudos também avaliaram características de painéis confeccionados com resíduos de madeira e outros materiais, com a utilização de reagentes químicos como aglomerante de diferentes partículas. Zhao *et al.* (2010) avaliaram o isolamento acústico de painéis confeccionados com partículas de madeira e resíduos de pneus e concluíram que a

perda de transmissão sonora é maior no material com esses resíduos, comparado aos painéis convencionais de madeira aglomerada de mesma espessura (ZHAO *et al.*, 2010).

Amorim (2014) utilizou serragem de madeira, forro de fibra mineral e lã de rocha, tratados com percentagens diferentes de partículas, para confecção de painéis. A autora avaliou as propriedades acústicas de isolamento através de câmara de tamanho reduzido e absorção, através do tubo de impedância. Sua conclusão foi que, avaliando as propriedades acústicas dos painéis, o tratamento com 40% de partículas lignocelulósicas e 20% de partículas de forro apresentou maior isolamento acústico; entretanto, para o coeficiente de absorção acústica, o com 25% de partículas lignocelulósicas e 35% de partículas de forro mostrou melhor desempenho na faixa entre 2000 a 4500 Hz.

Grisa *et al.* (2015) realizaram um estudo para verificar a influência de diferentes proporções de poliuretano (PU) e RM no desempenho acústico de painéis aglomerados, tendo como conclusão que a proporção de 60% de PU e 40% de partículas de madeira apresentam maiores resultados de isolamento sonoro (GRISA *et al.*, 2015). No entanto, a utilização de resíduos poliméricos em novos materiais também deve ser avaliada diante da reação ao fogo (RIZZO *et al.*, 2015).

Flach (2012) aponta que a utilização de partículas maiores da casca da árvore pode reduzir as propriedades mecânicas das chapas de cimento-madeira. Portanto, a utilização em pequenas quantidades é aconselhada. Já Latorraca (2000) relata a importância de conhecer a composição química da madeira, visto que afeta o tempo de hidratação do cimento, retardando a pega do composto cimento-madeira. Além disso, Flach (2012) complementa que a elevação do pH pode reduzir a massa e causar mudanças de dimensões, sendo assim, nem todas as espécies de madeira são adequadas para a produção de compósitos de cimento-madeira. Cada espécie de madeira apresenta um arranjo próprio de células que compõem o tecido. Castro (2010) destaca que a geometria e densidade das partículas da madeira também influenciam nas propriedades físico-mecânicas dos compostos de cimento-madeira.

Wiecheteck (2009) afirma que no segmento da construção civil é comum não haver a segregação da madeira dos outros resíduos sólidos e seu destino final é em geral o aterro sanitário. Nos Estados Unidos, segundo Wang *et al.* (2004), são gerados por ano 87 mil toneladas de RM, sendo 64,63% originados na demolição e 35,37% na construção de habitações residenciais

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo caracteriza-se como uma pesquisa exploratória, que contou com etapas teóricas e práticas, configurando uma pesquisa experimental. Foi explorado o potencial dos compostos no que se referem ao comportamento acústico. Os procedimentos técnicos aplicados contaram com uma revisão bibliográfica, para fornecer a base conceitual.

A realização da prática deste trabalho teve início com a obtenção da matéria-prima nas indústrias, o EVA, a casca de arroz e a serragem. Foram investigados compósitos de argamassa com substituição parcial em volume do agregado miúdo pelos diferentes resíduos nos teores de 25, 50 e 75%, com espessuras das placas de 3 e 5 cm. O comportamento destes compósitos foi investigado e comparado com o de referência, um contrapiso de argamassa convencional. A Figura 7 mostra o fluxograma do método utilizado na pesquisa.

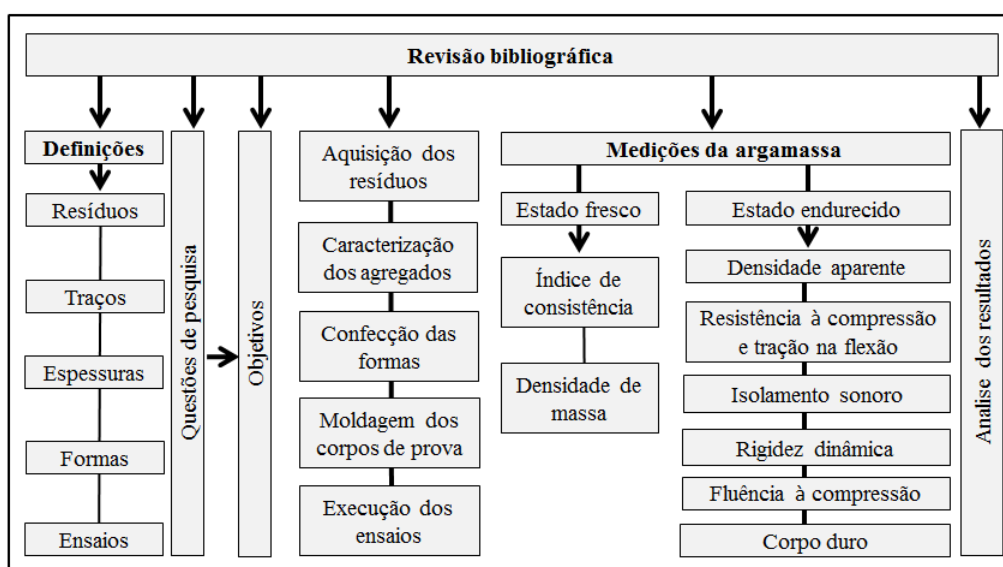


Figura 7: Fluxograma da pesquisa

Fonte: autora

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Aglomerante

Como aglomerante, foi utilizado o cimento CP V-ARI da marca Votoran que, de acordo com a NBR 11578 (ABNT, 1991), trata-se de um produto de elevada resistência inicial, indicado para a indústria de pré-moldados e artefatos de concreto e em situações no qual são exigidas desformas rápidas das peças concretadas, que é o caso deste trabalho.

Para evitar variações não controladas, o cimento usado foi adquirido de um único lote. No Quadro 2 estão representados os resultados dos ensaios de caracterização química,

física e mecânica do cimento Portland CPV-ARI RS. O material foi armazenado em um recipiente plástico fechado, mantendo-se nesta condição até a data da moldagem das amostras.

Quadro 2: Caracterização química, física e mecânica do cimento Portland CPV-ARI RS

Características Químicas	Resultados	Limites da ABNT NBR 5737:1992
PF	3,51	≤ 4,5
MgO	5,69	≤ 6,5
SO ₃ para C 3 A<8	3,3	≤ 3,5
RI	11,64	(N/A) Não aplicável
Características físicas	Resultados	Limites da ABNT NBR 5737:1992
Finura #200 (%)	0,01	≤ 6,0
Finura #400 (%)	1,34	(N/A) Não aplicável
Blaine (cm ² /g)	4952	≥ 3000
Água de Consist. (%)	30,85	(N/A) Não aplicável
Tempo de pega (h:m) Início	239,74	≥ 60
Tempo de pega (h:m) Fim	275	≤ 600
Expansib. a quente (mm)	0,00	≤ 5,0
Características mecânicas	Resultados	Limites da ABNT NBR 5737:1992
Resistência à compressão (MPa) (1 dia)	23,64	≥ 11,0
Resistência à compressão (MPa) (3 dias)	35,96	≥ 24,0
Resistência à compressão (MPa) (7 dias)	40,66	≥ 34,0
Resistência à compressão (MPa) (28 dias)	49,38	(N/A) Não aplicável

Fonte: Fabricante (junho, 2015).

3.1.2 Análise granulométrica do cimento

A análise granulométrica do cimento foi obtida através da granulometria por difração a laser. O ensaio de granulometria por difração a laser foi realizado no Laboratório de Caracterização e Valorização de Materiais (LCVMAT), na Unisinos. Este ensaio teve duração de aproximadamente 30 minutos e utilizou-se 1g ± 0,020g de partículas de cimento passante na peneira 75 µm (0,075mm). Os resultados destas análises podem ser observados no Quadro 3 e na Figura 8.

Quadro 3: Diâmetro equivalente do cimento

Diâmetro equivalente de massa acumulada	Cimento (µm)
D10 (10%) - menor	5,6
D50 (50%)	14,04
D90 (95%) - maior	43,97

Fonte: autora

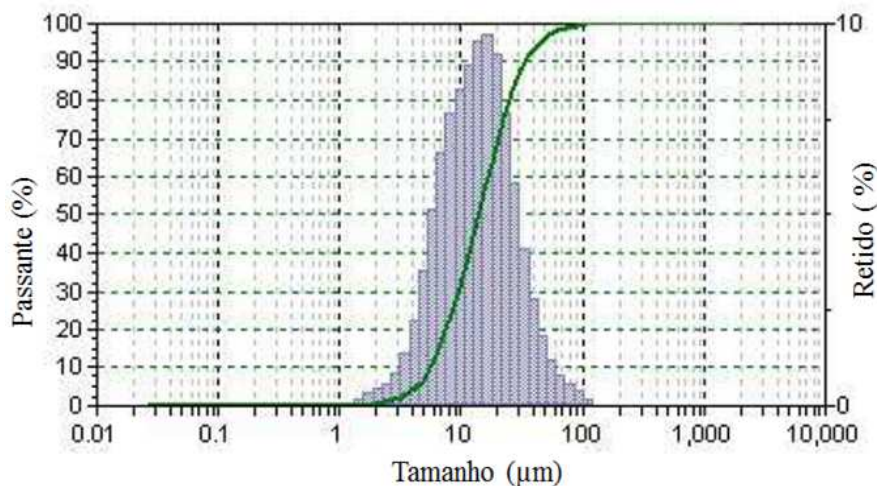


Figura 8: Gráfico do diâmetro equivalente do cimento

Fonte: autora

É possível observar que o tamanho médio das partículas de cimento foi de 14,04 μm . O gráfico confirma uma distribuição homogênea, uma vez que não apresentou problema de aglomeração (“barriga”).

3.1.3 Agregados e resíduos

Primeiramente foram apresentados os agregados e resíduos utilizados neste estudo, na sequência, foi apresentada a caracterização de acordo com as normas vigentes.

3.1.3.1 Agregado Miúdo Natural

O agregado miúdo utilizado foi de origem quartzosa proveniente do Rio Jacuí, na Região Metropolitana de Porto Alegre. O agregado não sofreu processo de peneiramento nem lavagem para ser usado. O material permaneceu em estufa a 105°C por 72h para retirada da umidade e foi armazenado em um recipiente plástico fechado e vedado até a data da moldagem das amostras.

3.1.3.2 Seleção dos resíduos

O critério de seleção dos resíduos seguiu Flach (2011), que investigou o potencial acústico de compósitos com resíduos, entre os quais o compensado resinado, casca de arroz e resíduos de contraforte de calçados. Nesta pesquisa foram feitas alterações nesta escolha, utilizando-se o EVA, casca de arroz e serragem.

3.1.3.3 Resíduo de EVA

O resíduo de EVA foi proveniente da empresa TACOSOLA, de Novo Hamburgo/RS. Este material é proveniente das sobras do processo de beneficiamento de placas de EVA, após passar por uma máquina de corte (Figura 9a). Parte dos resíduos de EVA é reaproveitado, porém o que sobra do processo de acabamento final, que passa pelas lixadeiras (Figura 9b), é recolhido através de exaustores, armazenado e descartado. Conforme Garlet (1998), estes são os resíduos de EVA, e foram utilizados nesta pesquisa.



(9a)



(9b)

Figura 9: Equipamentos utilizados no beneficiamento do EVA (a) máquina de corte e (b) máquina lixadeira

Fonte: autora

O resíduo gerado pelas máquinas pode ser visto na Figura 7. O material foi doado pela empresa para este estudo e armazenado em recipiente plástico fechado e vedado para evitar contaminação e umidade até a data da moldagem das amostras.



Figura 10: resíduo de EVA

Fonte: autora

3.1.3.4 Resíduo do arroz, casca de arroz (CA)

A CA foi fornecida pela empresa Arroz Prato Fino - Pirahy Alimentos Ltda, de São Borja/RS. Trata-se de um material natural leve, oriundo do processo de beneficiamento do arroz, que é automatizado. A máquina utilizada é um descascador de arroz, conforme Figura 11a. O arroz passa pela máquina que produz um esforço de cisalhamento sobre os grãos, provocando o rompimento da casca, a qual é recolhida, como pode ser visto na Figura 11b.



(11a)



(11b)

Figura 11: Equipamentos utilizados para o beneficiamento da casca de arroz (a) descascador de arroz e (b) recolhimento da casca

Fonte: autora

O resíduo gerado pelas máquinas pode ser visto na Figura 12. Este material foi doado pela empresa para este estudo e foi armazenado em recipiente plástico fechado e vedado para evitar contaminação e umidade até a data da moldagem das amostras.



Figura 12: Casca de arroz

Fonte: autora

3.1.3.5 Resíduo de madeira (serragem) - (RM)

O RM foi proveniente da empresa Jequitibá comércio de madeiras LTDA, cujo nome fantasia é Rondosul madeiras, de Porto Alegre/RS. Este material é originado no processo de beneficiamento das madeiras, que passam por máquinas de corte (Figura 13a), plaina (Figura 13b) e lixadeira (Figura 13c). Conforme informações da empresa, os RM são das madeiras Grápia e Angelim. Estes materiais são recolhidos através de exaustores e armazenados até o seu descarte final.



(13a)



(13b)



(13c)

Figura 13: (a) máquina de corte; (b) máquina de plaina; e (c) lixadeira

Fonte: autora

O resíduo gerado pelas máquinas pode ser visto na Figura 14. Este material foi doado pela empresa para este estudo e foi armazenado em recipiente plástico fechado e vedado para evitar contaminação e umidade até a data da moldagem das amostras.



Figura 14: Resíduo de madeira

Fonte: autora

3.1.3.6 Água

A água potável utilizada foi proveniente da rede pública de abastecimento da cidade de São Leopoldo/RS.

3.1.4 Caracterização dos agregados

A caracterização do agregado miúdo e dos resíduos (CA, EVA e RM) foi realizada no laboratório de materiais de construção (LMC), da Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Unisinos. As características físicas determinadas foram à massa unitária, massa específica e composição granulométrica.

3.1.4.1 Massa específica e unitária

Somente a areia foi caracterizada quanto à massa específica e a determinação do material fino passante na peneira 75 μm por lavagem, visto que não é possível realizar estes ensaios em materiais com reduzida densidade. O Quadro 4 expressa os resultados encontrados na realização dos ensaios e as normas técnicas que foram utilizadas.

Quadro 4: Caracterização dos agregados

Ensaio	Métodos de ensaio	Resultados			
		AREIA	EVA	RM	CA
Massa unitária (g/cm^3)	NBR NM 45 (ABNT, 2006)	1,6	0,17	0,14	0,19
Massa específica Aparente (g/cm^3)	NBR NM 52 (ABNT, 2009)	2,6	–	–	–
Massa específica Saturado superfície seca (g/cm^3)		2,57	–	–	–
Agregado seco (g/cm^3)		2,55	–	–	–
Determinação do material fino através da peneira 75 μm , por lavagem (%)	NBR NM 46 (2006)	0,8	–	–	–

Fonte: autora

Através da análise dos resultados apresentados no Quadro 4 é possível observar que a massa unitária dos agregados é baixa. Segundo Metha e Monteiro (2008), os materiais com massa unitária inferior a $1,12 \text{ g}/\text{cm}^3$ são definidos como agregados leves. A forma irregular dos grãos de EVA, RM e CA e a diferença entre as propriedades físicas, químicas e microestruturais destes materiais, segundo Flach (2012), pode ser uma das explicações para a diferença entre as massas unitárias dos resíduos quando comparados à da areia. Garlet (1998)

completa que existe uma relação entre a massa unitária dos agregados leves e a resistência do compósito, visto que ambas dependem dos mesmos fatores, desta forma, quanto maior for a massa unitária, maior será a resistência.

3.1.4.2 Análise granulométrica dos agregados

Foi determinada a composição granulométrica do agregado miúdo natural e dos resíduos baseada na norma NBR NM 248 (ABNT, 2003). O ensaio contou com a série de peneiras, desde a abertura de 4,76mm até o fundo, e um agitador de peneiras, marca Bertel Ltda, diâmetro de 200 mm, em velocidade média, por quinze minutos.

Uma vez que os resíduos e a areia ocupam volumes diferentes, para a realização deste ensaio, foram utilizadas massas diferentes. A areia seguiu as recomendações padrões da norma com duas amostras de 500g cada. Já os resíduos foram ensaiados com quatro amostras de 100g cada.

As características físicas da areia e dos resíduos podem ser visualizadas no Quadro 5, através dos resultados da dimensão máxima e o módulo de finura.

Quadro 5: Análise granulométrica dos agregados

Granulometria	Norma	Resultados			
		Areia	EVA	RM	CA
Dimensão Máxima característica (mm)	NBR NM 248 (ABNT, 2003)	1,19	4,76	4,76	4,76
Módulo de finura		1,45	4,11	5,56	4,15

Fonte: autora

A dimensão máxima das partículas dos três resíduos foi igual (4,76mm), sendo superior à dimensão máxima encontrada da areia (1,19mm). Por outro lado, ao analisar o módulo de finura, observa-se que os resultados não se repetem, porém são semelhantes entre os resíduos e muito superiores aos da areia.

A curva da distribuição granulométrica, apresentada na Figura 15, demonstra a diferença entre as partículas dos materiais analisados. No Apêndice B, encontram-se os dados do ensaio.

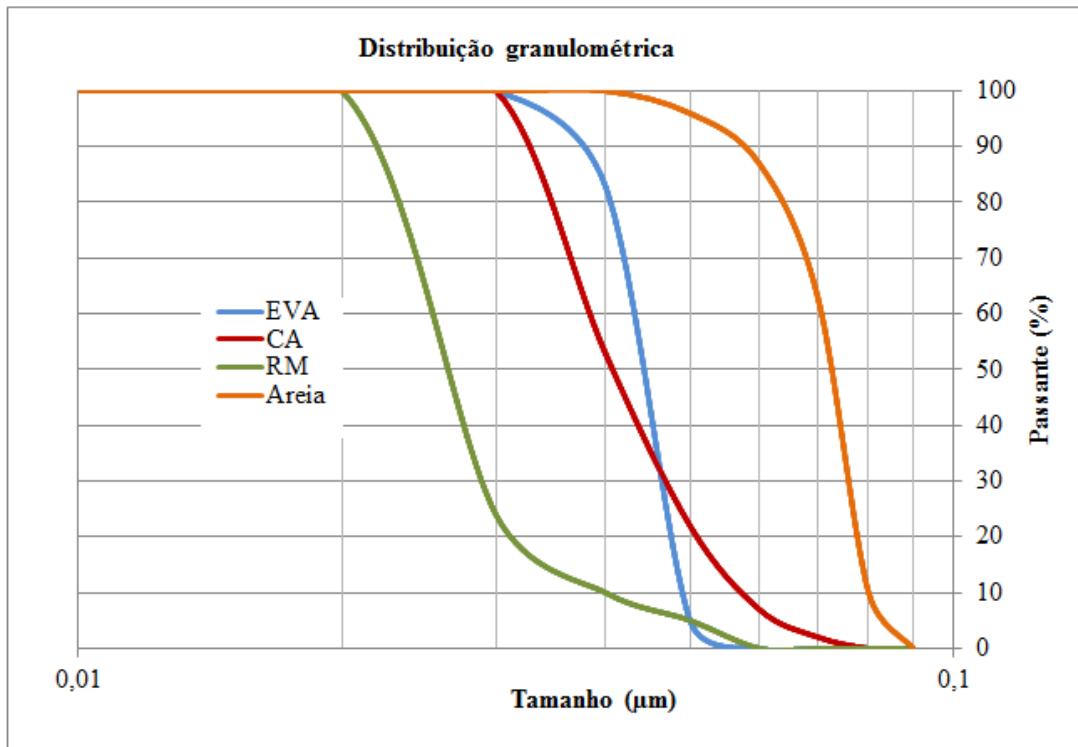


Figura 15: Curva granulométrica dos agregados

Fonte: autora

Observa-se que o EVA teve a maior quantidade de partículas retidas na peneira de 1,2mm (78%), a CA na peneira de 2,38mm (48%), e o RM peneira de 4,76mm (75%). A areia apresentou uma distribuição mais uniforme, com 10% de grãos retidos na peneira 0,6mm, 24% na peneira 0,3mm e 53% na peneira 0,15mm. Verifica-se ainda, que os três resíduos e a areia, em termos de enquadramento à NBR 7225 (ABNT, 1993), constituem agregados miúdos, com frações concentradas abaixo de 4,8 mm. De acordo com Pileggi, Studart e Pandolfelli (2001), um importante parâmetro para análise da trabalhabilidade das argamassas é a concentração de partículas de uma mesma dimensão granulométrica, visto que resulta na redução da distância média de separação. Por outro lado, Tristão (2005) relata que são necessários outros parâmetros para classificação dos agregados quanto à granulometria. Arnold (2011) completa que, a forma exterior do agregado pode ser um importante parâmetro observado em relação às dimensões (grão alongado, grão esférico, grão cúbico, grão lamelar, grão discóide ou grão quadrático), visto que resulta na redução da distância média de separação. Ainda, segundo Arnold (2011), a forma exterior que o agregado apresenta pode ser um importante parâmetro observado em relação às dimensões. Os grãos podem ser classificados, em função da textura superficial, como faces lisas ou ásperas. Dada à

importância, observaram-se, visualmente, as diferentes formas das partículas dos resíduos deste estudo (Figuras 16a, 16b, 16c).



(16a)

(16b)

(16c)

Figura 16: Análise visual da forma das partículas dos resíduos: (a) casca de arroz; (b) EVA (d) resíduo de madeira EVA

Fonte: autora

A CA apresentou arestas alongadas, o mesmo encontrado no estudo de Rosa *et al.* (2012), com dimensões de aproximadamente 7mm e textura lisa; o RM é mais lamelar, de arestas angulares e texturas ásperas, com dimensões variando entre 3mm e 10mm; já o EVA apresentou grãos de dimensões menores, o que também foi comprovado pela curva granulométrica.

Segundo Suguio (1973), os parâmetros ou propriedades texturais são as principais características dos grãos. Tristão (2005) completa que tais parâmetros podem ser expressos pela distribuição granulométrica, forma, textura superficial e a composição mineralógica.

3.2 MÉTODOS DE ENSAIOS

3.2.1 Confeção das formas

As formas de 1 x 1m e de 0,20 x 0,20 m, com 3 e 5 cm de espessura, foram confeccionadas na Unisinos. A confecção de amostras de 1 m² também foi adotada em outras pesquisa no Brasil como, por exemplo, no estudo realizado com resíduos de sola de sapato por Hax (2002).

