

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

DÉBORA BRETAS SILVA

**INVESTIGAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA E DA CAPACIDADE DE
ISOLAMENTO ACÚSTICO DE COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS LEVES CONTENDO
CASCA DO ARROZ E PALHA DA PLANTA *ORYZA SATIVA* (Arroz)**

**Alegrete
2017**

DÉBORA BRETAS SILVA

**INVESTIGAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA E DA CAPACIDADE DE
ISOLAMENTO ACÚSTICO DE COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS LEVES CONTENDO
CASCA DO ARROZ E PALHA DA PLANTA *ORYZA SATIVA* (Arroz)**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Wang Chong
Coorientador: Prof. Dr. Ederli Marangon

**Alegrete
2017**

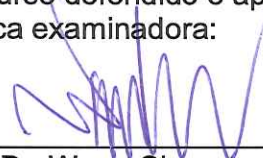
DÉBORA BRETAS SILVA

INVESTIGAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA E DA CAPACIDADE DE ISOLAMENTO ACÚSTICO DE COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS LEVES CONTENDO CASCA DO ARROZ E PALHA DA PLANTA *ORYZA SATIVA* (Arroz)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 30/06/17

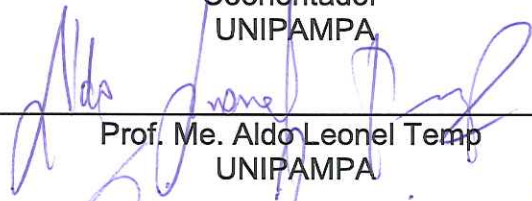
Banca examinadora:



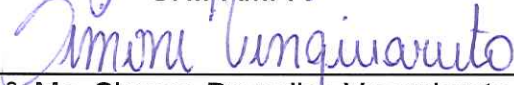
Prof. Dr. Wang Chong
Orientador
UNIPAMPA



Prof. Dr. Ederli Marangon
Coorientador
UNIPAMPA



Prof. Me. Aldo Leonel Temp
UNIPAMPA



Prof.ª. Me. Simone Dornelles Venquiaruto
UNIPAMPA

Dedico este trabalho à minha mãe
Magali Bretas e aos meus avós
Lúcia e Raymundo Pinto e Eunice
Bretas.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

Aos meus pais, Ramon e Magali, e ao meu irmão Saullo por todo amor, carinho e incentivo.

À toda minha família, em especial aos meus avós Raymundo, Lúcia e Eunice, por sonharem esse sonho comigo; aos meus tios Rejane e Fábio por serem meus maiores exemplos de esforço, determinação e profissionalismo.

Ao meu namorado, Eduardo Pachla, por estar sempre presente, principalmente nos momentos difíceis, e por fazer parte de tudo isso. Também a seus familiares, que se tornaram minha segunda família.

Aos Professores, Dr. Ederli Marangon e Dr. Wang Chong, pelo compromisso com a pesquisa e pela orientação.

Às amigas Andressa, Gabriela e Katjusa pela amizade e parceria nessa reta final.

À amiga Darielle, por ser sempre um ombro amigo.

À minha amiga da vida, Paula Valério, por estar comigo bem antes do próprio vestibular.

À Cooperativa agroindustrial de Alegrete (CAAL) pela doação da casca de arroz.

Ao amigo Raphael pela doação da palha.

À empresa ECOPORE pela doação do aditivo.

À FAPERGS pela concessão da bolsa de iniciação científica.

“No que diz respeito ao empenho, ao compromisso, ao
esforço, à dedicação, não existe meio termo.
Ou você faz uma coisa bem feita ou não faz”.

Ayrton Senna

RESUMO

No presente estudo foram analisados um total de dez traços de concreto celular espumoso com adição de fibras vegetais provenientes da planta *Oryza Sativa* quanto ao seu desempenho mecânico e acústico. Dentre estes, um traço contendo apenas casca de arroz foi tomado como referência, e para os demais foi realizada uma substituição de parte da casca do arroz por palha em três diferentes comprimentos e porcentagens. Para comprovar que se tratavam de compósitos de concreto leve e facilitar futuras reproduções do material, foram aferidas as massas específicas no estado fresco e no estado endurecido aos 28 dias de cura. Na análise mecânica, foram determinadas a resistência à compressão axial e à tração na flexão em três pontos, também aos 28 dias de cura. Em ambos os casos houve um aumento na resistência mecânica em comparação ao traço referência, tornando evidente o benefício da combinação das duas fibras. No que tange a compressão axial verificou-se que o comprimento da palha não influencia o desempenho dos compósitos, além disso, a porcentagem de substituição mais promissora foi a de 5%. Para a tração na flexão em três pontos, o comprimento também foi uma variável que não influenciou os resultados, quanto a porcentagem de substituição, assim como observado no desempenho à compressão 5% foi a quantia que apresentou melhores repercussões no material. Fazendo uma comparação entre os resultados físicos e mecânicos comprovou-se que a densidade não foi um fator determinante para o desempenho mecânico devido a sua pequena variabilidade. A análise acústica foi realizada através de um tubo de impedância, e apesar de os compósitos terem apresentado entre si resultados bem semelhantes devido a não representatividade das amostras, ficou claro que o desempenho acústico é superior em relação a outros materiais habitualmente empregues para a mesma finalidade.

Palavras-chaves: compósitos, concreto celular, fibras vegetais, resistência mecânica, desempenho acústico.

ABSTRACT

In the present study, a total of ten traces of foamed cellular concrete with addition of vegetal fibers from the *Oryza Sativa* plant were analyzed for their mechanical and acoustic performance. Among these, a trace containing only rice husk was taken as reference, and for the others a substitution of part of the rice husk by straw was carried out in three different lengths and percentages. To verify that they were lightweight composites and to facilitate future reproductions of the material, the specific masses were evaluated in the fresh state and in the hardened state at 28 days of cure. In the mechanical analysis, the axial compression strength and the flexural tensile strength were determined at three points also at 28 days of cure. In both cases there was an increase in mechanical resistance compared to the reference trait, making evident the benefit of fiber addition. As far as the axial compression was concerned, it was verified that the straw length did not influence the performance of the composites, in addition the most promising substitution percentage was 5%. For the traction in the three-point flexion the length was also a variable that did not influence the results, as the percentage of substitution, as observed in the compression performance 5% was the amount that presented better repercussions in the material. By comparing the physical and mechanical results it was verified that the density was not a determining factor for the mechanical performance due to its small variability. The acoustic analysis was performed through an impedance tube, and although the composites presented very similar results among themselves due to the non-representativeness of the samples, it was clear that the acoustic performance is superior in relation to other materials commonly used for the same purpose.

Keywords: composites, cellular concrete, plant fibers, mechanical resistance, acoustic performance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Tipos de Concreto Leve - a) com agregados leves; b) celular; c) sem finos	18
Figura 2- Classificação Concretos Celulares.....	19
Figura 3- Tipos de Concreto Celular Espumoso.....	20
Figura 4- Esquema de uma trinca em um compósito reforçado com fibras - (1) fibra rompida, (2) fibra arrancada e (3) fibra íntegra.....	22
Figura 5- Colisão de uma onda sonora com um elemento divisor – (1) Onda Sonora, (2) Fração transmitida, (3) Fração absorvida, (4) Fração refletida.	25
Figura 6-Índice de redução sonora CCA.....	26
Figura 7- Frequências Audíveis.....	27
Figura 8- Etapas do estudo realizado.....	28
Figura 9- Casca do Arroz	29
Figura 10- Palha da planta Oryza Sativa (A) Palha em estado natural antes de ser cortada; (B) Palha de 1 cm; (C) Palha de 2 cm; (D) Palha de 3 cm.	30
Figura 11- Incorporador de Espuma (A) Bomba de recalque; (B) Compressor de ar; (C) Registro de liberação do ar já comprimido; (D) Marcador de pressão; (E) Registro utilizado para limpeza: ao ser aberto o líquido não passa pela bomba; (F) Registro de liberação do líquido, seja pela bomba ou não; (G) Caixa de disjuntores, sendo o da direita responsável por ligar o compressor e o da esquerda, responsável por ligar a bomba; (H) União do ar liberado e do líquido; (I) Duto de saída da espuma.	31
Figura 12- Espuma pronta.....	32
Figura 13- Organograma de mistura para concretagem	34
Figura 14- Procedimento de Mistura – (A) Preparação dos materiais; (B) Palha e Casca cortadas nos tamanhos que serão utilizados; (C) Espuma pronta; (D) Colocação da espuma na betoneira; (E) Água sobre a espuma; (F) Colocação das fibras na betoneira; (G) Colocação do cimento na betoneira; (H) Aparência final do material.	35
Figura 15- Preparação corpos de prova	36
Figura 16- Preparação dos CP's cilíndricos 10x20 cm para ensaio de Resistência à compressão.....	36
Figura 17-Preparação dos CP's prismáticos 4x4x16 cm para ensaio de Resistência à tração	37