Os materiais utilizados foram madeira compensada plastificada, de 12 mm de espessura, e MDF “Medium Density Fiberboard”, de 12 mm de espessura. As formas tiveram suas laterais moveis para facilitar na desforma, conforme pode ser visto nas Figuras 17a e 17b.



(17a)

(17b)

Figura 17: (a) Forma de 1,00 x 1,00m e Forma de 0,20x 0,20m e (b)

Fonte: autora

3.2.2 Produção das argamassas

As amostras de argamassa com as espessuras e teor de substituição da areia por resíduo podem ser observadas no Quadro 6.

Quadro 6: Modelo experimental de combinação de espessura das amostras e teor de substituição da areia pelos resíduos

Argamassa compósito	Espessuras (cm)	Teor de resíduo da areia em massa combinada com volume (%)
Referência	3 e 5	0
EVA	3 e 5	25
		50
		75
RM	3 e 5	25
		50
		75
CA	3 e 5	25
		50
		75

Fonte: autora

As misturas e moldagens foram realizadas no LMC da Unisinos, com o auxílio de uma betoneira de eixo vertical com capacidade para 0,150 m³. O traço referência foi o 1:4, em massa combinada com volume, visto que os resíduos possuem densidades diferentes. Optou-se por este traço por ser o mesmo da argamassa de regularização da câmara acústica, onde foram realizados os ensaios. (Apêndice A).

A mistura dos materiais na betoneira seguiu a ordem de colocação de Santos (2013) e Garlet (1998), visto que apresentou uma boa homogeneização. Primeiramente colocou-se na betoneira a areia e/ou os resíduos (quando foi o caso) e 1/3 da quantidade de água. Após, foi ligada a betoneira por cerca de um minuto para uma possível absorção de água pelo agregado. Com a cuba em movimento, aos poucos, foi adicionado o cimento, misturando por mais dois minutos. Na sequência, foi acrescentado o restante da água e aguardado mais três minutos. O tempo de mistura e a sequência dos materiais foram mantidos em todas as dosagens. Por outro lado, observou-se que a diferença de massa entre os materiais dificultou a homogeneidade durante a mistura.

As composições deste estudo exigiram quantidades de água diferentes, em razão do comportamento distinto dos materiais, com diferentes absorções de água, modificando a trabalhabilidade. No entanto, mesmo com os parâmetros pré-definidos, optou-se em realizar o controle através de ensaios no estado fresco. O Quadro 7 apresenta os ensaios realizados nas argamassas no estado fresco, cujos procedimentos são descritos no item 3.2.21.

Quadro 7: ensaios nas argamassas no estado fresco e normas utilizadas

Ensaio	Normatização
Índice de consistência por espalhamento	NBR 13276 (ANBT, 2005)
Densidade de massa	NBR 13278 (ANBT, 2005)

Fonte: autora

3.2.3 Moldagem dos Corpos de prova

O fundo das formas foi plano e rígido, para não interferir na análise de absorção das ondas sonoras, e recebeu desmoldante para evitar a aderência do material, facilitando a desmoldagem. Após a homogeneização da argamassa, o conteúdo foi colocado manualmente nas formas e procedeu-se a vibração. Este procedimento foi realizado na mesa vibratória da marca Claridon, de 1 x 0,78 x 2 m, com capacidade para 500 kg e potência de 750 Watts. Para um melhor adensamento do material dentro do molde, a vibração foi feita três vezes de cinco segundos cada, seguindo o mesmo procedimento do estudo de Santos (2013). O processo foi repetido para todas as misturas de argamassa deste estudo.

Durante o processo de vibração, as laterais das formas de 1 m² foram fixadas com peças metálicas para garantir firmeza. A moldagem dos corpos de prova pode ser vista na Figura 18.



Figura 18: Moldagem dos corpos de prova

Fonte: autora

Após o processo de vibração, com a ajuda de uma régua, conforme visto na Figura 19, o material foi nivelado, garantindo um bom acabamento.



Figura 19: Acabamento final

Fonte: autora

Em seguida à etapa de moldagem, as formas foram cobertas com uma tampa, com o material, para garantir um bom processo de cura. Todas as amostras foram desmoldadas após 72h, uma vez que, antes deste tempo, notou-se que ainda não haviam desenvolvido uma resistência mínima para o saque. Após, foram transportados para a sala climatizada com temperatura e umidade relativa controladas ($T = 23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e $\text{UR} = 60\% \pm 5\%$), conforme ABNT NBR 13276:2005. Os contrapisos permaneceram na sala de cura até a data dos ensaios no estado endurecido. O Quadro 8 apresenta os ensaios realizados na argamassa no estado endurecido e as normas utilizadas, cujos procedimentos são descritos no item 3.2.2.1.

Quadro 8: Ensaio na argamassa no estado endurecido e normas utilizadas

Ensaio	Normatização	
Resistência à compressão	NBR 13279 (ABNT, 2005)	
Resistência à tração na flexão		
Nível de pressão sonora de impacto ponderado	NBR 15575 (ABNT, 2013)	ISO 10140-3 (2010)
		ISO 717-2 (2013)
Densidade de massa aparente	ASTM D 1622-2008	
Rigidez dinâmica	ISO 9052 (1989)	
Fluência à compressão	ISO 20392 (2007)	
Corpo Duro	NBR 15575 (ABNT, 2013)	

Fonte: autora

3.2.4 Ensaio no estado fresco

3.2.4.1 Índice de consistência

De acordo com Bauer (2008), a consistência é uma propriedade relacionada com a maior ou menor facilidade da argamassa deformar-se sob a ação de cargas, e está relacionada com a trabalhabilidade da argamassa.

O índice de consistência foi determinado após a completa homogeneização da mistura e seguiu o procedimento recomendado pela ABNT NBR 13276 (ABNT, 2005). Devido a não uniformidade entre os grãos dos resíduos, obteve-se quatro medidas.

Fez-se necessário um acréscimo de água durante a homogeneização, a fim de obter-se a trabalhabilidade pré-estabelecida pelo estudo piloto. A utilização de agregados leves ocasionam mudanças significativas em importantes propriedades, tais como: trabalhabilidade, resistência mecânica, módulo de deformação e retração e, simultaneamente, influência na redução da espessura (ROSSIGNOLO; AGNESINI, 2011).

3.2.4.2 Densidade de massa

A densidade de massa das misturas foi determinada conforme a NBR 13278 (ABNT, 2005), sendo realizados três testes para cada traço de argamassa no estado fresco. Estes ensaios foram realizados após a homogeneização da mistura para garantir a conformidade dos resultados.

3.2.5 Ensaios no estado endurecido

3.2.5.1 Densidade de Massa Aparente

Primeiramente, utilizando uma balança eletrônica de precisão de 0,1g, da marca Marte Balanças, modelo AS 5000, mediu-se a massa (m) dos corpos de prova e suas dimensões. Para o cálculo da densidade aparente, seguiu-se a ASTM D1622-08, de acordo com a Equação (7):

$$D = m / V$$

Equação 7

Onde:

D = densidade aparente (kg/m³)

m = massa (kg)

V = volume (m³)

3.2.5.2 Resistência à compressão e à tração na flexão

Os corpos de prova foram curados por 28 dias em sala climatizada com temperatura e umidade controladas ($T = 23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e $\text{UR} = 60\% \pm 5\%$), e foram ensaiados no LMC da Unisinos, seguindo os procedimentos da NBR 13279 (ABNT, 2005). Os testes foram realizados através do método de ruptura de três amostras, para cada traço estudado. Para estes ensaios, a máquina de prensa utilizada foi da marca Emic, modelo DL 200, Classe 1 de calibração, com erro $\leq 5\%$. Os testes foram efetuados a uma velocidade de carregamento de 50 ± 10 N/s. A Figura 20 demonstra o ensaio de resistência à tração na flexão da amostra com EVA com 25% de substituição por areia.



Figura 20: Ensaio de tração na flexão

Fonte: autora

A tensão de ruptura de resistência à compressão e à tração na flexão foi calculada através da média das amostras e está apresentada no capítulo de resultados.

3.2.5.3 Resistência a impactos de corpo duro

A resistência ao impacto de corpo duro nas placas de 1 m² foi determinada após os ensaios acústicos. Os ensaios foram feitos conforme disponibilidade do laboratório, em tempos de cura após os 28 dias, seguindo a ABNT NBR 15575:2013. Trata-se de um ensaio destrutivo, no qual foram usados os seguintes aparelhos: esfera de aço maciça de massa de 1 kg e esfera de aço maciça de massa de 0,5 kg. As alturas de queda (h), energia de impacto (E) e os critérios de desempenho para impacto de corpo duro em sistemas de pisos estabelecidos pela NBR 15575, podem ser vistos no Quadro 9. O cumprimento dos requisitos estabelecidos corresponde ao nível de desempenho mínimo (M).

Quadro 9: Massa de corpo duro, altura e energia do impacto, critérios e níveis de desempenho para impacto de corpo duro em sistemas de pisos

impacto	m (kg)	h (m)	E (J)	Critério de desempenho
Esfera de aço de grande dimensão	1	1	10	Não ocorrência de ruína e traspassamento Admitidas falhas superficiais como mossas, fissuras, lascamento e desagregações
	1	2	20	
	1	3	30	
Esfera de aço de pequena dimensão	0,5	0,5	2,5	Não ocorrência de ruptura da camada de acabamento Admitidas falhas superficiais como mossas, lascamentos, fissuras e
	0,5	0,75	3,75	
	0,5	1	5	

Fonte: adaptado da NBR 15575: 2013

Sob a ação de impactos de corpo duro, o sistema não pode sofrer ruptura ou traspassamento sob qualquer energia de impacto, sendo tolerada a ocorrência de fissuras, lascamentos e outros danos em impactos de segurança.

Durante a vida útil de projeto de uma edificação, o sistema de piso deve resistir ao impacto de corpo duro, representado pela energia de impacto do ensaio. De acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2013), os impactos com maiores energias referem-se ao estado limite último e os de menores energias referem-se ao estado limite de utilização.

O ensaio objetivou verificar a resistência do compósito quanto a cargas verticais concentradas. De acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2013), o material deve resistir aos impactos de corpo duro previsíveis nas condições normais de serviço, sem apresentar ruína no sistema de pisos. Cada uma das placas recebeu seis impactos, sendo dispostos em posições

aleatórias, com um tubo de PVC para delimitar a paragem da esfera durante o ensaio, conforme pode ser visto na Figura 21.



Figura 21: Condições de ensaio de corpo duro

Fonte: autora

Para facilitar a visualização de possíveis danos, foi usado um papel carbono sobre a amostra, no local de queda do corpo duro de impacto. Este local foi observado, marcado e fotografado para a posterior análise visual, verificando eventuais danos como ruptura, deslocamento, desagregação e fissuras.

3.2.6 Rigidez Dinâmica

O ensaio para determinação da rigidez dinâmica é descrito na norma ISO 9052-1:1989, que considera os resultados por unidade de área de amostra. Esta propriedade foi determinada pela avaliação da frequência de ressonância, através da vibração vertical do sistema massa-mola, por meio do método da ressonância, baseada no modelo simplificado desenvolvido por Cremer, Heckl e Ugar de 1988 (MOREIRA; ANTÓNIO; TADEU, 2012).

Utilizou-se três amostras quadradas de dimensões reduzidas (0,2 x 0,2 m), nos teores de substituição de 25, 50 e 75% e nas espessuras 3 e 5cm.

Depois de confeccionadas as amostras no LMC e curadas em sala com temperatura e umidade controladas ($T = 23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e $\text{UR} = 60\% \pm 5\%$) por 18 dias, as amostras foram preparadas para o ensaio, aos 21 dias de idade, sendo verificadas medidas, espessuras e peso das amostras. Para a preparação dos ensaios, foi colocada sobre as amostras uma película de plástico impermeável. Após, foi aplicada uma camada de gesso de 5 mm com a ajuda de um gabarito de madeira, a fim de cobrir eventuais irregularidades (Figura 23).

Após um período de secagem do gesso de $24 \text{ h} \pm 2 \text{ h}$, as amostras foram transportadas para o local dos ensaios.



Figura 22: Amostras preparadas para o ensaio de rigidez dinâmica

Fonte: autora

Os ensaios de rigidez dinâmica foram realizados no itt Fuse (Instituto Tecnológico em Ensaios e Segurança Funcional) da Unisinos. No total foram 60 amostras ensaiadas que seguiram o procedimento descrito a seguir.

Primeiramente a amostra foi colocada sobre uma base de alumínio (240×240 mm) fixa na base do equipamento de vibração denominado de Shaker. Trata-se de uma base de grande inércia, na qual em vibração, a velocidade pode ser desprezável em relação à velocidade de vibração da placa de carga. Sobre a amostra, foi colocada uma chapa de aço (placa de carga) quadrada (200×200 mm), sendo sua massa de 200 kg/m^2 , com massa total de 8 kg.

O equipamento Shaker é da marca ETS Solutions, modelo MPA10-L315M, conforme pode ser visto na Figura 24, que suporta uma carga de até 120 kg. Durante o ensaio, o equipamento transmitiu vibrações verticais, com amplitude máxima de aceleração constante de 0,2 G. O sinal emitido foi do tipo senoidal (formada por seno completo), sendo este considerado o mais apropriado (BARON; BONFIGLIO; FAUSTI, 2004). A resolução de frequência escolhida foi de 0,01Hz, permitindo assim a medição da frequência pico de ressonância com precisão de 0,5%.

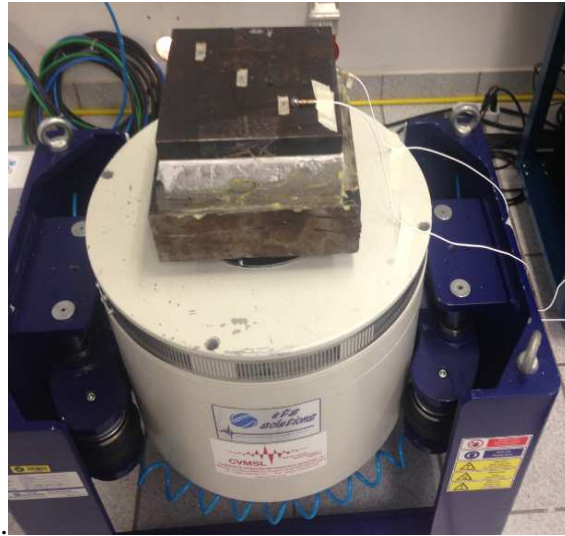


Figura 23: Shaker usado para o ensaio de rigidez dinâmica

Fonte: autora

Seguindo as recomendações da norma ISO 9052-1:1989, foi colocada uma fina camada de vaselina sólida em volta da amostra. As leituras das frequências de ressonância, após as excitações, ocorreram pela gravação do sinal de saída, através de um acelerômetro. Este posicionado em três pontos dispostos sobre o provete metálico, ao qual foram enviadas para o computador e armazenadas para futura análise. O procedimento de ensaio pode ser visto na Figura 25.



Figura 24: Procedimento de ensaio de rigidez dinâmica

Fonte: autora

Os resultados de frequência de ressonância e rigidez dinâmicas possibilitaram o cálculo de um valor único de ΔL (dB), que pode prever o comportamento do material, se

usado em piso flutuante. Para este cálculo, usou-se as recomendações da norma europeia BS EN 12354-2:2000.

3.2.7 Fluência à compressão

A determinação da fluência à compressão é através de um ensaio acelerado, que mede a redução de espessura do material ao longo do tempo. Os ensaios de fluência à compressão seguiram os procedimentos da norma ISO 20392, conforme esquema apresentado na Figura 25. Utilizou-se as mesmas três amostras quadradas de dimensões 0,2 x 0,2 m utilizadas no ensaio de rigidez dinâmica, nos teores de substituição de 25, 50 e 75% de resíduos por agregados miúdos, nas espessuras 3 e 5 cm. Entretanto, foi removido o gesso e o plástico das amostras para realização deste ensaio.

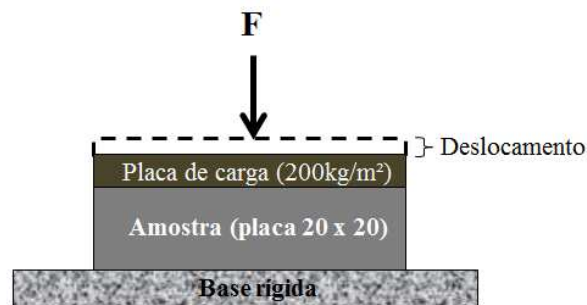


Figura 25: Esquema de ensaio de Rigidez dinâmica

Fonte: autora

Os ensaios de fluência à compressão foram realizados no itt Performance (Instituto tecnológico em desempenho e construção civil) da Unisinos, onde foram ensaiadas 6 amostras de cada traço, sendo 3 de cada espessura estudadas. No total foram investigadas 60 amostras, 12 por vez, em virtude do número de equipamentos disponíveis.

Em uma sala com temperatura e umidade controladas ($T = 20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e $\text{UR} = 72\% \pm 5\%$), as amostras foram dispostas sobre uma base rígida, livre da influência de vibrações. Em seguida, foram submetidas a uma carga de 200 kg/m^2 através de uma placa de aço de dimensões $0,2 \times 0,2 \text{ m}$, totalizando 8 kg , sendo esta colocada sobre as amostras. Após este procedimento, foram montados e acionados os relógios analógicos comparadores de $0,01 \text{ mm}$ de precisão, que serviram para a leitura das deformações. A Figura 26 apresenta as amostras durante o ensaio de rigidez dinâmica.



Figura 26: Esquema de ensaio de fluência à compressão

Fonte: autora

As leituras do comportamento dos compósitos foram realizadas nos intervalos de tempos descritos pela ISO 20392. Por questões de adequação do cronograma, optou-se por administrar os ensaios durante 18 dias. Para análise de resultados, seguiu-se o estudo de Zuchetto *et al.* (2015), no qual foi feita uma extrapolação com 30 vezes o tempo do ensaio, o que correspondeu a 1 ano e 6 meses (540 dias).

3.2.8 Níveis de ruído de Impacto

As amostras de 1,0 x 1,0 m, com 3 e 5 cm de espessura, foram confeccionadas no LMC e curadas na sala com temperatura e umidade controladas ($T = 23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e $\text{UR} = 60\% \pm 5\%$), pelo período de 21 dias. Após, foram transportadas para o local dos ensaios, com espumas para proteger de vibração ou quebra. Neste local aguardou-se por 7 dias para estabilizar a temperatura e umidade, garantindo as mesmas condições do local de ensaio. Após este período, foram ensaiadas, aos 28 dias, duas placas por vez, conforme cronograma instituído para as 20 placas deste estudo.

As medições de ruído de impacto dos compósitos para o desenvolvimento deste estudo foram realizadas em laboratório na câmara acústica do itt Performance, e seguiram recomendações da NBR 15575 (ABNT, 2013), através do método laboratorial.

A norma referência para o ensaio foi a ISO 10140-3 (2010) "*Laboratory measurement of sound insulation of building elements -Part 3: Measurement of impact sound insulation*", e para análise de resultados, sendo a determinação do nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado, a ISO 717-2 (2004) "*Rating of sound insulation in building and of building elements -Part 2: Impact sound insulation*".

A norma ISO 10140-3 (2010) define uma superfície de amostra para o ensaio, igual ou maior a 10 m², porém, neste estudo, assim como D'Alessandro, Asdrubali e

Baldinelli (2014), optou-se em fazer amostras de 1 m². O objetivo desta escolha foi minimizar o tempo de medições e evitar desperdício de materiais, visto que os teores de substituições dos resíduos e as espessuras trouxeram grande número de variações. Por outro lado, o uso de amostras de dimensões reduzidas permite somente análises comparativas, sem a possibilidade de obtenção de um valor absoluto de nível de ruído de impacto padronizado ponderado.

Os equipamentos utilizados para a realização dos ensaios estão apresentados na Figura 27, da marca Bruel & Kjaer (B&K): analisador modelo 2270, acoplado a um controle remoto, que serviu para auxiliar na realização do ensaio, acionando a operação da máquina de impacto (Figura 27a) e calibrador sonoro, modelo 4231; microfone, modelo 4189, posicionado a 150 cm do chão (Figura 27b); amplificador de potência modelo 2734 (Figura 27c); e um aparelho *Tapping Machine*, (máquina geradora de impacto padronizada), modelo 3207 (Figura 27d).

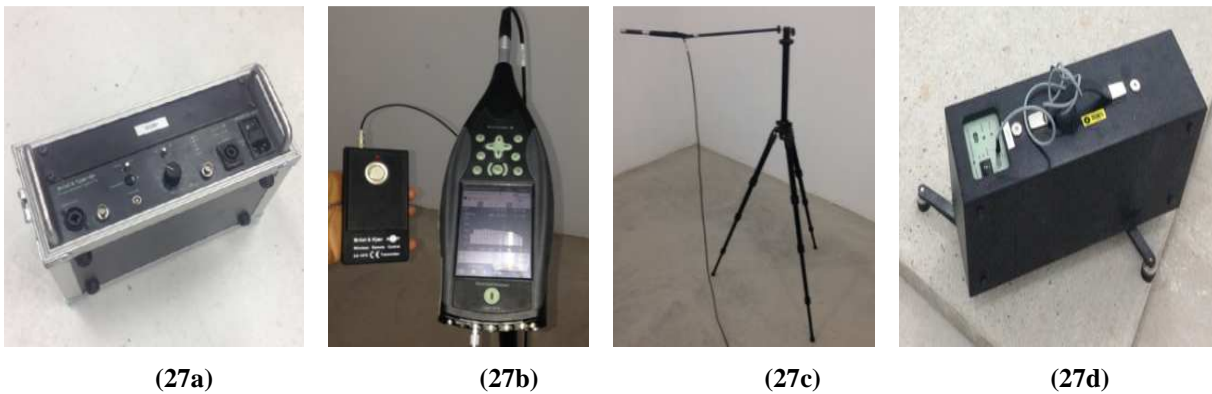


Figura 27: Equipamentos usados para realização do ensaio de ruído de impacto

Fonte: autora

Antes da realização dos ensaios, na câmara acústica do itt Performance, foram captadas as condições de temperatura e umidade relativas, através do analisador climático, modelo ITMP 600 da marca Instrutemp. A temperatura esteve compreendida entre 18,3°C e 23,2°C e a umidade relativa entre 70,2% e 80,3%. O resultado do nível sonoro equivalente padronizado (L_n) foi calculado pela equação:

$$L_n = L_i + 10 \log \frac{A}{A_0} \text{ dB}$$

Equação 8

Onde:

L_n = nível sonoro equivalente padronizado

L_i = nível sonoro de impacto

A_0 = área de absorção equivalente de referência (10m²)

A = área de absorção equivalente da câmara no momento do ensaio, sendo esta obtida pela equação:

$$A = 0,16 \frac{V}{T} \quad \text{Equação 9}$$

Onde:

V = volume do receptor

T = tempo de reverberação

A câmara acústica do Itt Performance, onde foram realizados os ensaios de ruído de impacto, pode ser vista na Figura 28.



Figura 28: Câmara acústica do Itt Performance

Fonte: autora

A câmara acústica é constituída de duas salas, uma emissora e outra receptora, ambas com dimensões internas de 4,45 x 3,80 m, área total de 16,91 m², e pé direito de 3 m, perfazendo um volume total de 50,73 m³. As paredes são duplas de alvenaria de bloco cerâmico maciço, com espessura total de 40 cm, e revestimento argamassado e pintado com tinta acrílica na cor branca. A laje que separa a sala receptora da sala na qual esteve a fonte emissora durante os ensaios, conforme apresentado na Figura 29, é maciça e de concreto armado, com espessura de 12 cm.

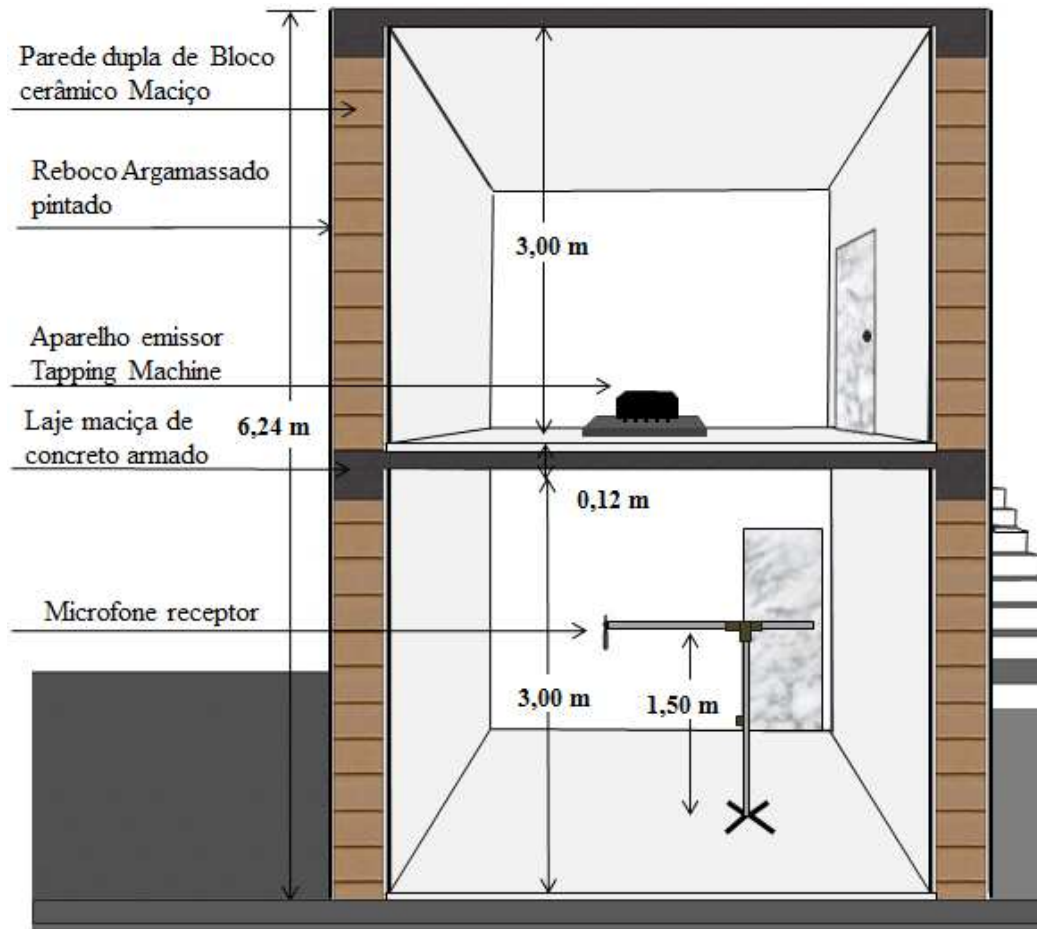


Figura 29: Corte câmara acústica

Fonte: autora

As principais etapas dos ensaios para determinação do nível de ruído de impacto foram:

a) Ajuste de calibração do sistema de medição

Antes de cada ensaio, foi feita uma verificação da calibração do sistema de medição, em 94 dB e na frequência 1000 Hz. A tolerância utilizada no laboratório foi de 0,5 dB, tendo como base o desvio de calibração inicial. Este procedimento serviu para garantir o controle de qualidade do processo de medição e confiabilidade dos resultados.

b) Posicionamento do material e equipamento

As amostras foram levadas até a sala superior (sala emissora) com a ajuda de um cabo de aço. As mesmas foram dispostas uma de cada vez sobre o piso da câmara acústica, no centro da sala emissora (pavimento superior), conforme pode ser visto na Figura 30.

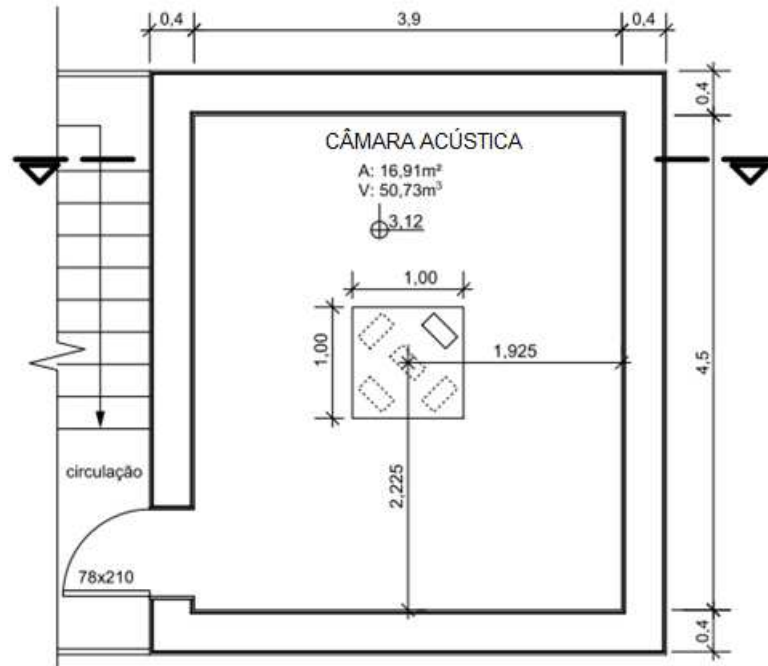


Figura 30: Planta baixa câmara acústica (sala emissora) - Esc: 1/50

Fonte: autora

Os ensaios foram feitos com cinco posições de fonte de impacto sobre a amostra, e dispostas perpendicularmente, conforme pode ser observado na Figura 31. Usaram-se duas posições de microfone receptor com 1,5 m de altura, localizados na sala receptora (sala inferior), para cada posição de fonte. Este procedimento foi o mesmo para todas as quatorze amostras ensaiadas.



Figura 31: Amostra sendo ensaiada

Fonte: autora

c) Medição do desempenho acústico das amostras

Inicialmente, para cada ensaio, foi medido na câmara de recepção, o nível de pressão sonora de impacto (L₂). Também foi medido o tempo de reverberação (T), para o qual utilizou-se o amplificador sonoro conectado à fonte dodecaédrica. O tempo de

reverberação é o tempo para que um nível de pressão sonora estabelecido dentro de um recinto tenha um decréscimo de 60 dB, e corresponde a quantidade de energia armazenada no interior da sala. Este valor compõe a equação de valores padronizados. Uma vez que este estudo consiste em uma pesquisa exploratória de materiais inovadores, os valores medidos geram informações importantes para serem utilizados na etapa de projeto.

O ensaio de ruído de impacto consistiu em excitar o piso, na sala da fonte, usando o aparelho de impacto mecânico. Este possui cinco martelões, de 0,5 kg cada, que caem a 4 cm de altura, emitindo 10 impactos por segundo. Simultaneamente, foi medido o nível sonoro médio na sala de recepção (L_2). O tempo de reverberação foi medido na sala receptora utilizando o ruído Rosa, e as leituras foram realizadas por pressão sonora em Hz e em dB e registradas em bandas de 1/3 de oitava, nas frequências de 100 a 5000 Hz, e para a base de cálculos, considerou-se o contrapiso existente na sala, sendo este de 3cm de espessura.

d) Tratamento de resultados

Após a obtenção dos valores finais para os níveis de pressão sonora de impacto padronizado (L_n), procedeu-se o tratamento dos resultados, unificando os valores para a determinação de um único valor global por frequência. Este é o nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado ($L'_{nT,W}$), o qual expressa o desempenho acústico do sistema ensaiado, em dB. O valor adotado corresponde ao ponto no qual a curva de referência intercepta a linha correspondente aos valores de L_n de frequência de 500 Hz, após os ajustes dos desvios, seguindo recomendação da norma ISO 717-2 (2013). A NBR 15575 não estabelece limites para o desempenho de ruído de impacto em laboratório.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo estão apresentados e discutidos os resultados de caracterização da argamassa no estado fresco, sendo estes o índice de consistência e densidade de massa; e ensaios no estado endurecido, sendo ensaios de corpo duro, rigidez dinâmica, fluência à compressão e nível de ruído de impacto padronizado ponderado.

4.1 PROPRIEDADES FÍSICAS AVALIADAS

4.1.1 Ensaios no estado fresco

4.1.1.2 Índice de consistência

O estudo do índice de consistência quantificou o comportamento da argamassa no estado fresco. O valor do índice de consistência corresponde à média aritmética entre quatro leituras. Os resultados deste ensaio estão apresentados no Quadro 10, no qual é possível observar o teor de água, a relação a/c, as temperaturas e umidades para cada traço moldado e o índice de consistência, para as diferentes argamassas.

Quadro 10: Resultados do ensaio de consistência das argamassas no estado fresco

Argamassa compósito	Teor de resíduo (%)	Índice de consistência (mm)	Quantidade de água (kg)	Quantidade de Cimento (kg)	Relação a/c	Temperatura (C°)	Umidade (%)
Referência	0	220	6,27	5,59	1,12	9,5	82
EVA	25	220	7,33	5,59	1,31	14,5	87
	50	219	9,25	5,59	1,65	14,4	59
	75	213	14,2	5,59	2,54	19,4	78
CA	25	219	5,7	5,59	1,02	16,1	16,1
	50	218	5,8	5,59	1,04	14,5	14,5
	75	217	6,65	5,59	1,19	21,6	21,6
RM	25	220	4,72	5,59	0,84	19,8	77
	50	219	5	5,59	0,89	20	82
	75	210	5,63	5,59	1,01	21,6	94

Fonte: autora

A consistência dos traços estudados apresentou um espalhamento entre 210 e 220 mm. Para que fossem alcançadas as consistências desejadas e mantida a trabalhabilidade dentro do limite, a quantidade de água dos traços com resíduo foi aumentada. Segundo Arnold (2011), esta diferença de comportamento ocorre, pois ao serem misturados com o restante da pasta, os resíduos se comportam de maneira diferente, alguns retendo mais água que outros.

O EVA foi o resíduo que apresentou maior relação a/c em todos os teores de substituição, seguido da CA e do RM. Conforme Flach (2012), a razão para a não absorção de

água do EVA é a sua composição a base de polímeros, derivados do petróleo, sem material orgânico em sua composição. Observou-se que, entre os teores de substituição dos resíduos por areia, o de 75% foi o que demandou uma quantidade maior de água, apresentando um menor abatimento. Este comportamento foi o mesmo para os três resíduos estudados. De acordo com Bezerra (2002), um dos fatores que prejudica a trabalhabilidade e as reações de hidratação dos compósitos cimentícios é a utilização de materiais de baixa densidade, e principalmente materiais com característica esponjosa, como é o caso do EVA.

Outra razão para explicar a diferença de consistência, entre as argamassas deste estudo, pode ser a forma do grão, que, de acordo com Bastos (2002), influencia na trabalhabilidade das misturas. Grãos menos arredondados e mais irregulares demandam maior quantidade de água, além de conferirem à mistura um aspecto mais áspero. Além disso, a elevada porosidade dos agregados leves pode contribuir, durante o processo de mistura, com uma absorção de parte da água de amassamento, prejudicando a trabalhabilidade.

As Figuras 32a de EVA 75%, Figura 32b de RM 75% e Figura 32c de CA 75% exemplificam a diferença de comportamento entre os resíduos e porcentagens de substituição pela areia.



(32a) 75% EVA

(32b) 75% RM

(32c) 75% CA

Figura 32: Diferença de comportamento entre os resíduos e porcentagens de substituição pela areia

Fonte: autora

Observou-se que o espalhamento não foi uniforme, principalmente nas misturas com 75% de resíduo, os quais apresentaram dispersão, provavelmente devido às diferenças entre os grãos. Além disso, segundo Lima Filho (2008), a baixa densidade e a textura áspera, característica dos agregados porosos, contribui para que o agregado segregue e flutue na superfície da mistura.

4.1.1.3 Densidade de massa

Os resultados dos testes de densidade de massa das argamassas no estado fresco encontram-se apresentados na Figura 33.

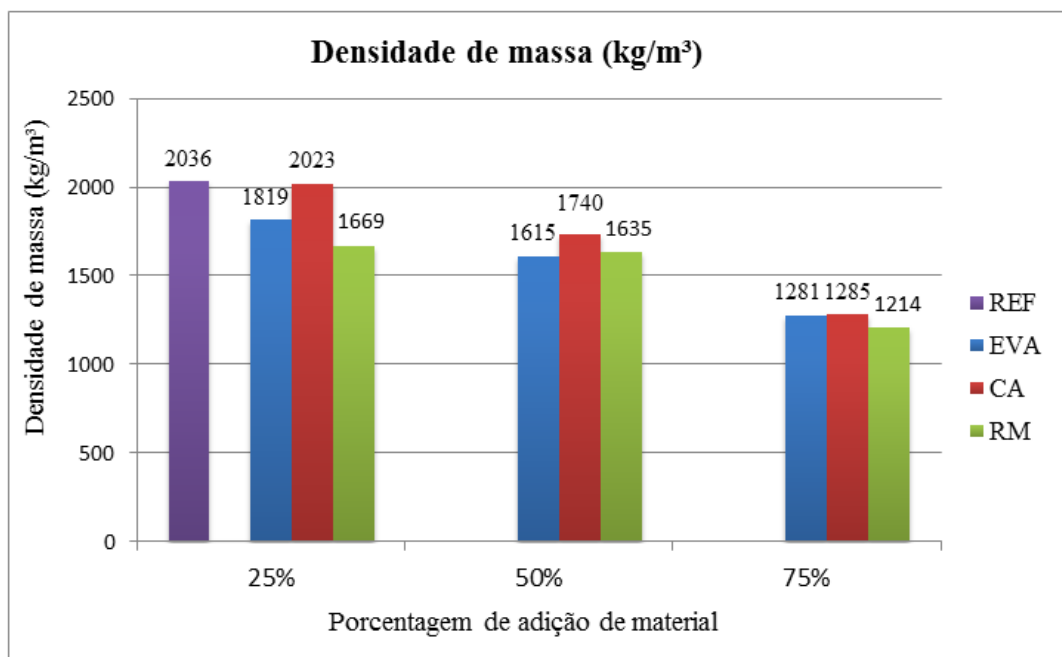


Figura 33: Resultados de densidade de massa das argamassas no estado fresco

Fonte: autora

Ao analisar os resultados da Figura 33, observa-se que a amostra de referência apresentou densidade de massa superior a todos os resíduos e porcentagens deste estudo. Observou-se uma similaridade, com a mistura com 25% de substituição por CA. Evidenciou-se uma diminuição da densidade de massa dos compósitos, na medida em que teve o aumento nos teores de substituição de areia pelos resíduos.

As misturas com RM foram as que apresentaram menores valores de densidade de massa, seguidas das com EVA, demonstrando o mesmo comportamento obtido no ensaio de massa unitária dos materiais isolados. Apenas as argamassas com 75% de substituição para os três resíduos apresentaram densidade de massa no estado fresco inferiores a 1400 kg/m³, valor limitante indicado por Carasek (2006) para classificação como argamassa leve.

4.2 CARACTERIZAÇÕES DA ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO

4.2.1 Medição da densidade aparente

A densidade aparente foi obtida através da média aritmética dos resultados obtidos para cada amostra. Os dados obtidos podem ser vistos no Quadro 11.

Material	Teor de substituição (%)	Massa (kg)	Espessura (m)	Volume (m ³)	Densidade aparente (kg/m ³)
Referência	0	2,72	0,035	0,001	1950
		3,99	0,051	0,002	1975
EVA	25	2,33	0,034	0,001	1702
		3,61	0,052	0,002	1748
	50	1,73	0,030	0,001	1423
		2,88	0,050	0,002	1454
	75	1,16	0,031	0,001	924
		2,28	0,051	0,002	1124
RM	25	1,90	0,031	0,001	1523
		3,17	0,050	0,002	1571
	50	1,79	0,034	0,001	1320
		2,86	0,053	0,002	1363
	75	1,16	0,032	0,001	916
		1,90	0,050	0,002	945
CA	25	2,60	0,034	0,001	1905
		4,01	0,052	0,002	1917
	50	2,20	0,033	0,001	1681
		3,43	0,052	0,002	1643
	75	1,45	0,034	0,001	1083
		2,24	0,055	0,002	1028

Quadro 11: Resultados de densidade aparente dos compósitos

Fonte: autora

Observou-se que os resultados de densidade aparente dos compósitos seguiram a mesma tendência dos ensaios de massa unitária, onde o compósito de referência apresentou maior valor de densidade aparente, seguido da CA, do EVA e do RM. Além disso, também se observou que, quanto maior foram os teores de substituição de areia por resíduo, menor foi o valor da densidade aparente. Cabe ainda considerar que os três resíduos deste estudo possuem menor massa unitária que a areia.

Segundo Melo (2007), ao analisar a argamassa, quanto menor a densidade aparente, maior será a quantidade de vazios existentes na mistura e, possivelmente, menor será a resistência dos compósitos. Por outro lado, estes vazios podem influenciar positivamente no isolamento acústico.

4.2.2 Ensaio de Resistência à tração na flexão e à compressão

Através dos ensaios de resistência à tração na flexão e compressão axial das argamassas no estado endurecido, verificou-se a influência dos resíduos e dos teores de substituição no comportamento dos compósitos.

4.2.2.1 Tração na flexão

Os resultados dos ensaios de tração na flexão dos corpos de prova estão apresentados na Figura 34. No Apêndice C, encontram-se os dados do ensaio.

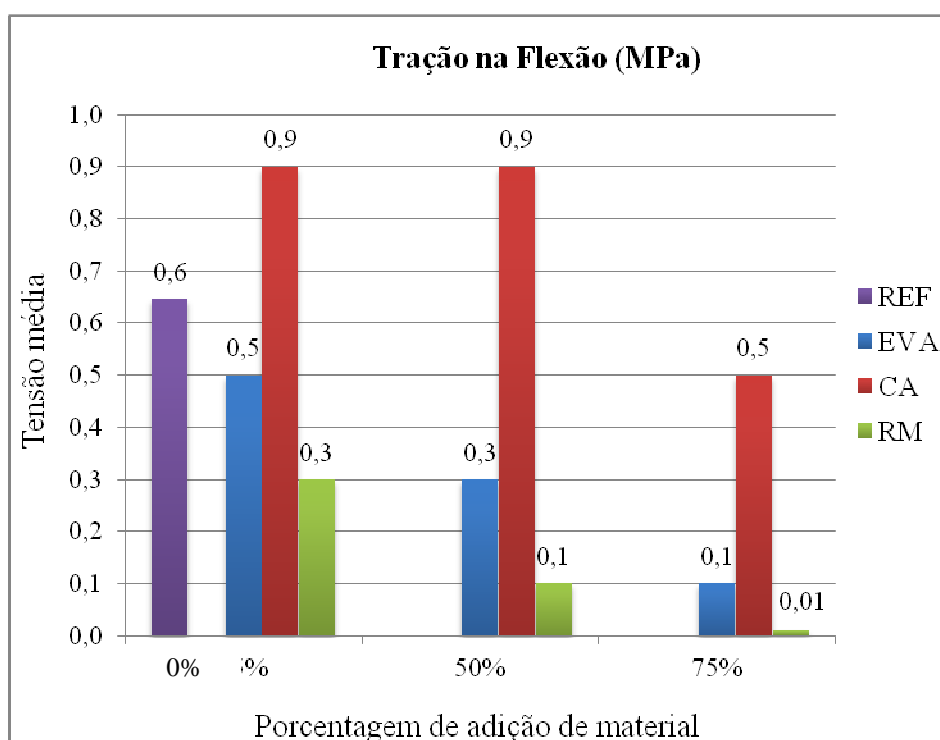


Figura 34: Resistência à tração na flexão para as amostras

Fonte: autora

Tomando como base os valores apresentados na Figura 35, constatou-se que na medida em que houve a substituição do agregado miúdo natural por resíduo ocorreu uma diminuição na resistência de tração na flexão, havendo uma proporcionalidade nos resultados. Como exceção do compósito com CA, com 25 e 50% de resíduo, que apresentou o resultado de 0,9MPa. O mesmo foi observado por Souza (2012) nos ensaios de tração na flexão.

Dentre os traços com substituição, o traço com RM foi o que apresentou um decréscimo mais acentuado de resistência à tração na flexão. Nas argamassas moldadas com 75% de RM, percebeu-se uma redução acentuada de resistência em relação ao teor de 25% do mesmo resíduo, sendo esta, 30 vezes maior. As argamassas com CA, entretanto, apresentaram um comportamento similar em todos os teores de substituição, com resistência, em média, três

vezes maior quando comparadas às argamassas com EVA, e nove vezes maior quando comparadas com à argamassas com RM.

4.2.2.2 Compressão axial

A tensão de ruptura de compressão axial aos 28 dias está representada na Figura 35. No Apêndice D, encontram-se os dados do ensaio.