Figura 18- Preparação dos CP's cilíndricos 2,9x5 cm para o ensaio de Isolamento acústico	37
Figura 19-Massa específica no estado fresco	39
Figura 20- Máquina de Ensaio Universal	39
Figura 21-Máquina de Ensaio Universal	40
Figura 22 - Equipamento instalado.....	41
Figura 23- Tubo de impedância para ensaio de isolamento com frequência de 500 Hz a 6300 Hz.....	42
Figura 24-Encaixe da espuma no tubo de impedância	42
Figura 25 - Esquema do ensaio de isolamento acústico	43
Figura 26- Relação entre a MEF e a MEE	46
Figura 27 - Porcentagem de Palha X Resistência à Compressão.....	48
Figura 28- Porcentagem de Palha X Resistência à Compressão.....	48
Figura 29- Comprimento de Palha X Resistência à Compressão	49
Figura 30- Comprimento de Palha X Resistência à Compressão	49
Figura 31- Relação entre a massa específica média no estado endurecido e a Resistência à Compressão aos 28 dias de cura	50
Figura 32 - Porcentagem de Palha X Resistência à Tração na Flexão.....	51
Figura 33-Porcentagem de Palha X Resistência à Tração na Flexão.....	52
Figura 34- Comprimento de Palha X Resistência à Tração na Flexão.....	52
Figura 35-Comprimento de Palha X Resistência à Tração na Flexão.....	52
Figura 36-Amostra prismática após rompimento no ensaio de Tração na Flexão.....	53
Figura 37-Amostra prismática após rompimento no ensaio de Tração na Flexão – (A) Fibra arrancada; (B) Fibra íntegra; (C) Fibra Arrancada; (D) Traço Referência	54
Figura 38-Relação entre a massa específica média no estado endurecido e a Resistência à Tração na flexão aos 28 dias de cura	55
Figura 39- Frequência X Isolamento Acústico dos compósitos com substituição de palha em 5%	57
Figura 40-Frequência X Isolamento Acústico dos compósitos com substituição de palha em 10%	57
Figura 41- Frequência X Isolamento Acústico dos compósitos com substituição de palha em 15%	58

Figura 42-Frequência X Isolamento Acústico dos compósitos com substituição de palha em 5%	58
Figura 43-Frequência X Isolamento Acústico dos compósitos com substituição de palha em 5%	59
Figura 44-Frequência X Isolamento Acústico dos compósitos com substituição de palha em 5%	59
Figura 45-Análise comparativa entre o compósito referência e os materiais estudados por Garcia (2004)	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Resistência à Compressão CCA.....	21
Tabela 2- Resistências médias à compressão do traço referência	21
Tabela 3- Resistência à tração CCE	22
Tabela 4- Isolamento acústico de materiais de construção civil.....	27
Tabela 5-Traços utilizados	33
Tabela 6- Massa específica no estado fresco	44
Tabela 7- Massa específica média no estado endurecido	45
Tabela 8- Resistência média à Compressão aos 28 dias de cura.....	47
Tabela 9 - Resistência média à Tração aos 28 dias de cura.....	51
Tabela 10- Isolamento acústico dos compósitos.....	56
Tabela 11- Massas específicas no estado endurecido.....	67
Tabela 12-Resistências à compressão axial	69
Tabela 13-Resistências à tração na flexão em três pontos.....	72
Tabela 14- Isolamento Acústico Traço Referência.....	74
Tabela 15- Isolamento Acústico Traço 5.1	75
Tabela 16- Isolamento Acústico Traço 5.2	76
Tabela 17- Isolamento Acústico Traço 5.3	77
Tabela 18- Isolamento Acústico Traço 10.1	78
Tabela 19- Isolamento Acústico Traço 10.2	79
Tabela 20- Isolamento Acústico Traço 10.3	80
Tabela 21- Isolamento Acústico Traço 15.1	81
Tabela 22- Isolamento Acústico Traço 15.2	82
Tabela 23- Isolamento Acústico Traço 15.3	83

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;
- CAAL – Cooperativa Agroindustrial Alegrete Ltda.;
- CCA – Concreto Celular Autoclavado;
- CCBT – Concreto Celular curado a baixa temperatura;
- CCE – Concreto Celular Espumoso;
- CP's – Corpos de prova;
- CP V ARI RS– Cimento Portland de alta resistência inicial, resistente à sulfatos;
- C.V. – Coeficiente de variação;
- EPI – Equipamento de proteção individual;
- FAPERGS – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul;
- MEE - Massa específica no estado endurecido;
- MEF – Massa específica no estado fresco;
- NBR – Norma brasileira;
- Oryza sativa* – Nome científico do arroz.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 Objetivos	16
1.1.1 Objetivo geral	16
1.1.2 Objetivos específicos	16
1.2 Estrutura do trabalho	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 Concreto Celular	18
2.1.1 Classificação	19
2.1.2 Resistência mecânica	21
2.2 Resistividade Acústica	24
2.2.1 Isolamento Acústico	25
3. MATERIAIS E MÉTODOS EXPERIMENTAIS	28
3.1 Introdução	28
3.2 Materiais	28
3.2.1 Cimento	28
3.2.2 Casca do arroz	29
3.2.3 Palha da planta <i>Oryza sativa</i>	29
3.2.4 Aditivo incorporador de ar	30
3.3 Métodos experimentais	33
3.3.1 Definição dos traços	33
3.3.2 Método de mistura	34
3.3.3 Determinação da massa específica no estado fresco e endurecido	38
3.3.4 Ensaio de resistência à compressão axial	39
3.3.5 Ensaio de resistência à tração na flexão em três pontos	40
3.3.6 Ensaio de isolamento acústico	41
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS	44
4.1 Determinação da massa específica dos compósitos no estado fresco e no estado endurecido	44
4.2 Ensaio de Resistência à Compressão Axial	46
4.3 Ensaio de Resistência à Tração na Flexão em três pontos	51
4.4 Ensaio de Isolamento Acústico	56
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
5.1 Conclusões	61
5.2 Sugestões para trabalhos futuros	62
REFERÊNCIAS	63
ANEXOS	67
ANEXO 1	67
ANEXO 2	69
ANEXO 3	72
ANEXO 4	74

1. INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da humanidade o homem já buscava formas de proteger-se e abrigar-se das intempéries. Com o passar do tempo, maiores avanços tecnológicos foram alcançados, os quais possibilitaram que tanto os materiais quanto as técnicas construtivas fossem aperfeiçoadas e adaptadas às necessidades dos usuários e do mercado.

Atualmente, há uma crescente procura no setor da construção civil por processos mais racionais e industrializados, ou seja, com o mínimo desperdício, e que apresentem maior eficiência de produção e montagem. Além disso, por produtos que confirmem um maior conforto aos usuários da edificação, seja ele térmico, acústico, lumínico, entre outros.