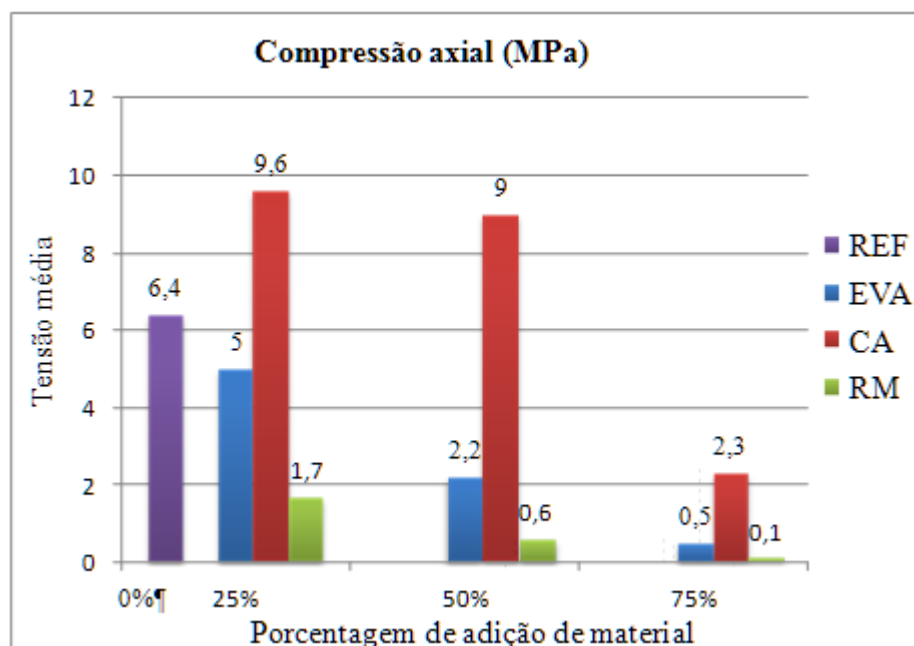


Figura 35: Resistência à compressão axial

Fonte: autora

Conforme a Figura 35, percebe-se uma proporcionalidade nos resultados, uma vez que quando houve a substituição do agregado miúdo natural por resíduo, ocorreu um decréscimo de resistência à compressão, em todos os compósitos estudados, à exceção dos com CA. Além disso, há uma tendência de decréscimo na resistência à compressão dos compósitos com o aumento da porcentagem de resíduo. O mesmo foi observado por Souza (2012) com o uso de EVA incorporado a compósitos cimentícios.

Durante os ensaios, observando-se o comportamento das amostras verificou-se que nem todas tiveram a ruptura total dos corpos de prova, como foi o caso das amostras com EVA. Contrapondo a isto, as amostras com RM apresentaram rompimento imediatamente ao início do ensaio. Este comportamento provavelmente ocorreu devido às características do RM, que foi o resíduo que apresentou piores resultados nos ensaios de compressão deste estudo. De acordo com Garlet (1998), a elevada absorção dos agregados leves é um dos fatores que estão relacionados com a resistência à compressão de compósitos que utilizam este material, uma vez que, é difícil determinar a quantidade exata de água absorvida.

Os maiores acréscimos de resistência foram observados nas argamassas com substituição de CA nos teores de 25 e 50%, que mostraram-se superior aos demais compostos, seguido pelo de referência, do EVA e RM.

De maneira geral, a configuração do grão pode ter ajudado para esta melhora de comportamento, visto que a superfície do agregado também afeta a resistência à compressão. Acredita-se ainda, que esta característica de porosidade possa ser favorável para o isolamento acústico do material.

4.3 ENSAIO DE CORPO DURO

Os locais de queda do corpo duro nas amostras foram registrados e passaram por uma análise visual para verificação dos eventuais danos. As primeiras placas ensaiadas foram às de referência, de 3 e 5cm. Nas placas de 3cm, dentre os seis impactos sofridos, em apenas duas, de maior inércia, foram verificadas mossas superficiais, quase imperceptíveis; e na placa de 5cm apenas um impacto de maior inércia apresentou o mesmo comportamento.

Nas placas de EVA 25% apenas a amostra com 5cm apresentou moossa em uma das seis quedas, sendo na de maior inércia, conforme pode ser visto na Figura 36. Já as de 50% não apresentaram dano. As amostras com EVA 75% apresentaram mossas nas quedas de maior inércia tanto nas placas de 3 como nas de 5 cm.



Figura 36: Amostra com EVA 25%

Fonte: autora

As placas de CA foram as que melhor se comportaram frente ao ensaio de corpo duro, visto que tanto as placas de 3cm como as de 5cm com 25% e 50% de resíduos não apresentaram ruína ou danos visíveis. Por outro lado, as amostras de CA 75%, por estarem com a superfície muito irregular em razão da forma do grão da CA, conforme pode ser visto na Figura 37, não puderam ser adequadamente analisadas.

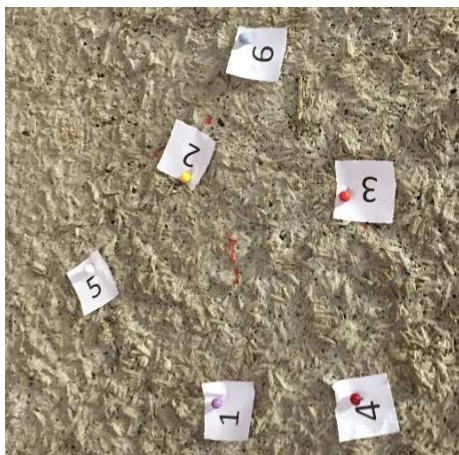


Figura 37: Amostra com CA 75%

Fonte: autora

As placas com RM foram as que apresentaram os piores resultados. As amostras confeccionadas com 25% de RM de espessuras 3 e 5cm, 50% de 5cm e 75% de 3cm não puderam ser ensaiadas pois não resistiram ao transporte após o ensaio acústico. Já as placas com 50% de RM de 3cm e 75% de 5cm, além das mossas, apresentaram fissuras que comprometeram a estabilidade. Este comportamento pode ser visto na Figura 38.

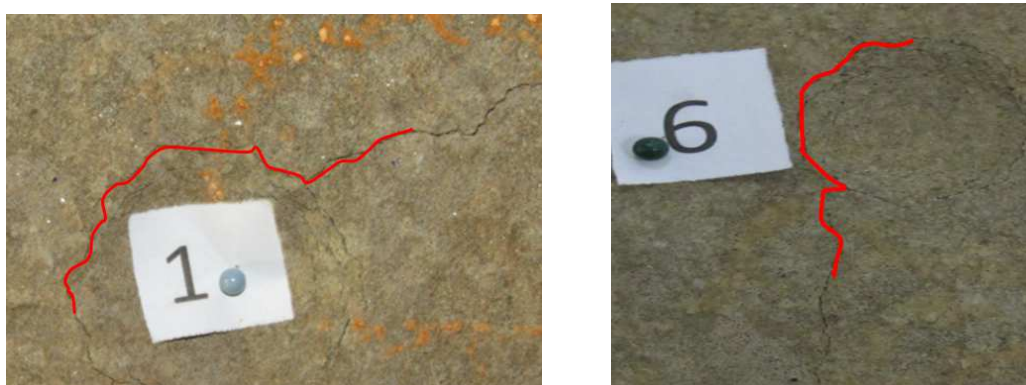


Figura 38: Amostras com 50 e 75% de RM

Fonte: autora

Todas as amostras ensaiadas, com exceção as com RM, resultaram no cumprimento dos requisitos estabelecidos pela NBR 15575, correspondente ao nível de desempenho mínimo (M).

4.4 RIGIDEZ DINÂMICA

Os resultados dos ensaios para determinação da rigidez dinâmica (s') e frequência de ressonância f_0 (Hz) das amostras podem ser verificados no Quadro 11.

Quadro 11: Resultados do ensaio para determinação da rigidez dinâmica e frequência de ressonância das amostras

Material	Teor de substituição (%)	Espessura (m)	f_0 (Hz)	S' (MN/m ³)	Massa (kg)	Densidade aparente (kg/m ³)
Referência	0	0,035	174	236	2,72	1950
		0,051	129	130,2	3,99	1975
EVA	25	0,034	165	212,8	2,33	1702
		0,052	129	129,2	3,61	1748
	50	0,030	120	113,1	1,73	1423
		0,050	93	68	2,88	1454
	75	0,031	94	69	1,16	924
		0,051	81	51,3	2,28	1124
CA	25	0,031	120	112,5	1,90	1523
		0,050	116	105,1	3,17	1571
	50	0,034	105	86,1	1,79	1320
		0,053	89	61,9	2,86	1363
	75	0,032	91	64,7	1,16	916
		0,050	92	66,1	1,90	945
RM	25	0,034	147	169,5	2,60	1905
		0,052	91	64,1	4,01	1917
	50	0,033	78	47,8	2,20	1681
		0,052	74	42,3	3,43	1643
	75	0,034	47	17,2	1,45	1083
		0,055	35	9,6	2,24	1028

Fonte: autora

De modo geral, foram verificados valores decrescentes com o aumento nos teores de resíduo. Todos os teores de substituição (25, 50 e 75%) apresentaram frequência de ressonância e rigidez dinâmica inferiores às amostras de referência, demonstrando uma melhora. Além disso, observou-se uma melhora em todos os materiais, para os quais quanto mais espesso maior o valor de densidade aparente e menor o valor de rigidez dinâmica. De acordo com D'Alessandro, Asdrubali e Baldinelli (2014), a densidade dos materiais cimentícios tem influência direta sobre a rigidez dinâmica, que tende a reduzir com a diminuição dos valores de densidade.

Os compósitos com RM foram os que apresentaram melhores resultados de rigidez dinâmica, seguidos dos de CA e por último os de EVA.

4.4.1 Rigidez dinâmica dos compósitos com EVA

A Figura 39 apresenta o comportamento das amostras com EVA, de 3 e 5 cm com 25, 50 e 75% de resíduos, quanto à frequência de ressonância e rigidez dinâmica.

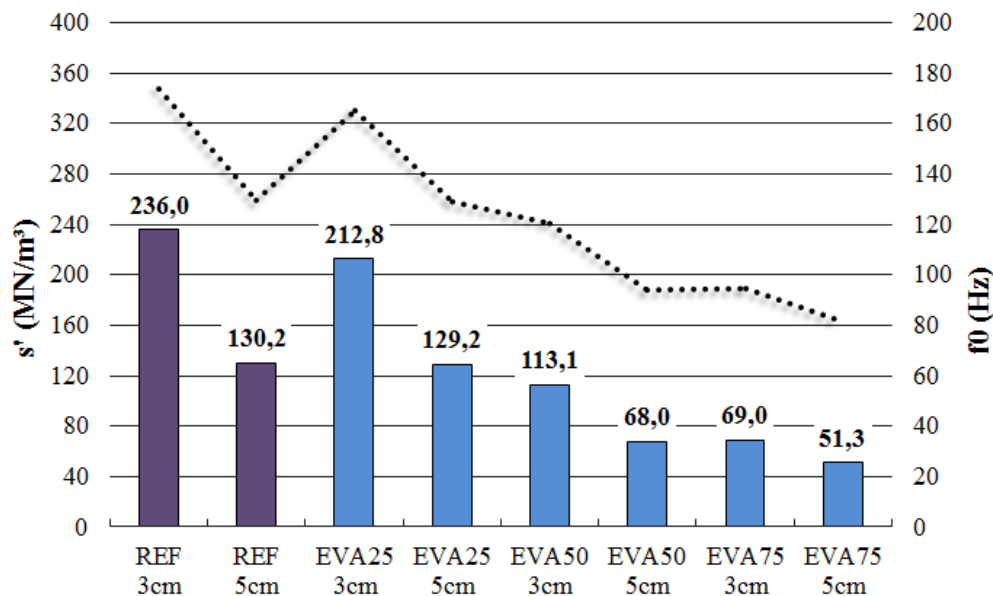


Figura 39: Rigidez dinâmica e frequência de ressonância das amostras com EVA

Fonte: autora

Observa-se que as amostras confeccionadas com EVA apresentaram frequência de ressonância e rigidez dinâmica inferiores às amostras de referência, com a mesma espessura. De modo geral, foram verificados valores decrescentes com o aumento do teor de EVA. Além disso, observou-se uma melhora nas amostras mais espessas (5 cm), com menor densidade. Este comportamento explica que quanto mais denso for o material testado, maior será o valor de rigidez dinâmica.

O valor de rigidez dinâmica de 113,1 MN/m³, encontrado neste estudo para argamassa com 50% de substituição e 3 cm de espessura, assemelha-se com o de 90,03 MN/m³ para 40% de substituição encontrados por Zuchetto *et al.* (2015), para amostras de 3 cm de espessura. De acordo com os autores, quanto maior o teor de polímero das argamassas, melhor as propriedades de isolamento acústico, principalmente em altas frequências.

O estudo de Neves, António e Nossa (2008), com composto de cortiça e poliuretano, a amostra que conduziu ao valor de rigidez dinâmica aparente mais elevado foi a de menor espessura e a de maior massa volumétrica aparente. O melhor resultado obtido pelos autores foi na amostra de aglomerado de 6mm, com um valor de rigidez dinâmica aparente de 165 MN/m³.

4.4.2 Rigidez dinâmica dos compósitos com CA

A Figura 40 apresenta o comportamento das amostras com CA, de 3 e 5 cm de espessura (25, 50 e 75%) quanto à frequência de ressonância e rigidez dinâmica.

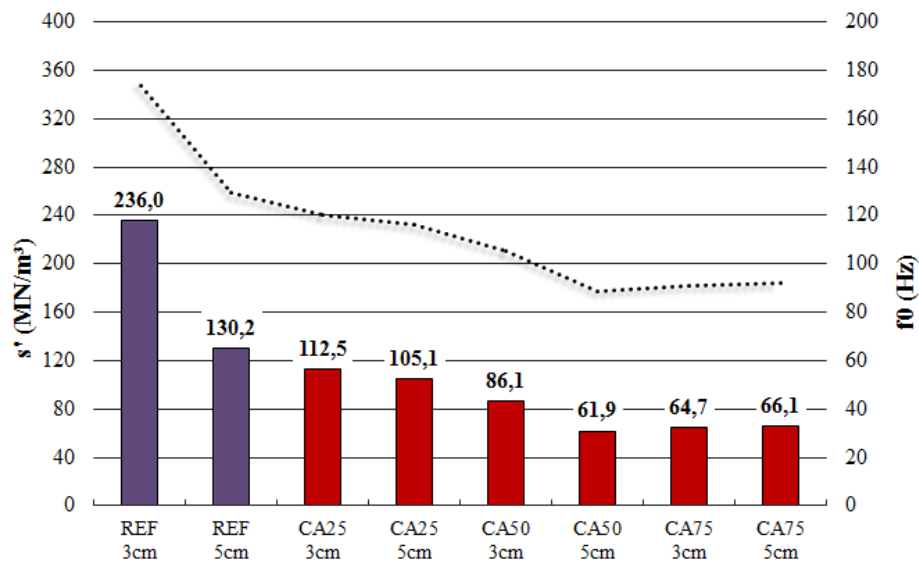


Figura 40: Rigidez dinâmica e frequência de ressonância das amostras com CA

Fonte: autora

Observa-se que as amostras confeccionadas com CA também apresentaram reduções da frequência de ressonância e da rigidez dinâmica, comparando-se com as placas de referência. As diferenças entre as espessuras de 3 e 5 cm nas amostras com CA não foram tão significativas como nas amostras de referência, sendo que, nas com teor de 75% de CA, o aumento da espessura acarretou um aumento na frequência de ressonância em 1,4 MN/m³.

4.4.3 Rigidez dinâmica dos compósitos com RM

A Figura 41 apresenta o comportamento das amostras com RM com de 3 e 5 cm (25, 50 e 75%) quanto à frequência de ressonância e rigidez dinâmica.

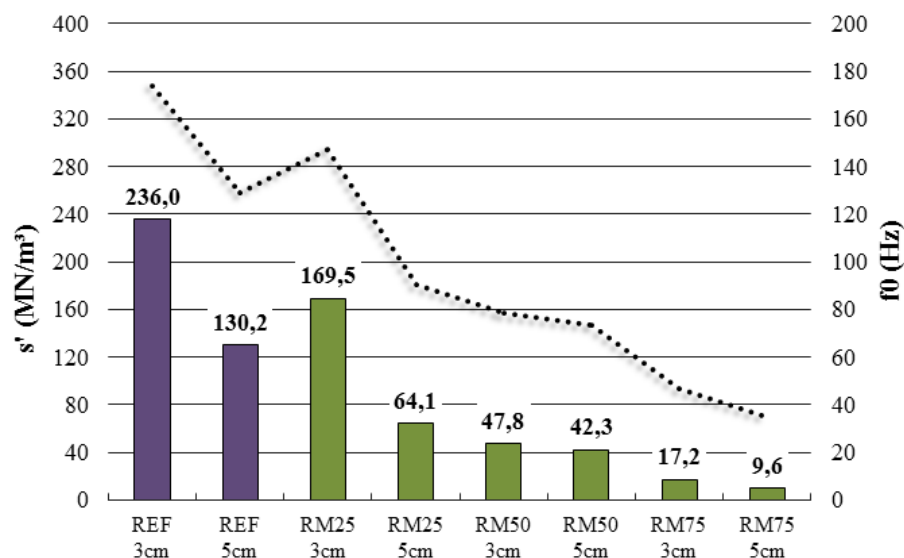


Figura 41: Rigidez dinâmica e frequência de ressonância das amostras com RM

Fonte: autora

Quando comparadas as amostras de referência com as confeccionadas com RM nota-se que a adição desse resíduo proporcionou reduções nas frequências de ressonância e na rigidez dinâmica.

Dos três resíduos investigados neste estudo, o RM foi o que obteve melhores resultados quanto aos ensaios de rigidez dinâmica, onde o de 75% de 3 e 5 cm de espessura com valores de 17,2 MN/m³ e 9,6 MN/m³ respectivamente. Já o valor de 64,1 MN/m³, encontrado para o RM de 25% na espessura 5 cm, demonstrou uma similaridade com o valor de 63MN/m³ encontrado no estudo de D'Alessandro, Asdrubali e Baldinelli (2014). Porém, os autores testaram a rigidez dinâmica de compósito leves contendo material polimérico derivado de fios elétricos na espessura 7 cm.

O compósito com 5 cm e 75% de RM apresentou o resultado de 9,6 MN/ m³, demonstrando uma similaridade com o valor de 8 MN/ m³, sugerido por Kim, Jeong e Yang, (2009), para um material com boa redução ao sons de impacto.

4.5 FLUÊNCIA À COMPRESSÃO

O ensaio de fluência à compressão contou com três amostras de cada traço e espessura estudados. As amostras ficaram submetidas a uma carga de 200 kg/m², durante 18 dias. Os valores foram extrapolados, através do software Excel para um tempo de uso 30 vezes maior, correspondentes a 1 ano e 6 meses. Os gráficos de fluência a compressão dos compósitos deste estudo encontram-se no apêndice E.

4.5.1 Fluência à compressão dos compósitos com EVA

Os valores extrapolados de redução de espessura, correspondentes a 1 ano e 6 meses de uso, dos compósitos de referência e de EVA com 25, 50 e 75% de substituição de resíduo por areia, com 3 e 5 cm, podem ser vistos na Figura 42.

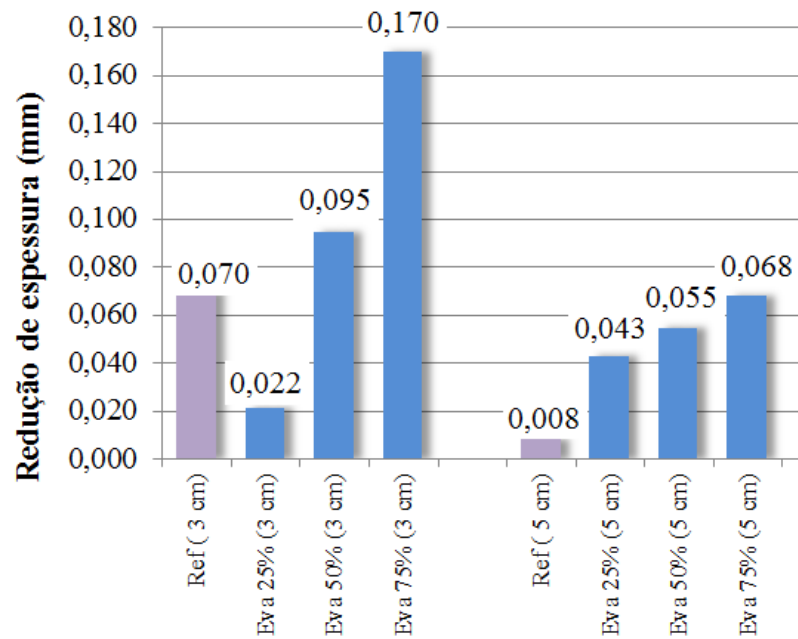


Figura 42: Resultados de redução de espessura dos compósitos de referência e de EVA

Fonte: autora

As amostras de referência de 5 cm foram as que apresentaram menor deformação ao longo do tempo, quando comparadas com as amostras de EVA de mesma espessura. De maneira geral, as amostras de referência, apresentaram menor deformação, com exceção, a amostra de EVA 25%, de espessura 3 cm, que apresentou menor deformação que a de referência 3 cm. Por outro lado, as amostras de referência não apresentaram semelhanças, quanto a deformação, quando comparadas as espessuras de 3 e 5 cm, visto que as amostras de 3 cm apresentaram deformação 7,43 vezes maior do que a de 5 cm.

A estimativa de deformação das amostras de EVA, com 3 e 5 cm de espessura, apresentaram valores coerentes com o aumento na proporção de resíduos, sendo previstas por extrapolação de valores, uma deformação maior nas amostras confeccionadas com 50% e 75% de EVA. O mesmo foi observado por Zuchetto *et al.* (2015), com a proporção de 80% e 100% de polímero de EVA, na espessura 3 cm, os autores alcançaram uma deformação de 0,12 mm para o mesmo tempo de ensaio.

4.5.2 Fluência à compressão dos compósitos com CA

Os valores extrapolados de redução de espessura, correspondentes a 1 ano e 6 meses de uso, dos compósitos de referência e de CA com 25, 50 e 75% de substituição de resíduo por areia, com 3 e 5 cm, podem ser vistos na Figura 43.

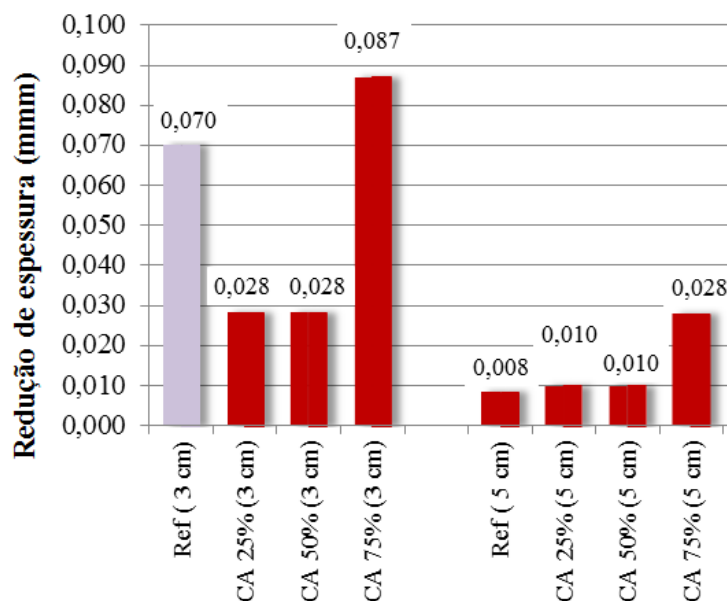


Figura 43: Resultados de redução de espessura dos compósitos de referência e de CA

Fonte: autora

As amostras de referência de 5 cm foram as que apresentaram menor deformação ao longo do tempo, quando comparadas com as amostras de CA, de mesma espessura. De maneira geral, observou-se que as amostras contendo CA apresentaram deformação menor que as amostras de referência, demonstrando um bom comportamento deste material. Desta forma, pode-se considerar que exista um potencial para manter as propriedades acústicas ao longo do tempo em função da redução de espessura.