Nesse sentido, observa-se a falta de conforto acústico apresentado pelos ambientes na maioria das habitações brasileiras, e a necessidade de aprimorar-se as características dos elementos de vedação interna, principalmente após a criação de novas Normas Brasileiras relacionadas ao desempenho das edificações; como é o caso da NBR 15.575 (ABNT, 2013), visando um aumento na resistividade acústica dos mesmos sem redução da resistência mecânica.

Pachla (2015) menciona o concreto celular como um bom isolante acústico, isto é, hábil a inibir a transferência de ruído de um recinto ao outro. Porém, em muitos casos um único item não é capaz de oferecer as propriedades almejadas, nesse sentido, Zucco (1999) define compósito como sendo um material obtido a partir de uma matriz reforçada com fibras, ou ainda uma mistura de componentes na obtenção de elementos com atributos não apresentados por seus constituintes separadamente.

A fabricação de compósitos é um conceito bem antigo, Bentur e Mindess (2007) citam relatos do emprego de palha na armação de tijolos de barro em Êxodo 5:6-7. Nos dias atuais, dispõe-se de uma gama enorme de fibras dos mais diferentes tipos, como: vegetais (sisal, coco, curauá, juta), metálicas (aço) e sintéticas (polipropileno, nylon), no entanto, frente a um pensamento mais sustentável vários autores como Kieling (2009), Pauleski (2007) e Zucco (1999) têm empregado fibras vegetais como adição ao concreto, como uma forma de concomitantemente abrandar os impactos ambientais gerados pelo seu depósito inadequado e atenuar custos de produção.

Nessa perspectiva, fundamenta-se a escolha pelo estudo da palha e da casca do arroz em função da abundância destes subprodutos provenientes da benfeitoria do arroz no país, e principalmente no estado do Rio Grande do Sul, que é o maior produtor nacional, e dos resultados positivos da adição desse tipo de fibra ao concreto apresentados por trabalhos similares.

Em face dessas considerações, a questão de pesquisa proposta para o trabalho é a seguinte:

No que diz respeito a melhoria das propriedades acústicas e mecânicas do concreto celular, a combinação de fibras de casca do arroz e palha da planta *Oryza sativa* é uma boa alternativa?

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral do trabalho é investigar o comportamento mecânico e acústico de compósitos de concreto celular contendo casca e palha do arroz com diferentes percentuais e comprimentos.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Determinar as propriedades mecânicas por meio de ensaios de compressão axial simples e tração na flexão em três pontos.
- Avaliar o potencial de isolamento acústico dos compósitos;

1.2 Estrutura do trabalho

O estudo desenvolvido neste trabalho será apresentado em cinco seções da seguinte forma:

➤ Seção 1

Essa seção aborda uma breve contextualização do assunto em questão, a justificativa para a elaboração do trabalho e escolha dos materiais, e os objetivos a serem atingidos.

➤ Seção 2

Nesta segunda parte é apresentada uma breve revisão da literatura a fim de familiarizar o leitor com a teoria e fundamentar o trabalho realizado.

➤ Seção 3

Essa seção apresenta os métodos experimentais que foram utilizados para produção e ensaio dos corpos-de-prova.

➤ Seção 4

A quarta seção reserva-se à apresentação e discussão dos resultados obtidos pelas análises experimentais dos compósitos.

➤ Seção 5

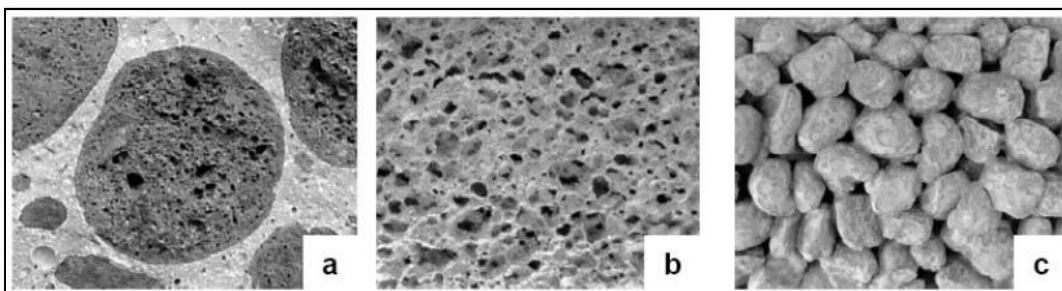
A quinta e última seção engloba as considerações finais do trabalho e algumas sugestões a serem utilizadas em trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Concreto Celular

“Os concretos leves caracterizam-se pela redução da massa específica em relação aos concretos convencionais, consequência da substituição de parte dos materiais sólidos por ar. Podem ser classificados em concreto com agregados leves, concreto celular e concreto sem finos (ROSSIGNOLO, 2009, p. 17) ”.

Figura 1- Tipos de Concreto Leve - a) com agregados leves; b) celular; c) sem finos



Fonte: Rossignolo (2009, p.17)

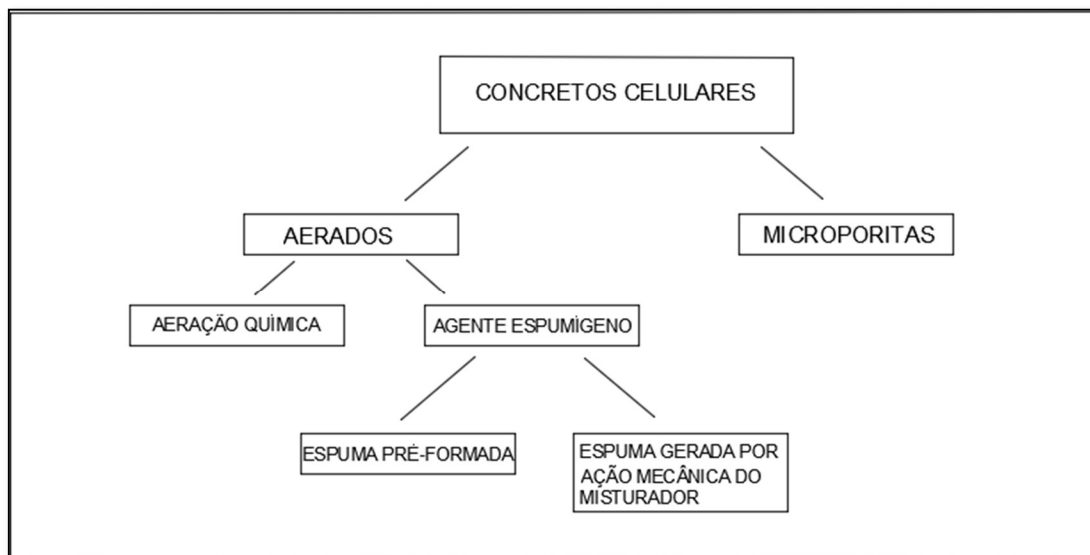
A NBR 8953 (ABNT, 2015) ainda estabelece que para o material ser classificado como concreto leve, ele deve ter massa específica inferior a 2000 Kg/m^3 .

Soudais (2014) comenta que a incorporação das bolhas pode ser feita de duas maneiras distintas, a primeira por aeração química e a segunda pela inserção de um agente espumígeno na mistura. Teixeira Filho e Tezuka (1992) ainda citam outro tipo de concreto considerado celular, o “Microporitas”, em que a porosidade é oriunda da alta quantia de água acrescida a argamassa, sem a inserção de um agente específico.

2.1.1 Classificação

Os concretos celulares podem ser divididos em dois grupos básicos, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2- Classificação Concretos Celulares



Fonte: Adaptado de Teixeira Filho e Tezuka (1992)

A diferença entre os Microporitas e os Aerados advém do processo de concepção dos poros e a forma dos mesmos. Como citado anteriormente, nos Microporitas não há a necessidade de utilizar-se nenhum tipo de agente, acrescenta-se apenas grande quantidade de água à argamassa (TEIXEIRA FILHO; TEZUKA, 1992).

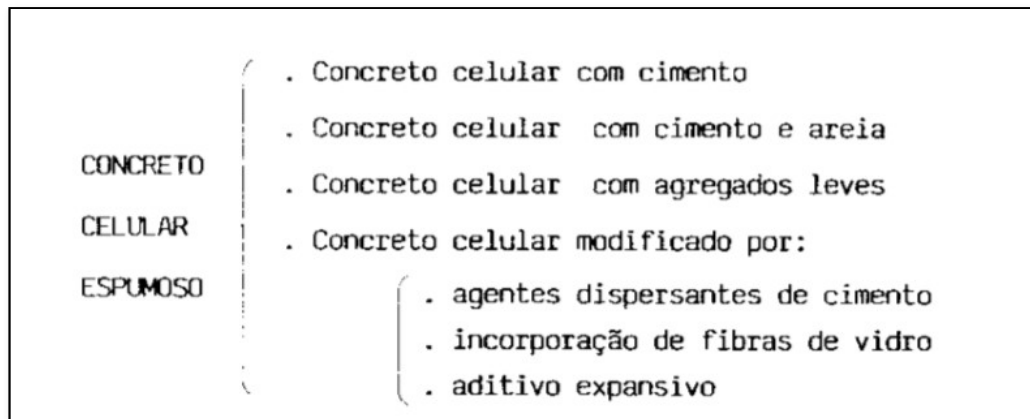
“A aeração química é resultado da reação de uma substância química (pó de alumínio, água oxigenada ou cal clorada) com outros componentes presentes na argamassa, gerando poros (TEIXEIRA FILHO; TEZUKA, 1992, p.3)”.

Já os aerados por agente espumígeno podem obter os poros de duas maneiras distintas (MELO, 2009), que são:

- Espuma pré-formada, com características controladas e geradas em equipamentos específicos e introduzida após o preparo da argamassa;
- Espuma gerada por ação mecânica, com o agente espumígeno já diluído em água e misturado às matérias primas no interior do aparelho misturador, onde, durante a operação, a espuma é gerada pela velocidade do equipamento.

Os diversos tipos de concretos celulares espumosos estão listados na Figura 3:

Figura 3- Tipos de Concreto Celular Espumoso



Fonte: Teixeira Filho e Tezuka (1992, p.4)

Melo (2009) ressalta, que a parcela de ar acrescentado à mistura final está intimamente relacionada a leveza do produto, e ao mesmo tempo influencia em outros predicados do material, como resistência mecânica, desempenho acústico e térmico.

Devido ao seu baixo peso específico, o concreto celular pode ser fabricado em condições operacionais simples, dispensando o uso de equipamentos especiais (com exceção do gerador de espuma) ou mão de obra particularizada, é autonivelante, logo não necessita de vibração e a cura pode ser feita em condições atmosféricas normais (TEIXEIRA, 1992).

As Normas Brasileiras que estabelecem os parâmetros para produção e controle de qualidade do concreto celular são:

- NBR 12644/2014: Concreto leve celular estrutural — Determinação da densidade de massa aparente no estado fresco (ABNT, 2014);
- NBR 12645/1992: Execução de Paredes em Concreto Celular Espumoso Moldadas no Local (ABNT, 1992);
- NBR 12646/1992: Paredes de Concreto Celular Espumoso Moldadas no Local (ABNT, 1992);
- NBR 13438/2013: Blocos de concreto celular autoclavado – Requisitos (ABNT, 2013);
- NBR 13440/2013: Blocos de concreto celular autoclavado - Métodos de Ensaio (ABNT, 2013);
- NBR 14956/2013: Blocos de concreto celular autoclavado – Execução de alvenaria sem função estrutural (ABNT, 2013).

2.1.2 Resistência mecânica

Ferreira (1987), afirma que a resistência à compressão do concreto celular espumoso é diretamente proporcional à massa específica, ao consumo de cimento e sua superfície específica, e inversamente ao volume de espuma incorporado.

A NBR 13438 (ABNT, 2013) apresenta quatro classes de CCA, determinadas de acordo com a resistência à compressão e a densidade aparente seca, conforme ilustra a Tabela 1. Ressalta-se que os valores são correspondentes ao CCA, o qual apresenta valores de resistência superiores ao CCBT e densidades inferiores em função de seu processo de cura que é realizado em autoclave, consoante ao explicado por Ferreira (1987).

Tabela 1-Resistência à Compressão CCA

Classe	Resistência à Compressão (seca)		Densidade aparente seca
	Valor médio mínimo (MPa)	Menor valor isolado (MPa)	Média (Kg/m ³)
C 12	1,2	1,0	< 450
C 15	1,5	1,2	< 500
C 25	2,5	2,0	< 550
C 45	4,5	3,6	< 650

Fonte: Adaptado NBR 13438 (ABNT, 2013, p.3)

Na Tabela 2 consta as resistências médias à compressão axial do traço referência aos 28 dias de cura à temperatura ambiente, utilizando cimento Portland CIMPOR CP IV, determinadas por Pachla (2015). A massa específica aos 28 dias de cura correspondente é de 729,36 Kg/m³.

Tabela 2- Resistências médias à compressão do traço referência

Fc- 28 dias (MPa)	1,82
Desvio Padrão (MPa)	0,15
C.V (%)	8,24
Variação do Fc (%)	0,64

Fonte: Adaptado Pachla (2015, p.39)

Melo (2009), pesquisou dois padrões diferentes de concreto celular espumoso, o CCE 400 (400 kg/m³) e o CCE 600 (600 kg/m³), e determinou a resistência à tração na flexão de ambos, os valores estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3- Resistência à tração CCE

Material	Resistencia à tração na Flexão (MPa)	Desvio Padrão	Coef. De Variação (%)
CCE 400	0.29	0.09	5.76
CCE 600	0.38	0.08	6.77

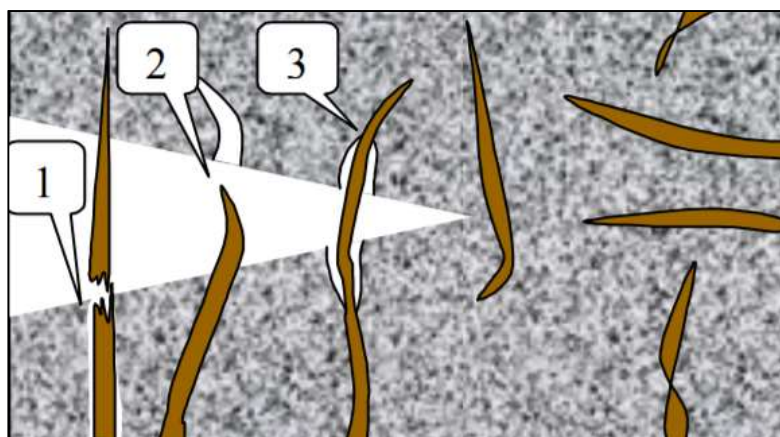
Fonte: Adaptado de MELO (2009, p.72)

Apesar de suas excelentes propriedades, o concreto apresenta comportamento frágil e pequena aptidão para deformação em relação a outros materiais estruturais (MEHTA e MONTEIRO, 1994). Ademais, apresenta resistência à tração drasticamente inferior à resistência à compressão. Tal desempenho está ligado às fissuras que surgem ou que são congênitas ao concreto, as quais afetam bem mais o material quando solicitado à tração do que à compressão. Portanto, a baixa capacidade do concreto de resistir aos esforços de tração está relacionada a dificuldade de o mesmo cessar a propagação das fissuras quando exposto a este tipo de tensão (FIGUEIREDO, 2000).