Com o aumento de resíduos, a estimativa de deformação apresentou valores coerentes, para os quais quanto mais resíduos, maior à deformação observada, sendo prevista, por extrapolação de valores, uma deformação maior nas amostras confeccionadas com 50% e 75% de CA. As amostras de CA 25 e 50%, apresentaram comportamento semelhante entre si quanto à deformação, tanto nas espessuras 3 cm, quanto nas espessura 5 cm, que apresentaram uma deformação de 0,028 mm e 0,010mm respectivamente.

4.5.3 Fluência à compressão dos compósitos com RM

Os valores extrapolados de redução de espessura, correspondentes a 1 ano e 6 meses de uso, dos compósitos de referência e de RM com 25, 50 e 75% de substituição de resíduo por areia, com 3 e 5 cm, podem ser vistos na Figura 44.

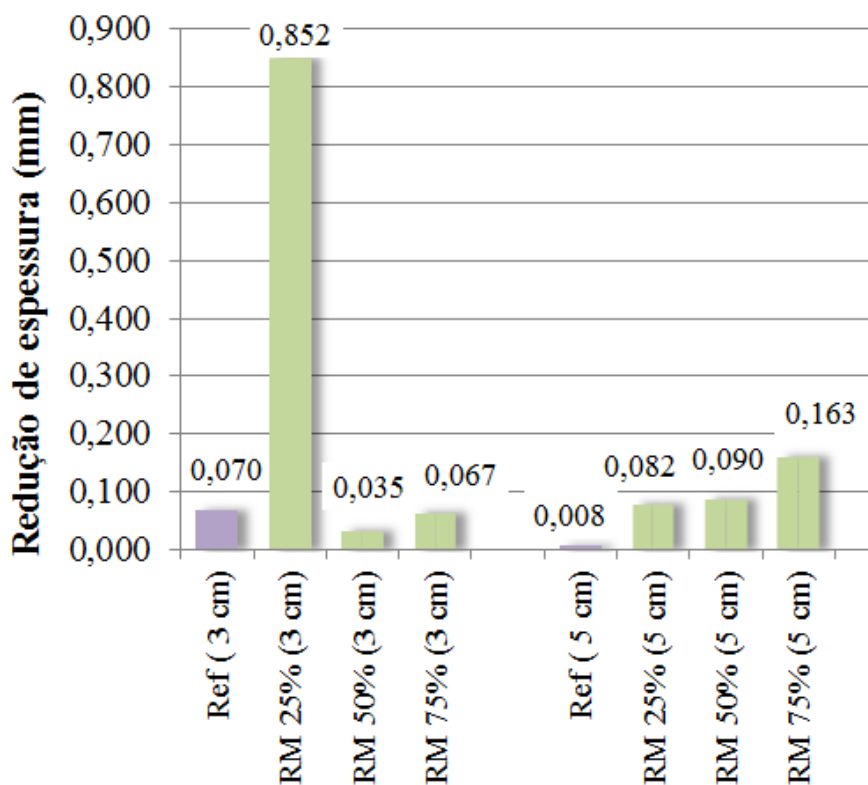


Figura 44: Resultados de redução de espessura dos compósitos de referência e de RM

Fonte: autora

As amostras de referência de 5 cm foram as que apresentaram menor deformação ao longo do tempo, quando comparadas com as amostras de RM de mesma espessura. Com o aumento de resíduos, a estimativa de deformação apresentou valores coerentes, para os quais quanto mais resíduos, maior foi a deformação observada. Sendo assim, foi prevista, por extrapolação de valores, uma deformação maior nas amostras confeccionadas com 50% e 75% de CA. A exceção foi na amostra de RM 25%, de 3 cm, que apresentou maior deformação que as de 50% e 75% de mesma espessura.

Ao longo do tempo as amostras de RM 25% com espessura 3 cm, apresentaram deformação de 0,852 mm, correspondente a 28,4% da espessura inicial total. Considerando-se o valor de 0,4% de deformação encontrado por Zuchetto *et al.* (2015), para amostras de igual espessura, pode-se afirmar que este material terá sua capacidade de isolamento acústico reduzida em função da redução de espessura resultante da compressão.

Materiais com células abertas e com baixa densidade tendem a mudar sua capacidade de amortecimento ao longo do tempo. Dikavičius e Miškinis (2009) em seu estudo constataram que existem alterações significativas na capacidade de amortecimento ao impacto mecânico em materiais com células abertas, quando comparados aos materiais de células fechadas.

4.6 NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA DE IMPACTO PADRONIZADO PONDERADO ($L'_{nT,W}$)

Em virtude da fragilidade das placas com RM nos teores de 25, 50 e 75%, todas as seis a mostras quebraram durante o transporte. Diante desta limitação, este resíduo não pode ser ensaiado quanto aos níveis de pressão sonora de impacto. Esta fragilidade pode estar relacionada com a fraca adesão entre o cimento e o RM, que ocorre de forma física, química e ainda pela combinação das duas (LATORRACA, 2000). A adesão física dá-se através da ligação interfacial das partículas da madeira com o cimento e a adesão química por meio de pontes de hidrogênio. Por outro lado, esta aderência pode ser melhorada com a lavagem dos resíduos. Conforme o estudo de Stancato (2006) que utilizou a metodologia recomendada por Beraldo e *et al.* (2002), o autor tratou partículas de *Eucalyptus grandis* e do *Pinus caribaea* com a imersão em solução aquosa de 5% de cal em relação à massa de resíduo. Uma das finalidades deste método foi diminuir a interferência dos extrativos e açúcares presentes na madeira, aumentando a reação de pega e endurecimento, o que demonstrou melhora na qualidade do compósito.

O Quadro 12 apresenta os resultados dos níveis de pressão sonora de impacto padronizado ponderado dos compósitos deste estudo e a redução em relação à laje existente. No Apêndice F estão expostos os resultados de nível de pressão sonora padronizado ponderado ($L'_{nT,W}$) e os valores por banda de um terço de oitava (L'_{nT}), para todos os compósitos investigados por este estudo.

Quadro 12: Níveis de pressão sonora de impacto padronizado ponderado (L'_{nT}).

Material	Teor de substituição (%)	Espessura (m)	$L_{nT,w}$ (dB)	Redução (dB)
Laje zero + regularização	0	0,012	71	
Referência	0	0,035	66	5
		0,051	66	5
EVA	25	0,034	63	8
		0,052	60	11
	50	0,03	61	10
		0,05	61	10
	75	0,031	57	14
		0,051	56	15
CA	25	0,031	66	5
		0,05	63	8
	50	0,034	65	6
		0,053	63	8
	75	0,032	59	12
		0,05	56	15

Fonte: autora

Em relação aos níveis de pressão sonora de impacto padronizado ponderado ($L'_{nT,w}$), observou-se que todos os compósitos apresentaram uma redução superior a 5 dB em relação a laje existente. Esta redução foi obtida através do cálculo dos valores de $L'_{nT,w}$ da laje a regularização (piso existente), menos os valores de $L'_{nT,w}$ adquiridos nas amostras ensaiadas. Percebe-se que o acréscimo de resíduos, promoveu uma redução maior nos níveis de pressão sonora, e, além disso, o aumento da espessura em geral demonstrou uma melhoria. Segundo Branco e Godinho (2013), a espessura dos elementos construtivos representa uma importante variável, uma vez que pode influenciar significativamente no desempenho acústico dos elementos construtivos. Segundo os autores, $L'_{nT,w}$ de uma laje de concreto armado tende a diminuir à medida que aumenta a espessura da laje.

Os valores mais baixos de níveis de pressão sonora de impacto padronizado ponderado ($L'_{nT,w}$), encontrados por Tutikian *et al.* (2012) foram nas amostras com maior proporção de EVA graúdo e de densidades mais baixas nos traços 1: 1: 4 e 1: 1,5: 3,5.

4.6.1 Níveis de pressão sonora de impacto padronizado ponderado ($L'_{nT,w}$) dos compósitos com EVA

Na Figura 45 estão expostos os resultados de nível de pressão sonora padronizado ponderado ($L'_{nT,w}$) e os valores por banda de um terço de oitava (L'_{nT}), por faixa de frequências, das amostras confeccionadas com EVA. Percebe-se que a redução do níveis de ruído de impacto é maior, na medida em que se aumenta a espessura e o teor de EVA das amostras, especialmente nas bandas de frequências acima de 500 Hz. Abaixo da banda de frequência de 500 Hz, o sistema de piso ensaiado sofreu uma forte influência da limitação do tamanho da amostra, em função da ressonância provocada pelo comprimento de onda propagado na câmara de recepção. Esse fato também explica as limitações de estudos com amostras de dimensões reduzidas, conforme citado anteriormente.

As amostras confeccionadas com 75% de EVA apresentaram um forte decaimento nas bandas centrais de frequência acima de 500 Hz, o que caracteriza o comportamento típico de materiais para amortecimento de ruído de impacto (KIM; JEONG; YANG, 2009; PATRÍCIO, 2010b).

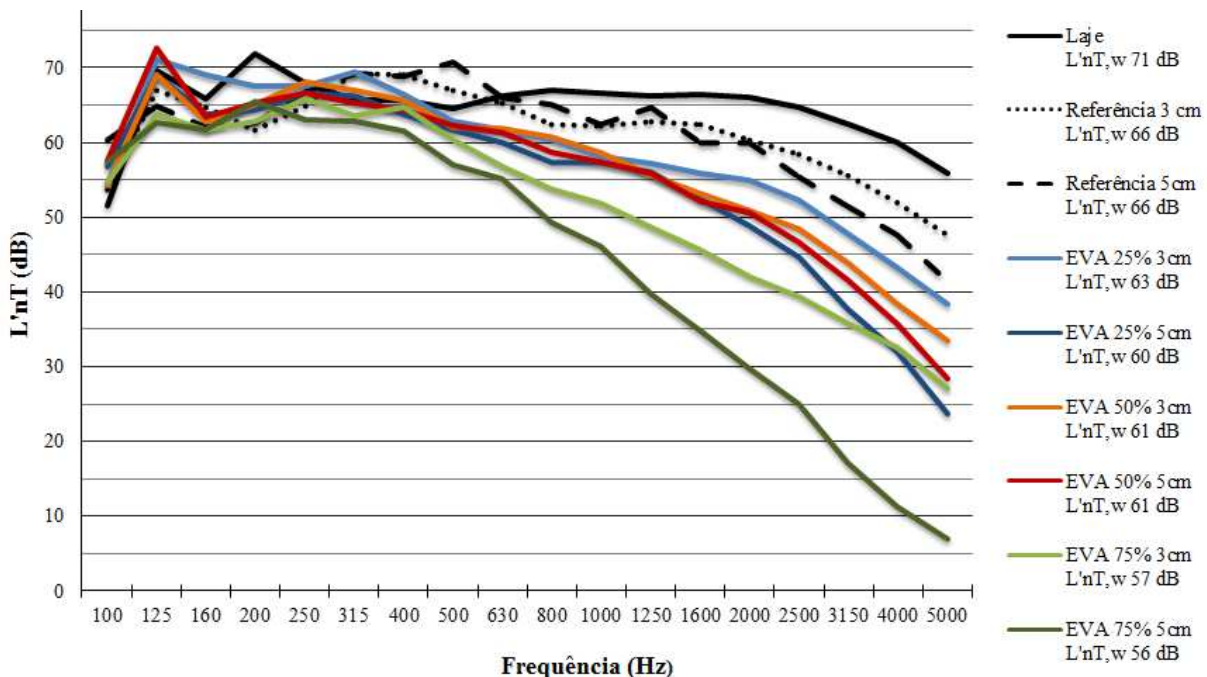


Figura 45: Resultados dos níveis de ruído de impacto das amostras com EVA.

Fonte: autora

O decaimento nas bandas de frequência mais altas é típico em sistemas de pisos com amortecimento de vibrações mecânicas, conforme apresentado anteriormente na Figura 6 e verificado em outros estudos. Branco e Godinho (2013) trabalharam com argamassa leve, contendo Poliestileno expandido, cortiça e argila expandida, como uma camada elástica,

usada para minimizar a transmissão do impacto sonoro em sistemas de piso flutuante. Os materiais testados atingiram um comportamento ligeiramente melhor do que a argamassa de referência, em frequências mais altas, especialmente acima das bandas centrais de 800 Hz. Os autores constataram também que a redução do ruído de impacto foi ligeiramente maior nas argamassas confeccionadas com os materiais de granulometria maior, com uma diferença máxima de, aproximadamente, 5 dB.

Os autores observaram ainda que as argamassas leves contendo cortiça expandida e poliestireno, mostraram um desempenho melhor, especialmente em bandas de frequências acima de 315 Hz. A argamassa com cortiça teve uma redução do impacto sonoro de quase 25 dB registrada em 3150 Hz.

4.6.2 Níveis de pressão sonora de impacto padronizado ponderado ($L'_{nT,W}$) dos compósitos com CA

Na Figura 46 estão expostos os resultados de nível de pressão sonora padronizado ponderado ($L'_{nT,W}$) e os valores por bandas de um terço de oitava (L'_{nT}) das amostras confeccionadas com CA.

Os resultados revelam que o teor de 25% desse resíduo não proporcionou melhores resultados no nível de ruído de impacto. Pode-se constatar que, nas amostras ensaiadas, os resultados são semelhantes para as mesmas espessuras a partir da banda de frequência de 2500 Hz. As amostras com 50% de CA apresentaram valores menores, com reduções a partir da banda de frequência de 1600 Hz para as espessuras de 3 cm e de 1000 Hz nas amostras com espessuras de 5 cm, quando comparadas a argamassa de referência.

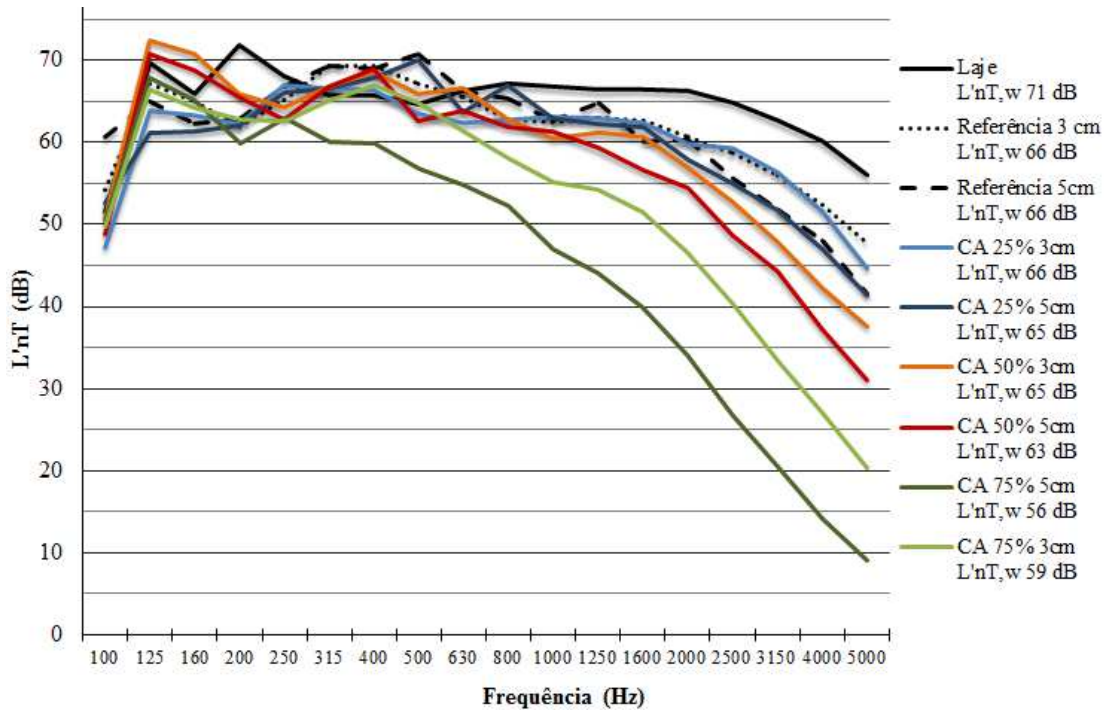


Figura 46: Resultados dos níveis de ruído de impacto das amostras com CA.

Fonte: autora

4.6.3 Redução dos sons de impacto, (ΔL) em dB, estimada a partir da rigidez dinâmica

Segundo Baron, Bonfiglio e Fausti (2004), o valor da rigidez dinâmica da camada permite uma estimativa rápida da redução sonora de impacto (em dB). A partir dos resultados dos ensaios realizados foi possível estimar esta redução sonora para cada uma das amostras, nas condições de um piso flutuante, com sistema massa-mola, conforme sugerido pela BS EN 12354-2:2000. O Quadro 13 expõe a estimativa de redução sonora através de um único valor comparativo de diminuição do ruído de impacto (ΔL) em dB, para cada uma das amostras estudadas, com exceção das amostras de RM, visto que quebraram, não sendo possível o ensaio de ruído de impacto. Esta redução de ruído de impacto (ΔL) em dB, foi calculada através da Equação 4, conforme descrito na metodologia.

Quadro 13: Redução dos sons de impacto, ΔL , das argamassas.

Material	Teor de substituição (%)	Espessura (m)	S' (MN/m ³)	f ₀ (Hz)	ΔL (dB)	LnT,w (dB)
Referência	0	0,035	236	174	14	66
		0,051	130,2	129	18	66
EVA	25	0,034	212,8	165	14	63
		0,052	129,2	129	18	60
	50	0,030	113,1	120	19	61
		0,050	68	93	22	61
	75	0,031	69	94	22	57
		0,051	51,3	81	24	56
CA	25	0,031	112,5	120	19	66
		0,050	105,1	116	19	63
	50	0,034	86,1	105	20	65
		0,053	61,9	89	22	63
	75	0,032	64,7	91	22	59
		0,050	66,1	92	22	56
RM	25	0,034	169,5	147	16	
		0,052	64,1	91	22	
	50	0,033	47,8	78	24	
		0,052	42,3	74	25	
	75	0,034	17,2	47	31	
		0,055	9,6	35	35	

Fonte: autora

Sendo o maior valor de ΔL , correspondente à maior atenuação de sons de percussão, a partir da análise dos resultados apresentados no Quadro 13, é possível indicar que o sistema mais eficiente é o correspondente a 75% de RM. Isto tanto na espessura de 3 como 5 cm, seguido do EVA, e por último, a CA no mesmo teor. Zuchetto *et al.* (2015), destacam que amostras com maiores teores de incorporação de polímero apresentaram menores valores de rigidez dinâmica e grande potencial para atenuar o ruído de impacto quando usado em sistemas de piso flutuante. Uma vez que a rigidez dinâmica de materiais resilientes diminui, a redução de ruído de impacto tende a aumentar, e esta relação varia em função da banda de frequência (KIM *et al.*, 2009). No presente estudo, esta tendência se confirmou, sendo possível concluir que existe uma correlação entre a rigidez dinâmica e o nível de pressão sonora de impacto.

Os resultados indicam ainda que os compósitos de referência e os de EVA 25%, nas espessuras 3 e 5 cm, são os que apresentaram os maiores valores de rigidez dinâmica (S'), seguido do compósito de CA, e por último o de RM nas mesmas espessuras de 3 e 5 cm. Este comportamento está de acordo com os valores de rigidez dinâmica que são inversamente proporcionais à quantidade de resíduos incorporada nas amostras. Segundo estudo de Moreira,

António e Tadeu (2010), este comportamento provavelmente ocorre porque a amostra contém maior quantidade de cimento, e, por isso, é mais rígida. Desta forma, uma melhor eficiência em termos de isolamento aos sons de percussão, foi evidenciada nas amostras com menor quantidade de cimento.

A redução do nível de pressão de impacto sonoro ΔL (dB) do material estudado por D'Alessandro, Asdrubali e Baldinelli (2014), confeccionado com polímero, sendo este um resíduo de fio elétricos, foi medido em conformidade com a norma ISO 10140-3. O resultado para o sistema de piso flutuante encontrado pelos autores foi de ΔL_w 18 dB, que parece subestimada no que diz respeito ao valor calculado com equações experimentais (ΔL_w 25 dB), o qual pode ser considerado mais representativo. Esta diferença, segundo os autores, tem várias causas, entre as quais o tamanho da amostra testada (1 m²) e a alta rigidez dos materiais.

5 CONCLUSÕES

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A busca pelo melhor conforto acústico perfaz um importante critério para garantia de qualidade das edificações. Pode-se considerar neste sentido, que materiais e sistemas construtivos, contribuem para uma escolha mais adequada. É de consenso por diversos autores, que as soluções construtivas hoje em dia utilizadas para este fim, ainda são muito caras e pouco utilizadas nas obras brasileiras. Atualmente, parte dos arquitetos e engenheiros projetistas ainda desconhecem os parâmetros que definem limites e estabelecem níveis de desempenho para as edificações. Quanto ao isolamento ao ruído de impacto, as soluções construtivas para a redução dos efeitos da propagação das vibrações ainda são pouco conhecidas por profissionais da construção civil brasileira.

Esta deficiência está sendo sanada com a consolidação da NBR 15575. A norma proporcionou uma mudança de paradigma na construção civil no Brasil, trazendo orientações na elaboração de projetos, fazendo com que o setor não pense apenas em custo de projeto, mas também no desempenho das construções e dos sistemas construtivos. Este cenário de mudanças incentiva tecnologias inovadoras, buscando, por exemplo, solucionar o problema que o ruído de impacto traz na vida das pessoas e, principalmente, para os moradores de prédios residenciais multifamiliares.

Tendo em vista esta importante característica de qualidade acústica das edificações, esta pesquisa apresenta resultados da análise de materiais inovadores compósitos, produzidos a partir da substituição parcial da areia, por três diferentes resíduos (EVA, CA e RM), sendo analisados comparativamente, buscando investigar a propriedades acústicas de argamassas destinadas para contrapiso. A estratégia para investigação dos compósitos, com propriedades acústicas relativamente desconhecidas, foi realizada por meio de ensaios laboratoriais.