“O reforço com fibras descontínuas e aleatoriamente distribuídas na matriz tem como expectativa o controle da abertura e da propagação de fissuras no concreto, alterando o seu comportamento mecânico após a ruptura da matriz, melhorando consideravelmente a capacidade de absorção de energia do concreto, diminuindo o nível de fragilidade do material. Isto ocorre porque as fibras atuam “costurando”, preservando a resistência mecânica das seções” (CARNIO, 2009, p.2).

A Figura 4 ilustra o esquema de uma trinca em um compósito reforçado com fibras.

Figura 4- Esquema de uma trinca em um compósito reforçado com fibras - (1) fibra rompida, (2) fibra arrancada e (3) fibra íntegra.



Fonte: Adaptado de Silva (2003, p.8)

“A interface fibra-matriz permite um trabalho conjunto para que ocorra uma adequada transferência dos esforços entre o reforço e a matriz, devido a aderência entre a matriz e o componente. Por esse motivo, um fator importante para o desempenho do compósito é garantir a qualidade da interface. Outras características como quantidade, volume relativo, comprimento, fator de forma e orientação das fibras também influenciam no desempenho dos materiais compósitos” (IZQUIERDO, 2011, p.12).

“Apesar dos benefícios conferidos às propriedades mecânicas dos compósitos reforçados com fibras, estes apresentam problemas de durabilidade, basicamente relacionados às fibras” (LOPES, 2009, p.2). Estudos realizados por TOLÊDO FILHO et al. (2000) evidenciaram que as carências básicas apresentadas por compósitos cimentícios são ligadas à degradação das fibras através da ação do meio alcalino da pasta de cimento, aumento dimensional vinculado às alterações de umidade e mineralização por deposição dos materiais da pasta em seu interior.

“A decomposição da fibra ocorre quando os constituintes da fibra, principalmente a lignina e a hemicelulose presentes na lamela intercelular, são decompostos pela ação do elevado pH da água do poro da pasta de cimento. A decomposição desses produtos conduz à redução na capacidade de reforço da fibra, quebra a aderência com a matriz e torna a fibra um material inerte dentro do compósito. Dessa forma, com a perda de aderência na interface com a matriz, a fibra deixa de funcionar como reforço, passando a ser um material de enchimento, com o agravante de ser higroscópico e putrescível” (AGOPYAN, 1991, apud Silva, 2003, p.10).

2.2 Resistividade Acústica

Na visão de Flach (2012), a acústica é a ciência que examina os fenômenos do som.

“O som é uma sensação auditiva ocasionada pela vibração de partículas de ar transmitida ao aparelho auditivo humano. É uma transmissão aérea. A velocidade de transmissão do som é diretamente proporcional à distância entre as moléculas constituintes do meio. Quanto mais próximas entre si estiverem, mais rápida será a propagação do som; no ar a velocidade é de 340 m/s, sendo maior nos líquidos e maior ainda nos sólidos. Na ausência de ar (vácuo), o som não se propaga” (GREVEN, 2006, p.9).

“O ruído pode ser caracterizado como sendo a sensação psicológica resultante de um ou mais sons desagradáveis ao ouvido humano. A noção de ruído é subjetiva e depende de quem o percebe” (GREVEN, 2006, p.9).

“A frequência é uma característica das grandezas físicas de natureza ondulatória que indica o número de ocorrências de um evento, num determinado intervalo de tempo. A frequência de um som relaciona-se com a altura tonal, que é uma propriedade do som que caracteriza os sons graves e agudos. Assim, um som com uma frequência elevada denomina-se agudo e com uma frequência reduzida denomina-se grave” (CABRAL, 2012, p.7).

As principais normas brasileiras que tratam do conforto acústico são:

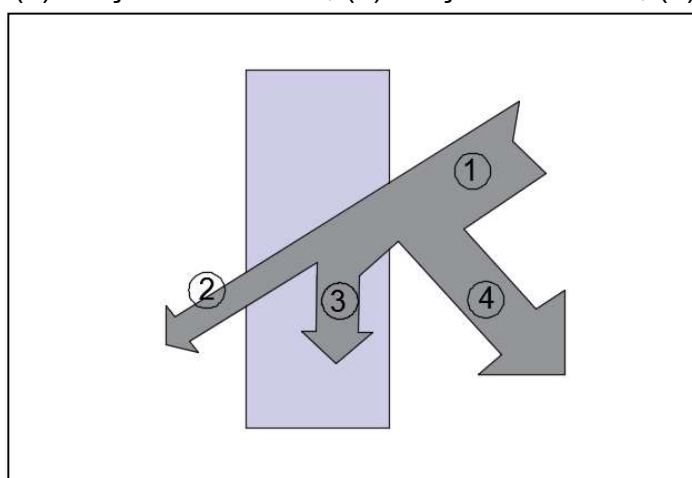
- NBR 10.151/2000 – Acústica – Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas, visando ao Conforto da Comunidade – Procedimento (ABNT, 2000);
- NBR 10.152/1992 – Níveis de Ruído para Conforto Acústico (ABNT, 1992);
- NBR 15.575/2013 – Edifícios Habitacionais até Cinco Pavimentos – Desempenho – Partes 03 e 04 (ABNT, 2013).

2.2.1 Isolamento Acústico

“Na prática, nenhuma parede se comporta como obstáculo perfeito” (GREVEN, 2006, p.21).

No momento em que uma onda sonora choca-se com um componente que separa dois ambientes, ela subdivide-se em três frações, uma que é transmitida para o ambiente adjacente, outra que é absorvida pelo elemento divisor e ainda uma terceira, que é refletida e permanece no recinto (GREVEN, 2006).

Figura 5- Colisão de uma onda sonora com um elemento divisor – (1) Onda Sonora, (2) Fração transmitida, (3) Fração absorvida, (4) Fração refletida.



Fonte: Adaptado de SILVA (1971)

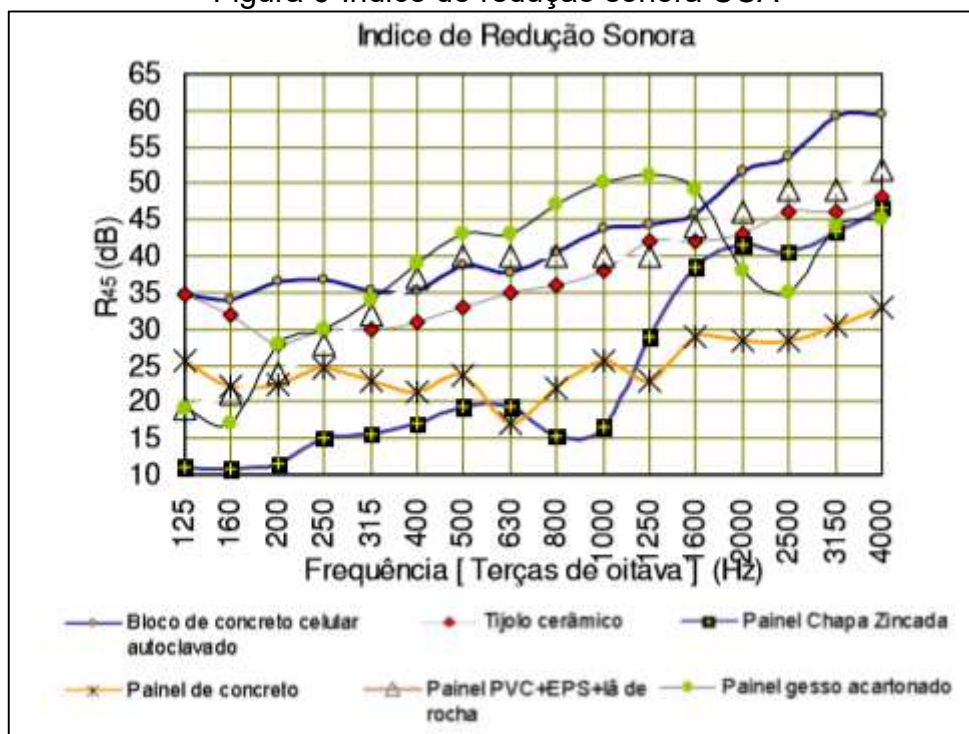
“O isolamento acústico refere-se à capacidade que certos materiais possuem de dificultar ou impedir que ondas sonoras (ou ruído) passem de um recinto para o outro” (SOUZA FILHO, 2015, p.18). Quanto maior for o isolamento sonoro do material, maior será a perda de energia por transmissão.