A massa unitária dos resíduos apresentaram-se inferiores a da areia, sendo o RM o de menor massa unitária, seguido do EVA e por último o CA. Este comportamento foi coerente com os ensaios de densidade de massa no estado fresco das argamassas estudadas. Observou-se o mesmo comportamento para os ensaios de densidade aparentes dos compósitos com resíduos, que se apresentaram inferiores, quando comparadas ao compósito de referência. De maneira geral, os CPs que apresentaram menor densidade aparente, demonstraram maior redução dos sons de impacto, (ΔL), como é o caso dos compósitos de RM 50 e 75%.

Analisando-se o comportamento acústico dos compósitos com os diferentes resíduos, observaram-se diferenças de comportamento, uma vez que os compósitos com RM ficaram frágeis e quebraram, não sendo possível ensaiar quanto ao ruído de impacto. No âmbito das propriedades acústicas, os testes laboratoriais mostraram resultados quanto à redução dos sons de impacto, (ΔL) e níveis de pressão sonora de impacto padronizado ponderado ($L'_{nT,W}$). Os compósitos com resíduos apresentaram desempenho superior aos compósitos de referência. Esta análise evidenciou que resíduos podem interferir positivamente no comportamento de absorção acústica das argamassas destinadas à contrapiso.

Nas baixas frequências, bandas entre 100 e 400 Hz, ocorreu uma semelhança de desempenho entre os materiais testados. Os compósitos com EVA demonstraram um melhor desempenho ao isolamento de ruído de impacto, especialmente nas médias e altas frequências, que correspondem aos limites de bandas de terço de oitava entre 400 e 1600 Hz respectivamente. Observou-se que quando maior a porcentagem de resíduo adicionada ao compósito, maior foi a redução do som de impacto.

Os compósitos estudados podem ser uma boa opção para a utilização na construção civil, pois além de contribuir com a sustentabilidade no que se refere à utilização de resíduos descartados pelas indústrias, apresentaram características com potencial de isolamento acústico, superior à argamassa de referência. Considerando que um dos critérios para a realização desta pesquisa foi o processo de aquisição dos resíduos, acredita-se que esse estudo contribuiu para minimizar os impactos ambientais causados pelo seu descarte. Além disso, os resultados demonstraram que os compósitos com adição de resíduos apresentaram valores de redução dos sons de impacto, (ΔL) superior, com redução de 2 dB, em relação ao compósito de referência. Os níveis de pressão sonora de impacto padronizado ponderado ($L'_{nT,W}$), dos compósitos com resíduo, também apresentaram redução em relação ao compósito de referência, ocorrendo deste modo, um aumento da capacidade de absorção acústica desses compósitos.

Ainda que não fosse possível avaliar os compósitos com RM quanto ao ruído de impacto, pode-se concluir que os objetivos deste trabalho foram alcançados, uma vez que os resultados obtidos com os demais resíduos estudados foram satisfatórios na obtenção de compósitos com diferentes resíduos e teores e diferentes espessuras.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Ainda que o programa experimental, realizado durante esta dissertação tenha sido amplo, existem questões pertinentes que, para que sejam sanadas e possam contribuir para um melhor conhecimento do tipo de compósito estudado, necessitam de mais ensaios laboratoriais. Como sugestão para trabalhos futuros recomenda-se:

- Investigar os níveis de pressão sonora ao som de impacto em amostras de maiores dimensões (pelo menos 10 metros quadrados como exigido pela NBR 15575);
- Investigar o desempenho acústico ao ruído de impacto “in situ” dos diversos materiais e teores investigados neste trabalho;
- Investigar o comportamento acústico frente ao ruído de impacto dos materiais estudados inseridos em um sistema de piso flutuante com diferentes revestimentos;
- Investigar outras propriedades, tais como: desempenho térmico, resistência ao fogo, estanqueidade, durabilidade, entre outros recomendados pela NBR 15575 (ABNT, 2013);
- Investigar os três resíduos e os compósitos quanto à microestrutura interna e porosidade;
- Investigar a viabilidade econômica dos compósitos;
- Investigar outras maneiras de viabilizar o uso da serragem como a pré-lavagem deste resíduo;
- Avaliação do Ciclo de Vida dos compósitos deste estudo e seus impactos ambientais do berço ao túmulo, visando à utilização em edifícios “ecológicos”.

Por fim, sugere-se seguir o estudo do desenvolvimento de compósitos cimentícios através de análises de ciclo de vida e durabilidade, além de investigar o comportamento acústico frente ao ruído de impacto dos compósitos com RM que não puderam ser avaliados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, E. J. **Painéis de madeira aglomerado produzidos com serragem e poliestireno expandido**. 2011. 128f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental). UFMT - Universidade Federal do Mato Grosso. Cuiabá-MT. 2011.

ALMEIDA, R. S. **Pirólise rápida da casca de arroz: estudo de parâmetros e caracterização de produtos**. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Porto Alegre, RS, 2010.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **Standard Test Method for Apparent Density of Rigid Cellular Plastic**. ASTM D 1622: 2008.

AMORIM, R, G.P. **Produção de compósitos termo acústicos a base de resíduos reciclados provenientes da construção civil**. Tese (Doutorado) - Universidade de Brasília, 2014.

ANTÓNIO, J; ANTÓNIO, T.; NOSSA, A. **Modelação da rigidez dinâmica de materiais resilientes versus resultados experimentais**. 2008, Coimbra: FIA, 2008.

ARIZMENDI, J, L. **Tratado Fundamental de acústica em la edificación**. Editora Eunsa. Universidad de Navarra. Espanha, 1980.

ARNOLD, D, C. M. **Análise da influência da forma dos grãos nas propriedades das argamassas**, Dissertação (Mestrado)- Programa de Pós-Graduação Engenharia Civil, Universidade do Valle dos Sinos, UNISINOS, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO – **ABIPLAST**. Disponível em: <http://www.abiplast.org.br/>. Acesso em 02 de Fev de 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13276: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos** - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência, Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 13278: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos** - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado, Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 13279: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos** - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão, Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 13281 (ABNT 2005) – **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos** – Requisitos, Rio de Janeiro, 1995.

_____. NBR 15575-3. **Edifícios Habitacionais - Desempenho**. Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos. 2013.

_____. NBR 16313: **Acústica - Terminologia**. Rio de Janeiro, 2014.

_____. NBR 5674: **Manutenção de edificações — Requisitos para o sistema de gestão de manutenção**, Rio de Janeiro, 2012.

_____. NBR 7200 (ABNT 1982) – **Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas** – Procedimento, Rio de Janeiro, 1982.

_____. NBR 7225 (ABNT 1993) – Materiais de pedra e agregados naturais - Classificação e terminologia, **Rio de Janeiro, 1993.**

_____. NBR NM 248: **Agregados – Determinação da distribuição granulométrica**, Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR NM 45: Agregados – **Determinação da massa unitária e do volume de vazios**, Rio de Janeiro, 2006.

_____. NBR NM 46: Agregados – **Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm por lavagem**, Rio de Janeiro, 2009.

_____. NBR NM 52: Agregados – **Determinação da massa específica e massa específica aparente**, Rio de Janeiro, 2009.

_____. NBR TÉCNICAS 15575-1: **Edificações habitacionais - Desempenho Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - **ABRAF**. Anuário estatístico da ABRAF 2014 – 150 p. Brasília, 20 de junho de 2014.

AZAMBUJA, I. H. V; VERNETTI J, F. J; MAGALHÃES J, A. M. **Aspectos socioeconômicos da produção do arroz**. In: GOMES, A. S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. (eds.). A cultura do arroz irrigado no Sul do Brasil. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004, p. 23-44.

BARON, N.; BONFIGLIO, P.; FAUSTI, P. **Dynamic stiffness of materials used for reduction in impact noise: comparison between different measurement techniques**. 2004, Guimarães: FIA, 2004. p. 1–8.

BARROS, M. M. S. B. de. SABBATINI, F. H. **Tecnologia de produção de contrapisos para edifícios habitacionais e comerciais**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 1991.

BASTOS, S. R. B. **Estudo da substituição de agregados miúdos naturais por agregados miúdos britados em concretos de cimento Portland**. Curitiba: Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, 2002. 118p. (Dissertação de Mestrado). 2002.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000. MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M.. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 3. ed. São Paulo: Arte Interativa, 2008.

BERALDO, A. L.; TOJAL, J. H. V. **Utilização de argamassa de cimento e casca de arroz em moradias populares**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA, Foz do Iguaçu, Paraná, 2001.

BERALDO, A. L; ARRUDA, A.C.; STANCATO, A.C. **Compósito à base de resíduos vegetais e cimento Portland**. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 8., 2002, Uberlândia. Anais... Uberlândia: FECIV-UFU, 2002. 1 CD-ROM

BERENDT, R. D; WINZER, G. E; BURROUGHS, C. B. **Airborne Impact and Structural Borne Noise Control in Multifamily Dwellings**. Washington, D.C.: U.S. Department of Housing and Urban Development (HUD), 1967.

BEZERRA, A. J. V. **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**. Dissertação de Mestrado, UFPB/CCT, 2002.

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

BORGES, R.M. **Análise de desempenho térmico e acústico de unidades habitacionais contruídas no conjunto habitacional Bejjamin Josá Cardoso em Viçosa-MG**. Dissertação (mestrado), Universidade federal de Viçosa, programa de pós-graduação em Engenharia Civil, Minas Gerais, 2013.

BRANCO, F.G; GODINHO, L. **On the use of lightweight mortars for the minimization of impact sound transmission**. Construction and Building Materials, 2013.

BRASKEM S. A. **EVA - Copolímero de Etileno-Acetato de Vinila**. Portal da empresa. Disponível em:

<http://www.braskem.com.br/site/portal_braskem/pt/produtos_e_servicos/boletins/pdf_catalogos/EVA.pdf>. Acesso em 12 jan. 2015.

BRITO, E. O; SAMPAIO, L. C.; OLIVEIRA, J. N.; BATISTA, D. C. **Chapas de madeira aglomerada utilizando partículas oriundas de madeira maciça e de maravalhas**. Scientia Forestalis, Piracicaba, n. 72, p. 17-21, dezembro 2006.

BRÜEL & KJAER. **Measuring Sound**. Denmark: K Larsen & Son, 1984.

BS EN 12354-2:2000 Building acoustics – Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements – Part 2: Impact sound insulation between rooms, European

CALHEIRO, D. **Influência do uso de aditivos na moagem de cinzas de casca de arroz para sua adequação como coproduto**. São Leopoldo, 2011. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos –UNISINOS. São Leopoldo, RS, 2011.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONTRUÇÃO (CBIC) **Desempenho de Edificações Habitacionais** – Guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575:2013. Brasília, 2014.

CAMPOS, F. S. C.; MAZINI, G. B.; SILVA NETO, G. A. **Análise das propriedades físicas e mecânicas de concreto produzido com resíduo sólido de cerâmica vermelha**. Colloquium Exactarum, v. 4, n.2, Jul-Ago. 2012, p. 01 – 11.

CARASEK, H. **Aderência de argamassas à base de cimento Portland a substratos porosos: Avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação**. 1996. Tese (Doutorado em Engenharia/Construção Civil) – Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

CARVALHO, R. P. **Acústica Arquitetônica**. Brasília. Thesaurus, 2010.

CARVALHO, O. P. A.; RICHA, M. V. V.; CARVALHO, X. C. J. F. **Pavimento flutuante com aglomerado de cortiça de desempenho acústico otimizado**. VIII Congresso ibero americano de acústica- Évora Portugal, 2012.

CASTRO, T. M. de. **Solidificação/estabilização de lodo gerado no tratamento de efluente de lavanderia industrial têxtil em blocos cerâmicos acústicos e seu desempenho em câmara reverberante**. 2010. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.

CECCONELLO, V. **Avaliação de concretos produzidos com agregados graúdos reciclados de concreto e cinza de casca de arroz, com ênfase na retração**. São Leopoldo, 2013, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Unisinos, São Leopoldo. 2013.

CHANG, C.L. **Improving the mechanical performance of wood fiber reinforced bio-based polyurethane foam**. Tese (Doutorado em Engenharia química e Ciências aplicadas). Universidade de Toronto 2014.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CARASEK, H. **Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995, 118 p.(Boletim 68 IPT)

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**. Preparando pessoas para transformação organizacional. Página institucional. 2015. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>>. Acesso em: 18 Jan. 2015.

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.

CORRÊA, G. S.; QUEVEDO, S. P. **Estudo das propriedades mecânicas de compósito polimérico com resina poliéster insaturada e casca de arroz**. In: Foro Científico Estudantil do Instituto Superior Tupy. 7., 2013. Joinville. Reusmos...: Instituto Superior Tupy, 2013. p. 3.

D’ALESSANDRO, F.; ASDRUBALI, F.; BALDINELLI, G. **Multi-parametric characterization of a sustainable lightweight concrete containing polymers derived from electric wires**. Construction and Building Materials, v. 68, p. 277–284, out. 2014.

DEL REY, R.; ALBA, J.; RAMIS, J.; SANCHÍS, V., J. **Nuevos materiales absorbentes acústicos obtenidos a partir de restos de botellas de plástico**. Materiales de Construcción. Espanha, 2011.

DIKAVIČIUS V, MIŠKINIS K. **Change of dynamic stiffness of open and closed cell resilient materials after compressibility test**. Materials Science, 2009.

DNPM, Departamento Nacional de Produção Mineral. **Economia Mineral: Sumário Mineral 2012**. Vol 32. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/>. Acesso em: 02 de outubro 2014.

ERHART, R; SCHAFFER, M; SOUZA, R; KRAS BORGES, J; MANCIO, M; KULAKOWSKI, M. **Influência da cinza de casca de arroz na resistência e na absorção de água de concretos produzidos com agregados graúdos reciclados de concreto.** Anais do 56º IBRACON – Congresso Brasileiro de Concreto. Natal/RN. Outubro, 2014.

FAGUNDES, H. A. V. **Produção de madeira serrada e geração de resíduos do processamento da madeira de florestas plantadas no Rio Grande do Sul.** 2003. 173f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). UFRS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre – RS. 2003.

FARESIN, A. E; MELO, E. F. R. Q. **Diagnóstico dos resíduos da construção civil do município de Erechim, RS.** In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2009, Recife. Anais. Recife, 2009.

FEDUMENTI, M. B. **Avaliação da influência da cinza de casca de arroz no comportamento de concretos com agregado reciclado de concreto em relação a propriedades mecânicas e de durabilidade, com ênfase no transporte de íons cloreto.** 2013. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2013.

FERREIRA, R. C; GOBO, J. C. C; CUNHA, A. H. N. **Incorporação de casca de arroz e de braquiaria e seus efeitos nas propriedades físicas e mecânicas de tijolos de solo-cimento.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 28, no 1, p. 1-11, jan./mar. 2008.

FLACH, F. **Investigação do potencial de absorção acústica de compósitos de argamassa com materiais reciclados.** 2012. 158 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, 2012.

FOULADI, H. M; NOR, M. J. M; AYUB, M; LEMAN, A. Z. A. **Utilization of coir fiber in multilayer acoustic absorption panel.** Applied Acoustics, 2010.

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, nº 10, p 1194-1201. Madrid, 2012.

GALBRUN, L. **Vibration Transmission through Plate/beam Structures Typical of Lightweight Buildings:** Applicability and limitations of fundamental theories. Applied Acoustics, v. 77, pp. 587-596, 2010.

GARLET, G. **Aproveitamento de resíduos de E.V.A. (Ethylene Vinyl Acetate) como agregado para concreto leve na construção civil.** Porto Alegre, 1998. 146p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

GARLET, G; GREVEN, H. A. **Aproveitamento de resíduos de E.V.A. da indústria calçadista na construção civil.** Anais do Workshop sobre Reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção civil. ANTAC - PCC /USP, São Paulo, 1996.

GARLIPP, R. **Gestão Sustentável para os Grandes Consumidores de Produtos de Origem Florestal.** IV Congresso Internacional de Desenvolvimento Econômico Sustentável da Indústria de Base Florestal e de Geração de Energia. Porto Alegre/RS. 2008.

- GERGES, S. N. Y. **Ruído: fundamentos e controle**. 2. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2000.
- GOMES, P. F. **Crescimento roda economia e demanda de recursos florestais no Brasil**. Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.
- GONÇALVES, M. S. **Análise da viabilidade técnica de utilização de resíduos de concreto oriundos da pré-fabricação como agregado graúdo para a produção de novos concretos**. Dissertação. São Leopoldo, 2011.
- GONZÁLEZ, S. M. A. *et al.* **Acoustic Absorption of Mortar Composites with Waste Material**. *Archives of Acoustics*, v. 38, n. 3, p. 417–423, 1 jan. 2013.
- GRISA, A. M. C. *et al.* **Evaluation of Physical Properties and Acoustic Performance the Agglomerates of Wood Pellets Polyurethane Residue**. *Modern Environmental Science and Engineering*, v. 1, n. 2, p. 99–103, 2015.
- GRUNOW, E. **Acústica questão ambiental**. Akkerman projetos acústicos. Editora C4, 2008.
- GUIMARÃES, L. E.; TUBINO, R. M. C. **Ambientação térmica de casas de madeira utilizando paredes externas duplas recheadas com argamassa contendo casca de arroz, resíduos de borracha (pneu) e garrafa pet triturada**. In: Congresso de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável – ICTR 2004. Anais. 2004.
- GUO, G.; LEE, Y. H.; RIZVI, G. M.; PARK, C. B. Influence of Wood Fiber Size on Extrusion Foaming of Wood Fiber/HDPE Composites, *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 107, p. 3505-3511, 2008.
- HASSAN, O. A. B. **Building Acoustics and Vibration: theory and practice**. London: World Scientific Publishing Company, 2009
- HAX, S. P. **Estudo do potencial dos resíduos de E.V.A. no isolamento de ruído de impacto nas edificações**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2002.
- HEINECK, S. **Desempenho de argamassas de revestimento com incorporação da fração miúda da britagem de concreto**. 132 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, São Leopoldo, 2012.
- HERRERO, S.; MAYOR, P.; OLIVARES, F. H. **Influence of proportion and particle size gradation of rubber from end-of-life tires on mechanical, thermal and acoustic properties of plaster–rubber mortars**. *Materials and Design*, 2013.
- HILL, M. G. **Architectural Acoustics design guide**. New York, 2000.
- HOPKINS, C. **Sound Insulation**. Burlington: Elsevier Ltd., 2012.
- HOPKINS, C.; HALL, R. **Impact sound insulation using timber platform floating floors on a concrete floor base**. *Building Acoustics*, v. 13, n. 4, p. 273–284, 2006.
- IDHEA- Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica. **Materiais ecológicos e tecnologias sustentáveis: teoria e prática das construções sustentáveis**, 2008.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ARVORES *institute* - IBA Disponível em <http://www.iba.org/web/pt/dados-fatos/>. Acesso em 15 de Janeiro 2014.

INTERNATIONAL STANDART. ISO 10140-3:2010 Acoustics – **Laboratory measurement of sound insulation of building elements** – Part 3: Measurement of impact sound insulation.

INTERNATIONAL STANDART. ISO 10140-2:2010 - “**Laboratory measurement of sound insulation of building elements**-Part 3: Measurement of impact sound insulation" e para análise dos resultados, 2010.

INTERNATIONAL STANDART. ISO 10140-4:2010. **Acoustis - Measurement of sound insulation in buildings elements** - Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms. 1998.

INTERNATIONAL STANDART. ISO 10140-7:2010. **Acoustics - Measurement of sound insulation in building elements** - Part 7 Field measurements of impact sound insulation of floors. 1998 a.

INTERNATIONAL STANDART. ISO 20392. **Thermal-insulating materials - Determination of compressive. Creep**, 2007.

INTERNATIONAL STANDART. ISO 354- Acoustics: **Measurement of sound absorption in a reverberation room. Genève, Switzerland.**

INTERNATIONAL STANDART. ISO 717-2: **Acoustics: rating of sound insulation in buildings and of building elements**. Part II: Impact sound insulation. Genève, Switzerland, 2004.

INTERNATIONAL STANDART. ISO 9052-1 - **Acoustics. Determination of dynamic stiffness**. Part 1: Materials used under floating floors in dwellings. 1989.

ISAIA, G. C. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo, IBRACON, v. 1, p.311-346, 2011.

JOHN, V. M. (2000). **Reciclagem de resíduos para metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. São Paulo: Escola Politécnica da USP/ Departamento de Engenharia de Construção Civil (Tese de livre Docência)

KANNING, R. C. **Utilização da cinza de folha de bananeira como adição em argamassas de cimento Portland**. Tese (Doutorado)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais – PIPE. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

KIELING, A. **Influência da segregação no desempenho de cinzas de casca de arroz com pozolanas e material adsorvente**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Unisinos, São Leopoldo, 2009.

KIM, K.; JEONG, G.; YANG, K.; SOHN, J. **Correlation between dynamic stiffness of resilient materials and heavyweight impact sound reduction level**. Building and Environment, Vol. 44, 2009 pp. 1589-1600.

KIM. A. K; SHIM.A.M; CHA.B.A.S. **Combined effects of recycled aggregate and fly ash towards concrete Sustainability**. Construction and Building Materials 48, 2013.

KIM, K; JEONG, G; YANG, K; SOHN, J. **Correlation between dynamic stiffness of resilient materials and heavyweight impact sound reduction level.** Building and Environment, Vol. 44, 2009 pp. 1589- 1600.

KIMURA, S.; INOUE, K. **Practical Calculation of Floor Impact Sound by Impedance Method.** Applied Acoustics, v. 26, pp. 263-292, 1989.

KLINK, J; DENALDI, R. **On financialization and state spatial fixes in Brazil. A geographical and historical interpretation of the housing program My House My Life,** habitat international, 2014.

KUHN, E. A. **Avaliação da sustentabilidade ambiental do protótipo de habitação de interesse social Alvorada.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola de engenharia, Universidade federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

LATORRACA, J. V. F. **Eucalyptus sp. na produção de painéis de cimento madeira.** Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

LEE, Y. J; LEE, C. S; CHOI, H. S; LIM, R. A; PARK, S. J; KIM, M. J. **Structural Behavior of Resilient Materials Subjected to Short-Term Load and Long-Term Load.** IACSIT International Journal of Engineering and Technology, 2014.

LICHTENSTEIN, N. B. **Patologia das construções: procedimento para formulação do diagnóstico de falhas e definição de conduta adequada à recuperação de edificações.** São Paulo, 1986. 191 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

LIM, J. S, MANAN, Z. A, ALWI, S, R.W, HASHIM. H. **A review on utilisation of biomass from rice industry as a source of renewable energy.** Renewable and Sustainable Energy Reviews. v. 16, p. 3084-3094. 2012.