É importante ressaltar que o som não ultrapassa as paredes, mas sim as faz vibrar gerando energia mecânica, a qual transmite movimento ao ar criando ondas sonoras. A frequência do som em Hz (Hertz) demonstra a quantidade de vibrações por segundo, e a partir dela é possível distinguir sons graves de sons agudos (GREVEN, 2006).

Em decorrência disso, as paredes leves não são recomendadas para o isolamento acústico, pois teoricamente vibram mais facilmente tornando-se fontes secundárias de som. Porém, em contrapartida a esta teoria existente, já existem sistemas de paredes leves multicamadas que apresentam bons resultados para o isolamento sonoro (GREVEN, 2006).

Garcia (2004) estudou a perda por transmissão de blocos de concreto celular autoclavado em várias frequências e comparou com outros materiais, conforme mostra a Figura 6.

Figura 6-Índice de redução sonora CCA



Fonte: GARCIA, 2004.

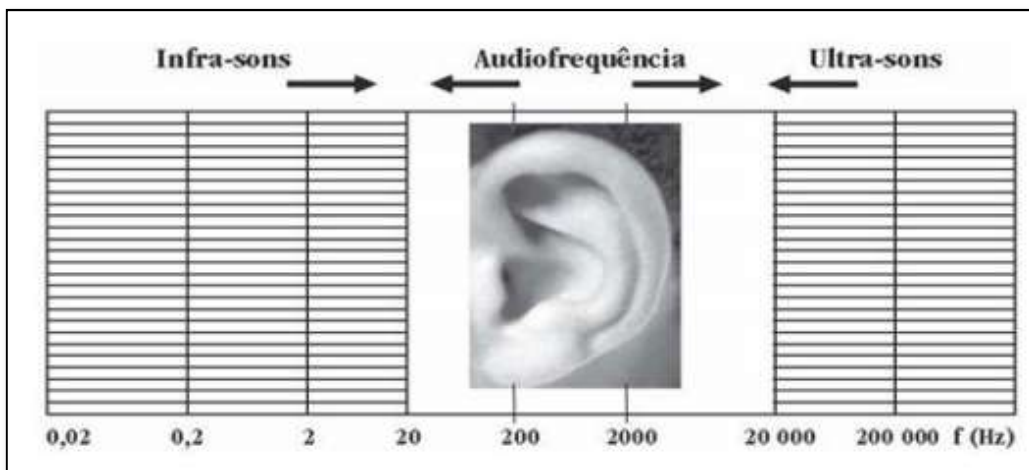
A Lei de Berger ou “Lei fundamental do isolamento acústico” diz que para ocorrer um bom isolamento, deve-se utilizar um material isolante que apresente resistividade acústica mais distinta possível do que se deseja isolar. Esta lei ainda determina que, para isolar o som que se propaga no ar, o mais recomendado é utilizar materiais sólidos, resistentes e pesados. Já, quando se pretende isolar o som que se propaga nos sólidos, o mais indicado é utilizar materiais mais leves (NEUBAUER, 2008).

O ruído pode propagar-se em uma construção através do ar, os chamados ruídos aéreos, ou através da própria estrutura, que são os ruídos de impacto. As fontes que originam esses ruídos podem ser localizadas no interior ou no exterior da edificação. (NEUBAUER, 2008).

Gerges (2000) explicou que em materiais porosos a energia acústica penetra nos poros do material e dissipa-se em razão das inúmeras reflexões e do atrito viscoso que ocorrem, dessa maneira a energia acústica transforma-se em energia térmica. De forma similar, em materiais fibrosos a energia adentra no interior das fibras, causando sua vibração e também se transforma em energia térmica devido ao atrito das fibras excitadas.

Em relação aos materiais de construção é interessante estudar apenas as frequências sonoras que o ser humano é capaz de ouvir, designados por sons audíveis. “Uma pessoa em condições normais, consegue distinguir frequências entre os 20 e os 20 000Hz” (CABRAL, 2012, p.11).

Figura 7- Frequências Audíveis



Fonte: (Cabral, 2012)

A NBR 12179 (ABNT, 1992, p.5) apresenta a capacidade de isolamento acústico de alguns dos materiais utilizados na construção civil, conforme a Tabela 4.

Tabela 4- Isolamento acústico de materiais de construção civil

Material	Frequência (500Hz)
Alvenaria de tijolo maciço (espessura de 10cm)	45.00 dB
Alvenaria de tijolo maciço (espessura de 20cm)	50.00 dB
Alvenaria de tijolo maciço (espessura de 30cm)	53.00 dB
Alvenaria de tijolo maciço (espessura de 40cm)	55.00 dB
Alvenaria de tijolo furado (espessura de 25cm)	10.00 dB
Chapa de fibra de madeira tipo "Soft-board" (espessura de 12mm)	18.00 dB
Chapas ocas de gesso (espessura de 10cm)	24.00 dB
Concreto - Lajes entre pavimentos	68.00 dB

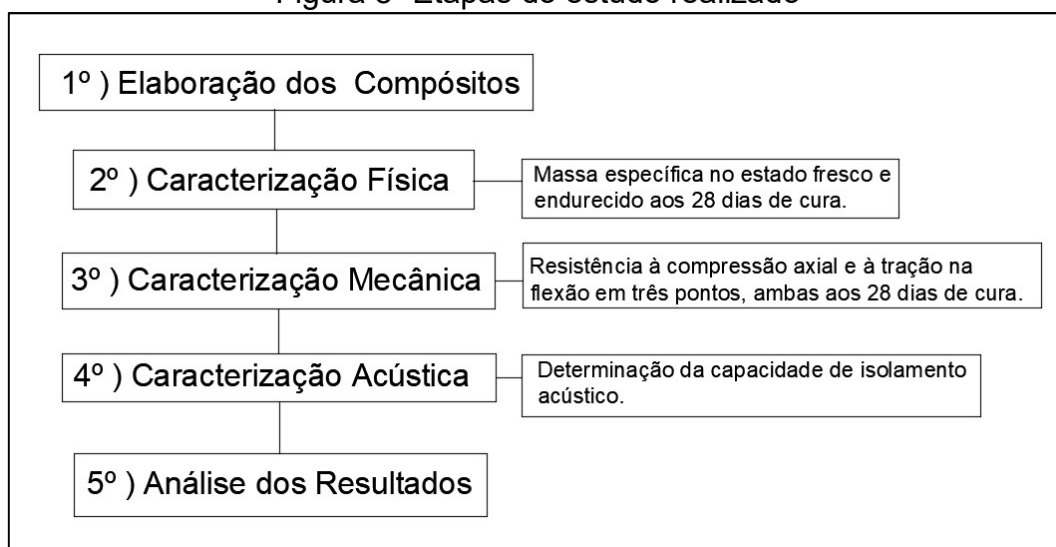
Fonte: Adaptado NBR 12179 (ABNT, 1992, p.5)

3. MATERIAIS E MÉTODOS EXPERIMENTAIS

3.1 Introdução

Visando alcançar os objetivos propostos no trabalho, foram analisados nove traços de concreto celular contendo casca do arroz e diferentes porcentagens e comprimentos de palha e um traço referência contendo apenas casca do arroz. A Figura 8 ilustra as etapas do estudo que foi realizado.

Figura 8- Etapas do estudo realizado



Fonte: Elaboração Própria

Para a obtenção dos compósitos foram necessários os seguintes materiais:

- Cimento Portland CPV-ARI-RS;
- Casca do arroz;
- Palha da planta *Oryza sativa*;
- Espuma (aditivo incorporador de ar);
- Água.

3.2 Materiais

3.2.1 Cimento

Em razão da pouca disponibilidade na cidade de Alegrete-RS de cimento CPV-ARI, o cimento utilizado foi o CPV-ARI-RS, que é um cimento caracterizado pela elevada resistência inicial (ARI) e pela resistência aos sulfatos (RS).

3.2.2 Casca do arroz

A casca do arroz utilizada neste trabalho foi doada pela Cooperativa Agroindustrial de Alegrete Ltda (CAAL). O material foi conservado em ambiente seco e fechado, e não recebeu nenhum tratamento químico ou físico, tendo sido usado de forma inteiramente natural, como ilustra a Figura 9.

Figura 9- Casca do Arroz



Fonte: Elaboração Própria

3.2.3 Palha da planta *Oryza sativa*

A palha da planta *Oryza sativa* foi coletada em campo. A mesma foi mantida em ambiente seco e protegida, sendo utilizada de forma completamente natural sem tratamentos (químico, físico ou de secagem). Para o uso nos compósitos as palhas foram cortadas manualmente em dimensões de 1 cm, 2 cm e 3 cm e empregues em percentuais de 5%, 10% e 15% em substituição à casca do arroz. A Figura 10 ilustra o material.

Figura 10- Palha da planta *Oryza Sativa* (A) Palha em estado natural antes de ser cortada; (B) Palha de 1 cm; (C) Palha de 2 cm; (D) Palha de 3 cm.



(A)



(B)



(C)



(D)

Fonte: Elaboração Própria

3.2.4 Aditivo incorporador de ar

O aditivo incorporador de ar e plastificante utilizado denomina-se ECOAIR – MIX, de origem químico artificial. A recomendação do fabricante é que se utilize 1kg de aditivo a cada 40 litros de água. Com essa proporção produz-se cerca de 550 litros de espuma com uma densidade de 75g/l.

Portanto, para a fabricação da espuma, inicialmente pesa-se a massa de água e adiciona-se o valor correspondente de aditivo. Em seguida, o recipiente que contém a mistura é colocado em uma bancada que se encontra em um nível superior ao do

ECOFOAMER-100W-10BP - equipamento incorporador de espuma- uma vez que o mesmo trabalha utilizando uma bomba hidráulica de recalque, conforme pode ser visto na Figura 11- A.

Figura 11- Incorporador de Espuma (A) Bomba de recalque; (B) Compressor de ar; (C) Registro de liberação do ar já comprimido; (D) Marcador de pressão; (E) Registro utilizado para limpeza: ao ser aberto o líquido não passa pela bomba; (F) Registro de liberação do líquido, seja pela bomba ou não; (G) Caixa de disjuntores, sendo o da direita responsável por ligar o compressor e o da esquerda, responsável por ligar a bomba; (H) União do ar liberado e do líquido; (I) Duto de saída da espuma.



Fonte: PACHLA (2015) – Gerador de Espuma ECOFOAMER-100W-10BP

Após tais etapas, fazendo uso de equipamentos de proteção individual (EPIs) como óculos de proteção, luvas e jaleco, o compressor de ar (Figura 11-B) deve ser acionado. Feito isso, aguarda-se até que o medidor de pressão (Figura 11-D) marque mais de 80 libras, então um dos operadores deve abrir o registro para que o líquido bombeado pela bomba seja liberado (Figura 11-F), e na sequência abre-se o registro que libera a pressão (Figura 11-C), a qual chegará até o duto que transporta o composto líquido (Figura 11-H), gerando a espuma.

A seguir, a bomba (Figura 11-A) precisa ser ligada, e outro operador deve segurar a mangueira que se encaixa no duto (Figura 11-I) por onde a espuma irá sair, uma vez que a mesma se projeta para fora da mangueira com muita pressão, causando grande agitação. A Figura 12 ilustra o estado final da espuma após todos estes processos.

Figura 12- Espuma pronta



Fonte: Elaboração Própria

3.3 Métodos experimentais

3.3.1 Definição dos traços

A dosagem de referência baseou-se no traço de melhor desempenho acústico desenvolvido no trabalho precedente intitulado “Desenvolvimento de compósitos de concreto celular e casca do arroz: Caracterização física, mecânica e acústica”, de Pachla (2015). A partir deste foram mantidos todos os parâmetros para os demais traços, sendo realizada apenas a substituição de parte da casca do arroz por palha de arroz em seus diferentes comprimentos e percentuais.

Os traços estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5-Traços utilizados

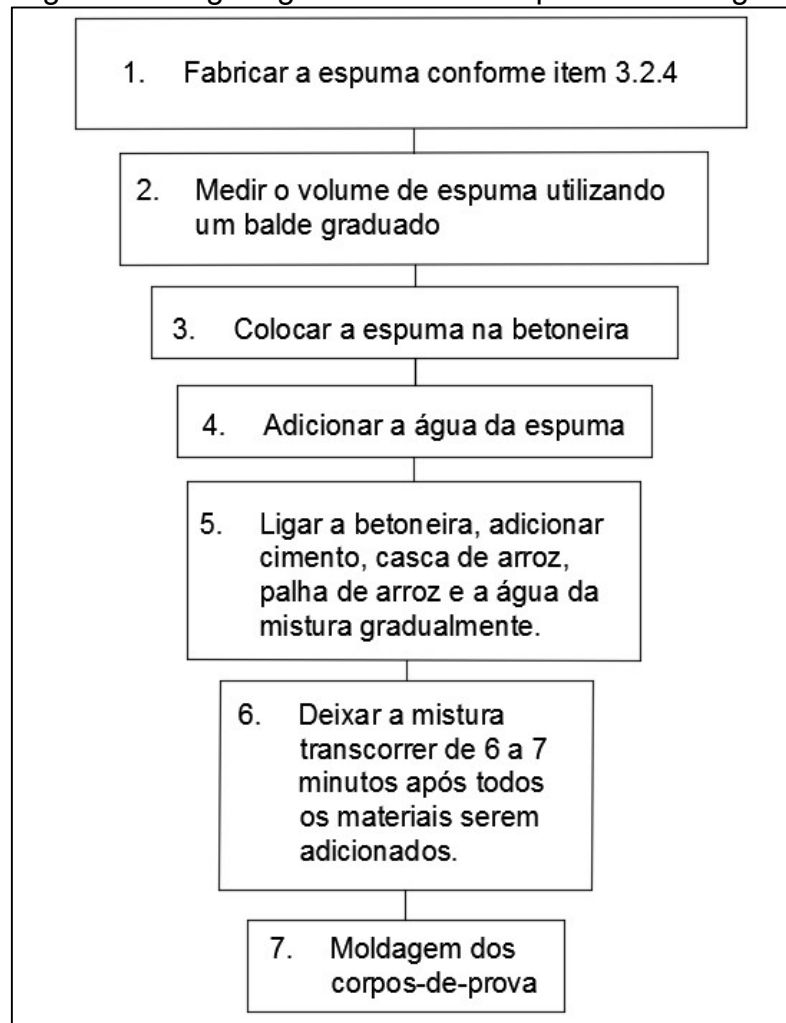
TRAÇO	Cimento (kg)	Casca (l)	Palha (l)	Água na Mistura (l)	Espuma (l)	Água na Espuma (l)	Fator a/c
Traço Referência	1	0,3500	-	0,4	2,8	0,1	0,5
Traço 5.1 - 5%- 1 cm	1	0,3325	0,0175	0,4	2,8	0,1	0,5
Traço 5.2 - 5% - 2 cm	1	0,3325	0,0175	0,4	2,8	0,1	0,5
Traço 5.3 - 5% - 3 cm	1	0,3325	0,0175	0,4	2,8	0,1	0,5
Traço 10.1 - 10% - 1 cm	1	0,3150	0,0350	0,4	2,8	0,1	0,5
Traço 10.2 - 10% - 2 cm	1	0,3150	0,0350	0,4	2,8	0,1	0,5
Traço 10.3 - 10% - 3 cm	1	0,3150	0,0350	0,4	2,8	0,1	0,5
Traço 15.1 - 15% - 1 cm	1	0,2975	0,0525	0,4	2,8	0,1	0,5
Traço 15.2 - 15% - 2 cm	1	0,2975	0,0525	0,4	2,8	0,1	0,5
Traço 15.3 - 15% - 3 cm	1	0,2975	0,0525	0,4	2,8	0,1	0,5

Fonte: Elaboração Própria

3.3.2 Método de mistura

As concretagens foram realizadas conforme a metodologia de mistura apresentada pelos procedimentos das Figuras 13 e 14.