LIMA FILHO, M. R. F. **A reciclagem de resíduos da indústria de calçados (EVA) na execução de painéis de vedação na construção civil: avaliação de desempenho.** 2008. 146f. Tese (Mestrado em Engenharia Urbana), 2008.

LOSSO, M; VIVEIROS, E. **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.

LOYOLA, G. S. **Estudo comparativo para padronização de edificações industriais sustentáveis através da certificação LEED.** Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Produção da FAE Centro Universitário. Curitiba: 104 p.; 2011.

LSPA, **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola.** Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa>. Acesso em: 6 de jan de 2015

MACIEL, L. L.; BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, F. H. **Recomendações para Execução de Revestimentos de Argamassa para paredes de vedação internas e externa e tetos.** São Paulo, 1998.

- MADERUELO-SANZ, R; MARTÍN-CASTIZO, M; VÍLCHEZ-GÓMEZ, R. **The Performance of Resilient Layers. Made from Recycled Rubber Fluff Impact Noise Reduction.** Applied Acoustics, v. 71, pp. 823-828, 2011.
- MAFRA, M. P. A.; SOEIRO, N.S.; ALVES, E.C.; SILVA, J.A.B. **Determinação e análise comparativa dos coeficientes de absorção de painéis confeccionados a partir da fibra de coco e um painel de uso comercial.** In: XII Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica, Ilha Solteira, SP. Anais. Ilha Solteira, SP: UNESP, 2005.
- MARQUES, F. M. **A importância da seleção dos materiais de construção para a sustentabilidade ambiental do edifício.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. 148 p., 2007.
- MARTINELLI, F. A.; HELENE, P, R. L. **Usos, Funções e Propriedades das Argamassas Mistas Destinadas ao Assentamento e Revestimento de Alvenarias.** São Paulo, 1991.
- MATEUS, R; BRAGANÇA, L. **Sustainability Assessment and Rating of Buildings: developing the methodology.** SBTToolPT–H. Building and Environment, v. 46, n. 10, p. 1962-1971, 2011.
- MAYER, B, D. F; CASTELLANELLI. C; HOFFMANN. R. **Geração de energia através da casca de arroz: uma análise ambiental.** XXVII Encontro Nacional de Engenharia de produção, Foz do Iguaçu, 2007.
- MELO. F, J, F. **Caracterização de argamassa modificada por partícula vegetal para nivelamento de contrapiso.** Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Maio 2007.
- MELO. R. R; SANTINI, J.E; HASELEIN. R.C. **Propriedade físico mecânicas de painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de madeira e casca de arroz.** Ciência Florestal, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 449-460, out.-dez, 2009.
- MELO. R.R; SANTINI, J.E; HASELEIN. R, C; GARLET. A; PAES. B. J; STANGERLIN. M. D. **Resistencia de painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de madeira e casca de arroz a fungos e cupins xilófagos.** Ciência Florestal, Santa Maria, v. 20, n. 3, p. 501-511 jul.-set, 2010.
- MENKES, M. **Eficiência energética, políticas públicas e sustentabilidade.** Universidade de Brasília. Centro de Desenvolvimento Sustentável (CDS). Tese de Doutorado. 295 p., 2004.
- METHA, P. K. MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: Ed. Ibracon, 2008.
- MILANI, A. P. S. **Avaliação física, mecânica e térmica do material solo-cimento-cinza de casca de arroz e seu desempenho como parede monolítica.** Dissertação (Mestrado de Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, São Paulo, 2008.
- MIRANDA, M, C, C. L. **Estudo comparativo entre argamassa de revestimento à base de cimento com adição da cal hidráulica e da cal hidratada.** Dissertação para obtenção de grau de Mestre em Engenharia Civil, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Portugal, 2009.

MIRANDA, S. S. **A influência da NBR 15575 na prática da arquitetura na cidade de Pelotas, RS. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo).** Universidade de Federal de Pelotas (2014).

MOREIRA, A.; ANTÓNIO, J.; TADEU, A. **Isolamento sonoro a sons de percussão de pavimentos de betão e betonilhas com agregados de cortiça expandida: resultados experimentais vs. modelo analítico.** 2012, Évora: Sociedade Portuguesa de Acústica, 2012. p. 1–11.

MOREIRA, A; ANTÓNIO, J; TADEU, A. **Impact sound reduction of concrete layers containig cork granules.** Internoise 2010 - noise and sustainability, Lisbon, Portugal, 13-16 June 2010.

MORGADO, L; PEDRO, J. B; CRUZ, H; PONTÍFICE, P. **Projeto e construção de casas de madeira em Portugal.** In: Jornadas. Cidades e Desenvolvimento. Engenharia para a sociedade: investigação e inovação. Anais... LNEC. Lisboa: junho 2012.

MOSMANN, A. S. **Madeira utilizada em formas de estruturas de concreto: Proposta para a racionalização do uso e gestão dos resíduos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Unisinos, São Leopoldo, 2010.

MOURA, A. S. **Estudo comparativo das propriedades mecânicas e térmicas entre compósitos de phb (polihidroxibutirato) reforçados com casca de arroz ou fibra de coco.** Dissertação (Mestrado em integridade de materiais da engenharia). Universidade de Brasília, 2014.

NATURE. Disponível em: <http://www.nature.com/nature/index.html>. Acesso em 5 de Jan, 2015.

NEGRÃO, H.W; SILVA, M. A. S; CHRISTOFORO. A. L; ROCCO LAHR, R. A. F **Painéis aglomerados fabricados com mistura de partículas de madeiras tropicais.** Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2014.

NEVES, A, ANTÓNIO, J; NOSSA, A. **Resultados experimentais da rigidez dinâmica de materiais usados sob pavimentos flutuantes.** Acustica 2008, Coimbra, Portugal 18-22 Outubro, 2008.

NUNES, M. F. O; ZINI. A; PAGNUSSAT, T. D. **Desempenho acústico de sistemas de piso: Estudo de caso para isolamento de ruído aéreo e de impacto.** Laboratório de Tecnologia Construtiva, Universidade de Caxias do Sul. XXV SOBRAC- Campinas – SP, 2014.

NUNES, M. F. O.; ZINI, A.; PAGNUSSAT, D. T. **Desempenho Acústico de Sistemas de Piso : Estudos de Caso Para Isolamento ao Ruído Aéreo e de Impacto.** Acústica e Vibrações, v. 46, p. 13–19, 2014.

OLIVEIRA, M. C. R. **Compósito de poliuretano de mamona e resíduo industrial para isolamento térmica e absorção sonora.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Unisinos, São Leopoldo, 2010.

PACHECO-TORGAL, F; DING, Yining; JALALI, S. **Properties and durability of concrete containing polymeric wastes (tyre rubber and polyethylene terephthalate bottles): An overview.** Construction and Building Materials, v. 30, p. 714-724, 2012.

PANDEY, S; BYERLEE, D; DAWE, D; DOBERMANN, A; MOHANTY, S; ROZELLE, S; HARDY, B. **Rice in the global economy: strategic research and policy issues for food security**. International Rice Research Institute – 477 p. 2010.

PATRÍCIO, J. V. **Acústica nos edifícios**. 6. ed. Lisboa: Verlag Dashöfer, 2010a.

PATRÍCIO, J. V. **Case Study: Laboratory and Field Measurements for Evaluating the Weighted Reduction in Impact Noise Associated with Floor Coverings**. Building Acoustics, v. 9, n. 2, p. 151–162, 1 jun. 2002.

PATRÍCIO, J. V. **Isolamento sonoro a sons aéreos e de percussão: metodologias de caracterização**. 6. ed. Lisboa: LNEC, 2010b.

PAULESKI, D. T. **Características de compósitos manufacturados com polietileno de alta densidade (PEAD) e diferentes proporções de casca de arroz e partículas de madeira**. 2005. 100 f. Dissertação (mestrado em engenharia florestal) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

PAULESKI, T. D; HASELEIN, R.C; SANTIN, J; RIZZATTI, E. **Características de compósitos laminados manufacturados com polietileno de alta densidade (pead) e diferentes proporções de casca de arroz e partículas de madeira**. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 17, n. 2, p. 157-170, abr-jun, 2007.

PAIXÃO, D. X. **Caracterização do isolamento acústico de uma parede de alvenaria, utilizando análise estatística de energia (SEA)**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

PAZ, G. S.; SANTOS, J. L. P. **Uso da casca de arroz e pó de pneu no isolamento do ruído de impacto**, In: XX ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 10, 2002, Rio de Janeiro. Anais: II Simpósio Brasileiro de Metrologia em Acústica e Vibrações. Rio de Janeiro: [s.n], 2002, p. 1-6.

PEREIRA, I.G. **Cinza de casca de arroz – uma adição sustentável**. Dissertação (Mestrado). Especialização em materiais e processos de construção, Universidade do Porto, Portugal, 2008.

PILEGGI, R. G.; STUDART, A. R.; PANDOLFELLI, V. C. **How Mixing Affects the Rheology of Refractory Castables**. PART 1, PART 2. American Ceramic Society Bulletin, v. 80, n. 6, p. 27-42, 2001.

POLARI FILHO, R. S. **Contribuição ao processo de reciclagem dos resíduos da indústria de calçados na construção civil: bloco EVA - uma alternativa às alvenarias das construções**. Dissertação (Mestrado) -Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa – Paraíba, 2005.

PRESTES, D.M.S. **Reaproveitamento de resíduos de Eva reticulado através de reciclagem química**. , Universidade Estadual Paulista. Sorocaba, 2013.

RAMEZANI, H.; SHAHDAB, S.; NOURI, A. **Study on effects of wood fiber content on physical, mechanical, and acoustical properties of wood-fiber-filled gypsum composites**. Materials Research, v. 15, n. 2, p. 236–241, abr. 2012.

RASMUSSEN, B. **Sound classification schemes in Europe - Quality classes intended for renovated housing.** 2010, Malta: [s.n.], 2010. p. 1–8.

REZENDE, J. B.; RODRIGUES, C. F.; VECCI, A. **Uma análise de critérios de desempenho acústico para sistemas de piso em edificações.** XI SIMMEC/EMMCOMP, 2014.

RICO, J. M. G.; RESTREPO-M, A.; GONZÁLEZ, C. A. Evaluación del desempeño acústico de paneles de raquis de plátano y banano. In: **V Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis**, 2009, Recife (ELECS 2009). Anais. Recife: ANTAC, 2009.

RIOS, F. R. A. **Incorporação de resíduos de calçados (sbr) na produção de compósitos leves.** Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2008.

RIZZO, M. *et al.* **Reação ao fogo, isolamento térmico e desempenho acústico de aglomerados de poliuretano rígido com adição de fibras naturais.** Scientia cum Industria, v. 3, n. 1, p. 17–22, 2015.

ROCHA, F. M. D. **Aproveitamento de resíduos sólidos industriais em materiais alternativos na perspectiva da construção seca: bloco eva - intertravamento e racionalização das alvenarias.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa – Paraíba. 2008.

RODRÍGUEZ, A, M. P. **Characterization of materials formed by rice husk for construction.** International Meeting for Researchers in Materials and Plasma Technology IOP Publishing. Journal of Physics: Conference Series 466 (2013) 012038 doi:10.1088/1742-6596/466/1/012038.

ROLIM, A. **A reciclagem de resíduos plásticos pós-consumo em oito empresas no Rio Grande do Sul.** Programa de Pós-Graduação em Administração (PPGA) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 2000.

ROSA, S. M. L.; REHMAN, N.; DE MIRANDA, M. I.G; NACHTIGALL, S. M. B; BICA, C. I. D; 2012. **Chlorine-free extraction off cellulose from rice husk abd whisker isolation.** Carbohydrate Polymers 87,1131-1138.

ROSSI, L. A.; CARDOSO, P. E. R.; BERALDO, A. L. **Avaliação térmica de placas de argamassa de cimento e casca de arroz aquecidas por resistência elétrica.** Eng. Agríc., Jaboticabal, v.25, n.1, p.37-45, jan./abr. 2005.

ROSSIGNOLO, J. A.; AGNESINI, M. V. C. **Concreto Leve Estrutural – Concreto: Ciência e Tecnologia.** Capítulo 42. IBRACON 2011.

RUSHFORTH, I.M.; HOROSHENKOV, M; MIRAFTAB, M; SWIFT, M.J. **Impact sound insulation and viscoelastic properties of underlay manufactured from recycled carpet waste.** Applied Acoustics. Vol 66, p 731-749, 2005.

SÁ, A. C. **Potencial da madeira de cedro australiano (toona ciliata m. roem var. australis) na manufatura de produtos de maior valor agregado.** Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2009.

SAIDELLES, A. P. F, SENNA, A, J. T, KIRCHNER. R, BITENCOURT.G. **Gestão de resíduos sólidos na indústria de beneficiamento de arroz. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental.** v. 5, n. 5, p. 904-916. Santa Maria, 2012.

SANTOS, A. F. **Avaliação de placas cimentícias com resíduo de EVA quanto ao seu nível de isolamento acústico em sistemas de pisos flutuantes.** Dissertação (mestrado) Universidade Federal da Paraíba. Programa de pós-graduação em arquitetura e urbanismo. João Pessoa, 2013.

SARTORI, B. R. C. **Estudo da carbonatação em concretos com agregado graúdo reciclado de concreto e cinza de casca de arroz.** 2013. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, São Leopoldo, RS, 2013.

SCHIAVI, A.; BELLI, A. P.; RUSSO, F. **Estimation of acoustical performance of floating floors from dynamic stiffness of resilient layers.** Building Acoustics, v. 12, n. 2, p. 99–114, 2005.

SERRANO, C. L. S. **Mapeamento dos Resíduos Poliméricos Produzido pela Indústria Calçadista na Região do Vale do Rio dos Sinos.** Anais do 6º Congresso Brasileiro de Polímeros, Gramado, p.1796-1799 (2001).

SILVA, P. **Acústica arquitetônica e condicionamento de ar.** 5 ed. Belo Horizonte: EDTAL - Empresa Termo Acústica Ltda, 2005.

SIMÕES, F. M. **Acústica arquitetônica.** Rio de Janeiro: PROCEL Edifica, 2011.

SNIC – SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. **Relatório anual.** Rio de Janeiro: SNIC, 2012. 55p. Disponível em: < http://www.snic.org.br/pdf/snic-relatorio2012-12_web.pdf>. Acesso em: 04 Maio 2014.

SOUZA, N. C. A. **Análise de desempenho do contrapiso autonivelante em relação ao sistema convencional.** Dissertação (Mestrado). Programa de Pós- Graduação em construção civil. Universidade Federal de Minas gerais. Belo Horizonte, 2013.

SOUZA, T. F. **Avaliação da resistência de compósitos de argamassas leves de EVA reforçadas com fibras de piaçava.** Dissertação (Mestrado). Ciência, Inovação e Modelagem em materiais, Universidade Estadual de Santa Cruz, 2012.

STANCATO, A. C. **Caracterização de compósitos à base de resíduos vegetais e argamassa de cimento modificada pela adição de polímeros para a fabricação de blocos vazados.** Tese (Doutorado). Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2006.

SUGUIO, K. **Introdução à Sedimentologia.** São Paulo: Edgard Blücher, 1973.

TONET, K. G; GORNINSKI, J. P. **Polymer concrete with recycled PET: The influence of the addition of industrial waste on flammability.** Original Research Article Construction and Building Materials, V.40, p. 378-389, 2013.

TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; PRATA, J.G. **Propriedades físicas e mecânicas de painéis de madeira aglomerada compostos com diferentes percentuais de casca.** *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 23, n. 4, p. 761-769, dez, 2013.

TRISTÃO, F. A. **Influência dos parâmetros texturais das areias nas propriedades das argamassas mistas de revestimento.** 2005. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

TUTIKIAN, B. F. *et al.* **Hormigón ligero con agregado reciclado de EVA para atenuación del ruido de impacto.** *Materiales de Construcción*, v. 63, n. 310, p. 309–316, 31 jul. 2013.

TUTIKIAN, B. N.; NUNES, M. F.; LEAL L. C.; MARQUETTO, L. **Lightweight concrete with EVA recycled aggregate for impact noise attenuation.** *Materiales de Construcción*, 2013.

UNI (Italian Standardization Organization) Standard 10667-14, **Recycled plastic materials – mixtures of polymeric materials and of others materials based on cellulose to be used as aggregate into mortar of cement – Requirements and test methods;** 2003.

VALLE, C. E.; SIMÕES, M. A. **Caixa sonora: Sons aéreos, ruídos de percussão e barulho de instalações preocupam as construtoras sendo crescente a onda de reclamações.** Disponível em <http://www.proacustic.com.br/techne.htm>, Junho de 2010, Acesso em: 12 de Outubro. 2014.

WAILES, E.J.; CHAVEZ, E. C. **World Rice Outlook – International Rice Baseline with Deterministic and Stochastic Projections.** 2012.

WANG, J. Y.; TOURAN, A.; CHRISTOFOROU, C.; FADLALLA, H. **A systems analysis tool for construction and demolition wastes management.** *Waste Management*, v.24, p. 989–997, 2004.

WARNOCK, A. C. C. **Controlling the transmission of impact sound through floors.** *Construction Technology Update* N°35. Ottawa, 1999.

WERLE, A. P. **Determinação de propriedades de concretos com agregados reciclados de concreto, com ênfase na carbonatação.** Dissertação (Mestrado) São Leopoldo, 2010.

WIECHETECK, M. **Aproveitamento de resíduos e subprodutos florestais, alternativas tecnológicas e propostas de políticas ao uso de resíduos florestais para fins energéticos.** Projeto PNUD BRA 00/20 - Apoio às Políticas Públicas na Área de Gestão e Controle Ambiental. CURITIBA-PR: Ministério do Meio Ambiente (MMA). Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. 2009, 40 p.

ZATTERA, A. J.; BIANCHI, O.; ZENI, M.; FERREIRA, C.A. **Caracterização de resíduos de Copolímeros de Etileno-Acetato de Vinila – EVA.** *Revista Polímeros: Ciência e Tecnologia*.v. 15, p. 73-78, 2005.

ZHAO, J. *et al.* **Sound insulation property of wood–waste tire rubber composite.** *Composites Science and Technology*, v. 70, n. 14, p. 2033–2038, nov. 2010. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0266353810001284>>. Acesso em: 14 nov. 2012.

ZORDAN, S. E. **A utilização do entulho como agregado na confecção de concreto.** Dissertação (Mestrado de Engenharia Civil), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 1997.

ZUBAIDI, R. AL; BARAKAT, S.; ALTOUBAT, S. **Effects of adding brass byproduct on the basic properties of concrete.** *Construction and Building Materials*, v. 38, p. 236–241, jan. 2013.

ZUCCO, L. L.; BERALDO, A. L. Influência da casca de arroz e de sua cinza sobre a hidratação da pasta de cimento de alta resistência inicial (CP-V-ARI). In: IAC NOCMAT 2005: Conferência interamericana sobre materiais e tecnologias não convencionais na construção ecológica e sustentável, 2005, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ABMTENC, 2005.

ZUCHETTO, L. K. *et al.* **Estudo de contrapisos leves a base de EVA (etileno acetato de vinila) para desempenho acústico e reduzidas cargas permanentes.** 2015, Lisboa: Alconpat, 2015.

ZUCHETTO, L. K.; NUNES, M. F. DE O.; TUTIKIAN, B. F. **Dynamic Stiffness evaluation of floor covering system made out of recycled EVA – Ethylene Vinyl Acetate.** 2015, San Francisco: Acoustical Society of America, 2015.

**APÊNDICE A: QUANTIDADE DE MATERIAIS UTILIZADOS PARA CONFECÇÃO
DOS CORPOS DE PROVA**

TRAÇO EM MASSA					
Traço 1:4	Teor de resíduo (%)	Cimento (kg)	Areia (kg)	Resíduo (kg)	Massa Total por traço (kg)
Referência	0	10,43	134,76	0,00	145,19
EVA	25	10,43	101,07	3,51	115,01
	50	10,43	67,38	7,02	84,83
	75	10,43	33,69	10,53	54,65
CA	25	10,43	101,07	3,97	115,47
	50	10,43	67,38	7,94	85,75
	75	10,43	33,69	11,91	56,03
RM	25	10,43	101,07	2,97	114,47
	50	10,43	67,38	5,94	83,75
	75	10,43	33,69	8,91	53,03
Total de materiais		104,30	741,16	62,71	908,16

APÊNDICE B: GRANULOMETRIA DA AREIA E DOS RESÍDUOS

Areia Peneira (#) (mm)	Massa retida (g)			Massa (%)			
	Amostra 01	Amostra 02	Amostra 03	Média	Retida	Acumulada	
4,76	0	0	0	0		0	
2,38	1,2	1,6	1,4	1,40	0%	0%	
1,19	15,8	16,9	16,3	16,33	3%	4%	
0,59	42,4	55,1	53,8	50,43	10%	14%	
0,297	115,9	120,7	118,6	118,40	24%	37%	
0,15	272,8	259,8	263,2	265,27	53%	90%	
Fundo <0,053mm	51,8	45,8	46,7	48,10	10%	100%	
Soma (total)	499,9	499,9	500	499,93			
Módulo de finura =	\sum acumulada na série normal/100						1,45
Diâmetro Máximo =	# \leq 5% em peso						1,19

EVA Peneira (#) (mm)	Massa retida (g)				Massa (%)		
	Amostra 01	Amostra 02	Amostra 03	Amostra 04	Média	Retida	Acumulada
4,76	0	0	0	0	0		
2,38	16,7	16,9	16,8	16,8	16,80	17%	17%
1,19	78,9	78,3	78,3	78,6	78,53	79%	95%
0,59	4,4	4,8	4,6	4,6	4,60	5%	100%
0,297	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0%	100%
0,15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0%	100%
Fundo <0,053mm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0%	100%
Soma (total)	100	100	99,7	100			
Módulo de finura	\sum acumulada na série normal/100						4,2
Diâmetro Máximo =	# \leq 5% em peso						0,6

CA Peneira (#) (mm)	Massa retida (g)				Massa (%)		
	Amostra 01	Amostra 02	Amostra 03	Amostra 04	Média	Retida	Acumulada
4,76	0	0	0	0	0	0%	0%
2,38	46,4	47,9	47,2	47,2	47,18	47%	48%
1,19	31,7	29,6	30,65	30,65	30,65	31%	77%
0,59	15,2	14,9	15,05	15,05	15,05	15%	93%
0,297	4,5	5,5	5,0	5,0	5,00	5%	97%
0,15	2,2	2,1	2,15	2,15	2,15	2%	100%
Fundo <0,053mm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0%	100%
Soma (total)	100	100	100,05	100,05			
Módulo de finura	\sum acumulada na série normal/100						4,15
Diâmetro Máximo =	# \leq 5% em peso						0,3

RM	Massa retida (g)				Massa (%)			
	Peneira (#) (mm)	Amostra 01	Amostra 02	Amostra 03	Amostra 04	Média	Retida	Acumulada
	4,76	75,6	75,7	75,65	75,65	75,65	76%	76%
	2,38	13,9	14	13,95	13,95	13,98	14%	89%
	1,19	5,7	5,6	5,7	5,7	5,68	5%	95%
	0,59	3,5	3,4	3,5	3,5	3,48	3%	98%
	0,297	0,8	0,9	0,9	0,9	0,88	1%	99%
	0,15	0,2	0,2	0,2	0,2	0,20	1%	99%
	Fundo <0,053mm	0,3	0,2	0,2	0,3	0,25	1%	100%
	Soma (total)	100	100,1	100,1	100,2			
	Módulo de finura	Σ acumulada na série normal/100						6
	Diâmetro Máximo =	# \leq 5% em peso						1,19

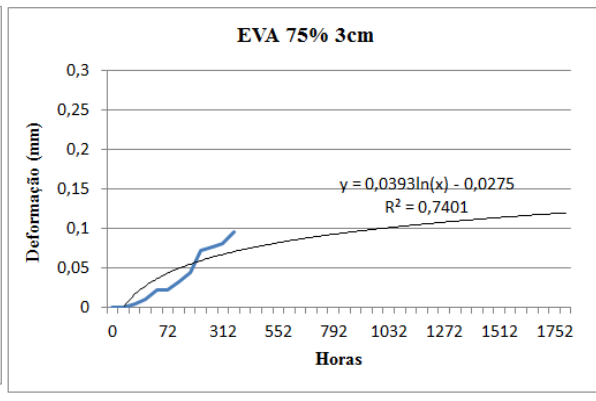
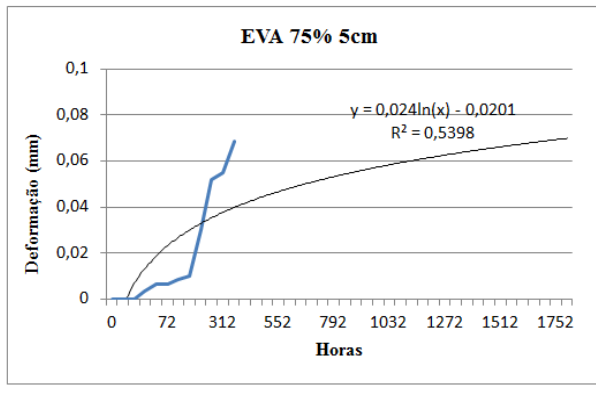
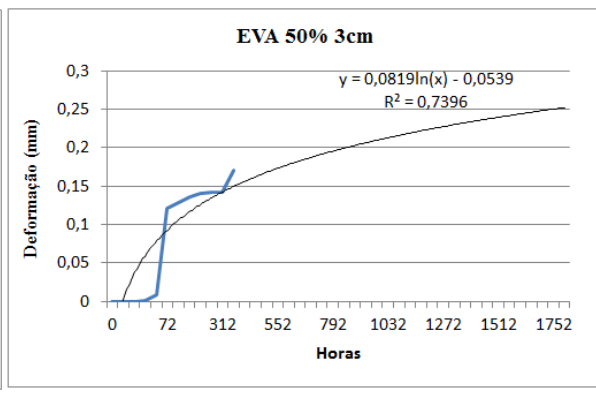
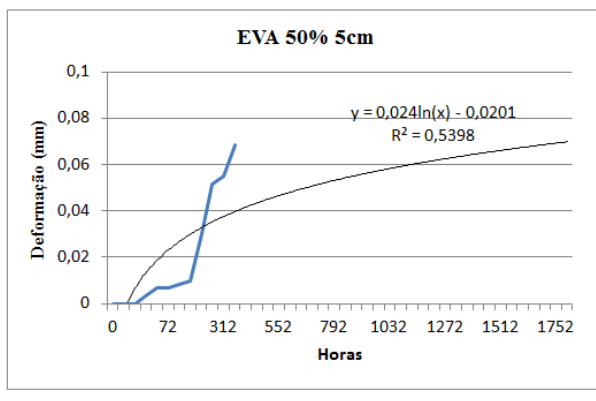
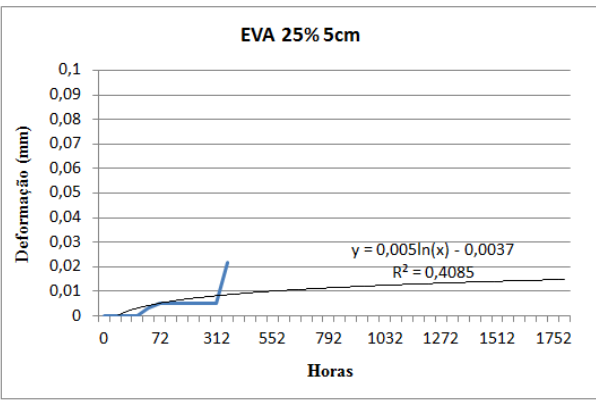
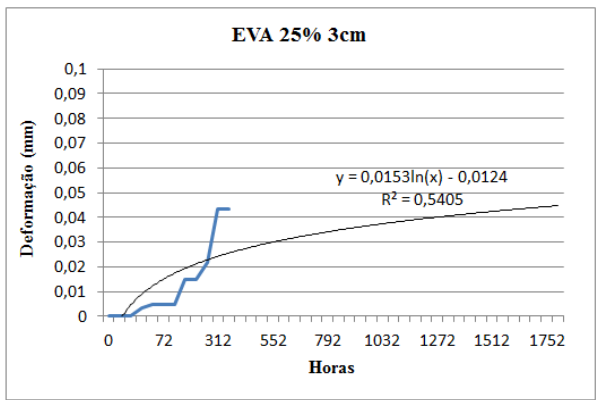
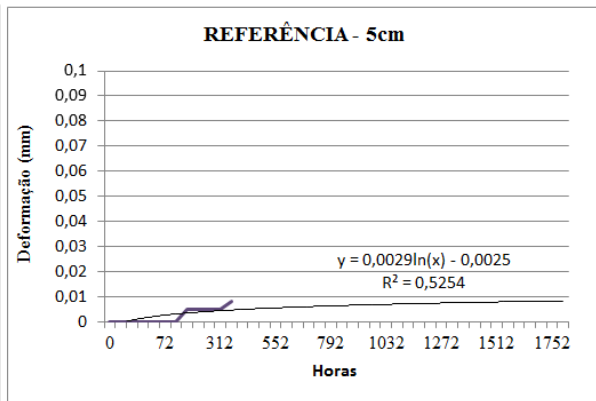
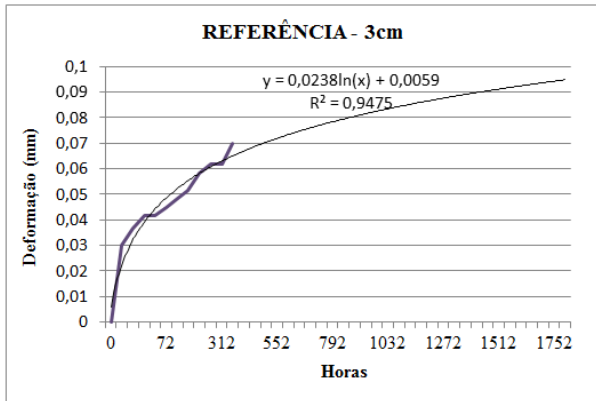
APÊNDICE C: TRAÇÃO NA FLEXÃO AOS 28 DIAS

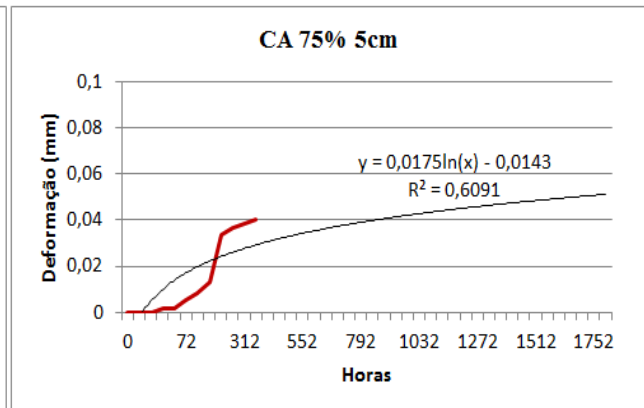
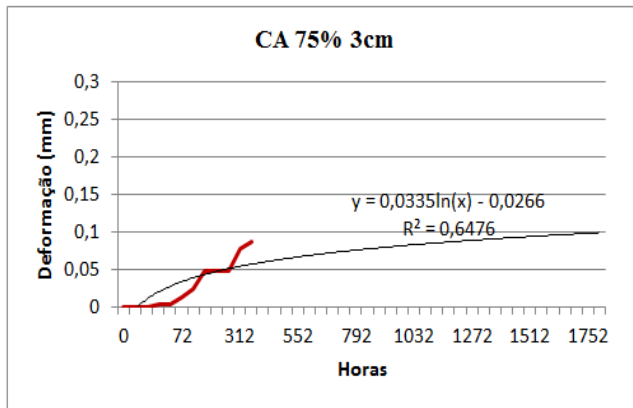
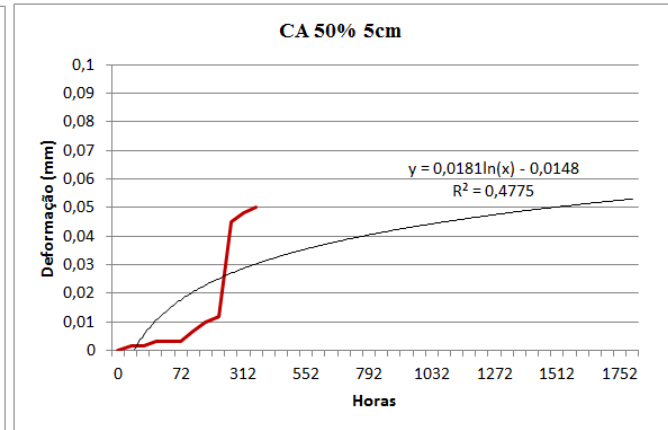
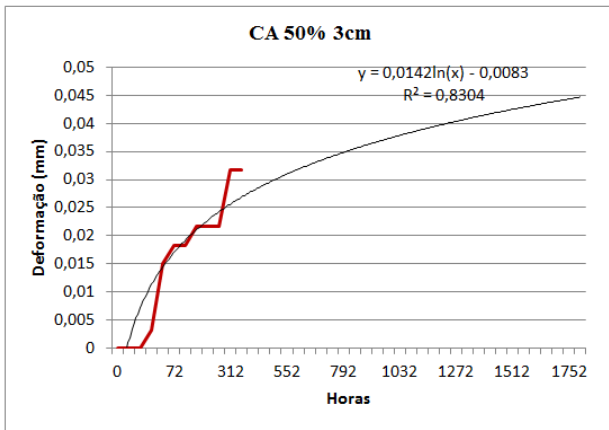
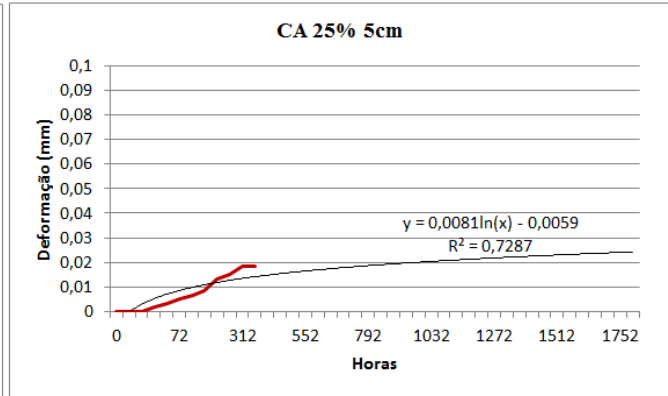
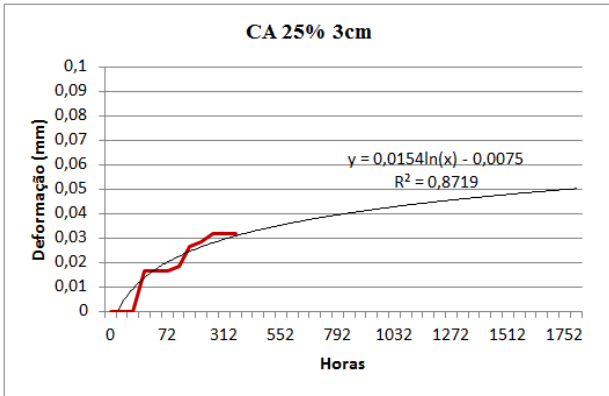
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO - 28 DIAS					
Identificação		Carga (N)	Tensão (MPa)	Média Tensão (MPa)	
Referência		1	388	0,24	0,6
		2	1552	0,97	
		3	1171	0,73	
EVA	25	1	805	0,50	0,5
		2	678	0,42	
		3	814	0,51	
	50	1	493	0,31	0,3
		2	445	0,28	
		3	445	0,28	
	75	1	118	0,07	0,1
		2	140	0,09	
		3	107	0,07	
RM	25	1	401	0,25	0,3
		2	478	0,30	
		3	507	0,32	
	50	1	100	0,06	0,1
		2	95	0,06	
		3	181	0,11	
	75	1	27	0,02	0,01
		2	16	0,01	
		3	15	0,01	
CA	25	1	1367	0,85	0,9
		2	1467	0,92	
		3	1489	0,93	
	50	1	1803	0,84	0,9
		2	1934	0,91	
		3	1800	0,91	
	75	1	787	0,49	0,5
		2	682	0,43	
		3	735	0,46	

APÊNDICE D: COMPRESSÃO AXIAL

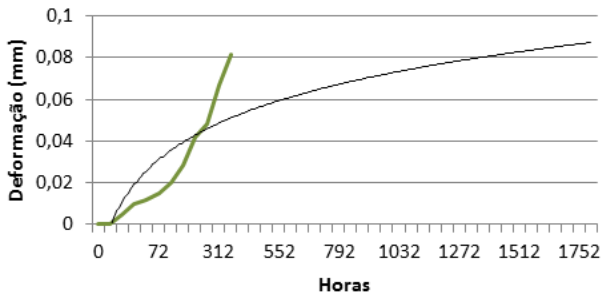
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO - 28 DIAS							
Identificação		Carga (N)		Tensão (MPa)		Média Tensão (MPa)	
		Esquerda	Direita	Esquerda	Direita		
Referência	1	9829	13932	6,14	8,71	6,4	
	2	12701	1041	7,94	0,65		
	3	12149	11937	7,59	7,46		
EVA	25	1	7081	9022	4,43	5,64	5,0
		2	9134	9157	5,71	5,72	
		3	7571	6320	4,73	3,95	
	50	1	3131	2996	1,96	1,87	2,2
		2	3692	3691	2,31	2,31	
		3	3914	3911	2,45	2,44	
	75	1	604	637	0,38	0,40	0,5
		2	828	869	0,52	0,54	
		3	752	813	0,47	0,51	
RM	25	1	2418	2655	1,51	1,66	1,7
		2	3027	2496	1,89	1,56	
		3	2557	3416	1,60	2,14	
	50	1	1020	613	0,64	0,38	0,6
		2	715	1246	0,45	0,78	
		3	1178	691	0,74	0,43	
	75	1	58	64	0,04	0,04	0,1
		2	0	262	0,00	0,16	
		3	85	235	0,05	0,15	
CA	25	1	11435	16779	7,15	10,49	9,6
		2	17368	16188	10,86	10,12	
		3	13872	16212	8,67	10,13	
	50	1	13344	13766	8,34	8,60	9,0
		2	15273	14985	9,55	9,37	
		3	15026	13891	9,39	8,68	
	75	1	3503	3132	2,19	1,96	2,3
		2	3645	4087	2,28	2,55	
		3	4125	3700	2,58	2,31	

APÊNDICE E: FLUÊNCIA À COMPRESSÃO

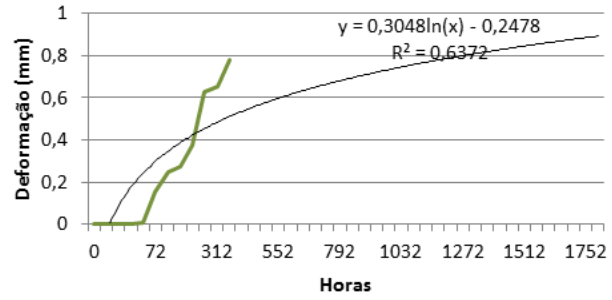




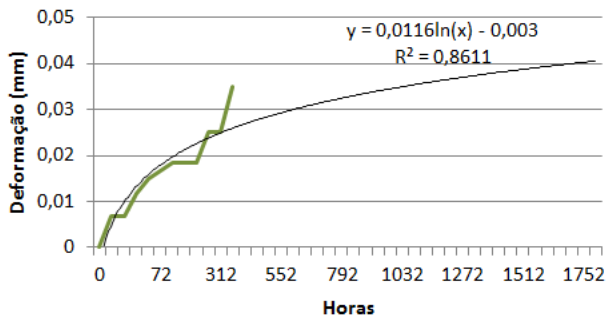
RM 25% 3cm



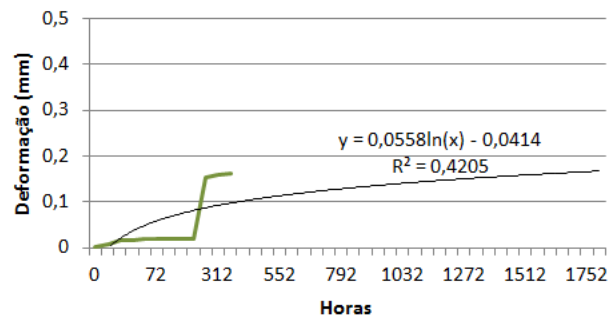
RM 25% 5cm



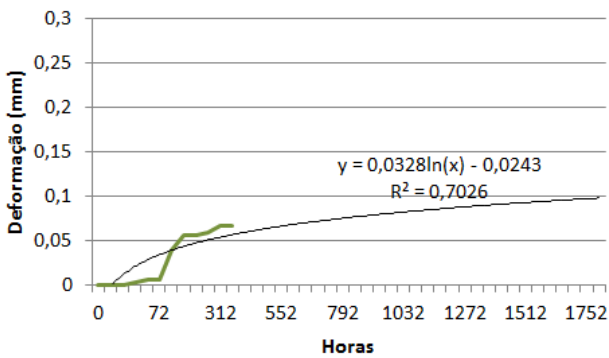
RM 50% 3cm



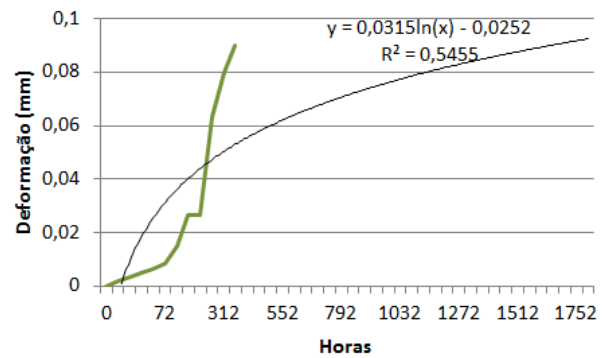
RM 50% 5cm



RM 75% 3cm



RM 75% 5cm



**APÊNDICE F: NÍVEL DE PRESSÃO SONORA PADRONIZADO PONDERADO
($L'_{nT,W}$) E OS VALORES POR BANDA DE UM TERÇO DE OITAVA (L'_{nT}).**

Frequência	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	$L_{nT,w}$
	L_{nT}																		
Laje zero + regularização	51,5	69,7	65,8	71,9	68,0	65,6	65,6	64,5	66,2	67,1	66,7	66,3	66,4	66,1	64,8	62,5	60,0	55,9	71
Referência 3 cm	53,9	67,1	64,8	61,7	65,0	69,3	69,2	67,0	65,4	62,6	62,4	62,9	62,5	60,5	58,5	55,8	52,1	47,7	66
EVA 25% 3 cm	54,4	71,1	69,0	67,6	67,5	69,4	66,4	62,9	61,6	60,3	58,2	57,1	55,9	54,9	52,2	47,8	43,2	38,4	63
EVA 50% 3 cm	54,4	69,1	62,8	65,2	68,1	67,1	65,8	62,2	62,0	60,9	58,8	55,7	53,2	51,0	48,6	44,1	38,6	33,6	61
EVA 75% 3 cm	54,8	63,9	61,8	62,8	65,9	63,6	64,8	60,5	56,9	53,9	51,9	48,8	45,7	42,2	39,6	36,0	32,8	27,2	57
CA 25% 3 cm	47,2	63,7	63,2	62,1	66,9	66,4	66,3	63,3	62,3	62,7	63,0	62,8	62,3	59,8	59,2	56,2	51,6	44,7	66
CA 50% 3 cm	50,5	72,4	70,7	65,8	64,1	66,7	68,5	65,8	66,5	62,7	60,4	61,1	60,6	56,7	52,6	47,7	42,1	37,5	65
CA 75% 3 cm	49,7	66,4	64,2	62,8	62,6	65,2	66,9	64,7	61,4	58,0	55,2	54,3	51,6	46,6	40,3	33,4	27,1	20,3	59
Referência 5 cm	60,5	64,9	62,2	62,8	66,8	69,3	68,9	70,8	66,1	65,2	62,5	64,7	60,0	60,1	55,5	51,7	47,8	41,5	66
EVA 25% 5 cm	56,7	69,0	63,8	64,3	66,6	66,2	63,7	61,6	60,0	57,3	57,3	56,1	52,5	48,9	44,7	37,7	32,2	23,8	60
EVA 50% 5 cm	57,7	72,7	63,5	65,4	66,6	65,4	64,5	62,3	61,5	58,8	57,4	55,9	52,1	50,7	46,7	41,6	35,9	28,4	61
EVA 75% 5 cm	57,5	62,7	61,7	65,5	63,0	62,8	61,6	57,0	55,1	49,3	46,2	39,7	34,8	29,8	25,0	17,1	11,3	7,0	56
CA 25% 5 cm	52,6	61,2	61,3	62,0	66,0	66,6	67,9	70,1	63,7	66,9	62,9	62,3	61,8	57,8	55,0	51,7	47,0	41,4	65
CA 50% 5 cm	48,7	70,7	68,7	65,4	62,7	66,6	68,8	62,5	63,7	61,7	61,2	59,1	56,5	54,3	48,4	44,1	37,1	28,4	63
CA 75% 5 cm	50,4	67,9	65,1	59,9	62,9	60,0	59,8	56,7	54,8	52,3	46,9	44,1	39,9	34,1	26,6	20,5	14,2	6,7	56