Figura 13- Organograma de mistura para concretagem



Fonte: Elaboração própria

Figura 14- Procedimento de Mistura – (A) Preparação dos materiais; (B) Palha e Casca cortadas nos tamanhos que serão utilizados; (C) Espuma pronta; (D) Colocação da espuma na betoneira; (E) Água sobre a espuma; (F) Colocação das fibras na betoneira; (G) Colocação do cimento na betoneira; (H) Aparência final do material.



Fonte: Elaboração Própria

3.3.3 Moldagem dos corpos de prova

Previamente às concretagens, os corpos-de-prova receberam uma demão de desmoldante, para facilitar o desmolde evitando a aderência entre o concreto e a fôrma. As Figuras 15, 16, 17 e 18 ilustram o procedimento.

Figura 15- Preparação corpos de prova



Fonte: PACHLA (2015)

Figura 16- Preparação dos CP's cilíndricos 10x20 cm para ensaio de Resistência à compressão



Fonte: Elaboração Própria

Figura 17-Preparação dos CP's prismáticos 4x4x16 cm para ensaio de Resistência à tração



Fonte: Elaboração Própria

Figura 18- Preparação dos CP's cilíndricos 2,9x5 cm para o ensaio de Isolamento acústico



Fonte: Elaboração Própria

Foram moldados para cada um dos traços três corpos-de-prova prismáticos com 4x4x16 cm, para o ensaio de Resistência à tração na flexão em três pontos, além de seis corpos de prova cilíndricos, sendo três CP's de 20x10 cm para o ensaio de

Resistência à compressão axial simples e três CP's de 2,9x5 cm para os ensaios de Isolamento acústico na faixa de frequência de 500 Hz a 6300 Hz. Para a faixa de frequência de 50 Hz a 1600 Hz foram extraídas amostras de 5 cm de espessura e 10 cm de diâmetro a partir de placas de dimensão 28x28x5 cm.

O concreto foi retirado da betoneira com o auxílio de um recipiente de tamanho inferior e então lançado nas fôrmas até que as preenchesse completamente, sem nenhum tipo de adensamento. Os corpos-de-prova foram armazenados e curados em temperatura ambiente.

3.3.3 Determinação da massa específica no estado fresco e endurecido

A massa específica dos compósitos no estado fresco foi realizada ao término do processo de mistura, e no estado endurecido foi avaliada aos 28 dias de cura.

A determinação no estado fresco foi feita com base na NBR 12644 (ABNT,2014), e o concreto aerado foi depositado em um recipiente graduado até atingir o volume pré-definido de 1 (um) litro, e posteriormente pesado. A densidade fresca é a relação destes dois valores, conforme consta na Equação 1.

No estado endurecido, o volume foi calculado com base no diâmetro e altura de cada uma das amostras obtidas com o auxílio de um paquímetro, e a pesagem foi feita por uma balança de precisão. O cálculo também será feito utilizando a Equação 1.

$$d = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Em que:

- d = Densidade do material em g/cm³;
- m = Massa do material em gramas;
- V = Volume do material em cm³.

A Figura 19 ilustra o procedimento de aferição da massa específica no estado fresco.

Figura 19-Massa específica no estado fresco



Fonte: Elaboração Própria

3.3.4 Ensaio de resistência à compressão axial

A resistência à compressão axial foi determinada em conformidade com a NBR 13440 (ABNT, 2013), utilizando-se a máquina de ensaio universal da marca EMIC com capacidade para 200 kN. As amostras foram deixadas em uma estufa a uma temperatura de 65 °C durante 24 horas, a fim de equalizar variações de umidade, uma vez que os corpos de prova foram curados em temperatura ambiente. Foram ensaiadas três amostras representativas de cada traço aos 28 dias de cura. A Figura 20 ilustra o equipamento utilizado para ensaio.

Figura 20- Máquina de Ensaio Universal



Fonte: Elaboração Própria

3.3.5 Ensaio de resistência à tração na flexão em três pontos

A resistência à tração foi determinada segundo a NBR 12142 (ABNT, 2010) utilizando-se a máquina de ensaio universal SHIMADZU AGS-X 5 kN com 0,01 N de exatidão e o método de tração na flexão em três pontos. De maneira semelhante ao ensaio de compressão, também foram ensaiadas um total de três amostras de cada traço aos 28 dias de cura e realizada a uniformização da umidade através de uma estufa a uma temperatura de 65 °C durante um período de 24 horas. A Figura 21 ilustra a máquina de ensaio universal utilizada.

Figura 21-Máquina de Ensaio Universal



Fonte: Elaboração Própria

3.3.6 Ensaio de isolamento acústico

Os ensaios de isolamento acústico foram realizados em um tubo de impedância a partir dos 56 dias de cura e, após a uniformização da umidade, foram utilizadas amostras com 10 cm de diâmetro e 5 cm de altura e amostras de 2,9 cm de diâmetro e 5 cm de altura. Devido a dificuldade de se encontrar normas brasileiras que tratam do assunto, o procedimento de ensaio baseou-se na ISO 10534-1 (1996).

Foram ensaiadas seis amostras (três de cada dimensão) de cada um dos traços para a faixa de frequência de 50 Hz a 1600 Hz e seis amostras de 500 Hz a 6300 Hz.

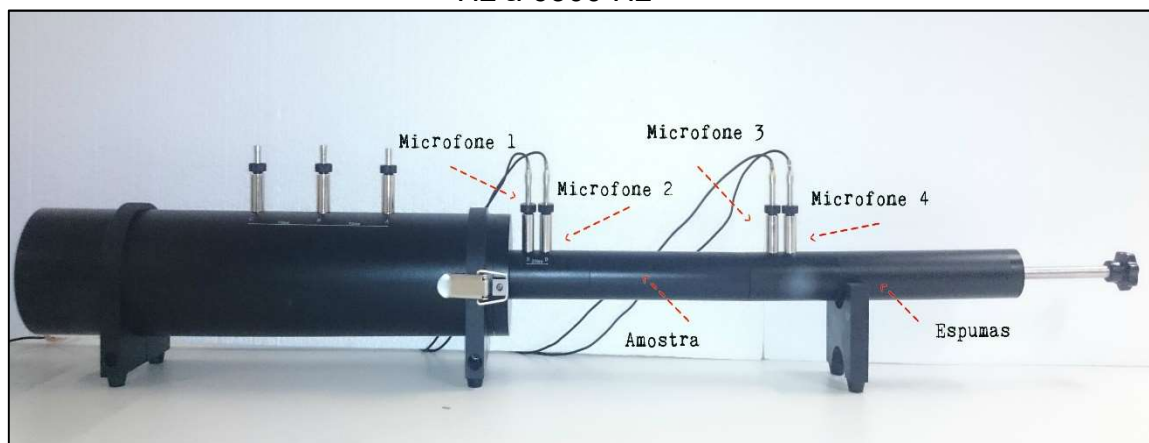
Figura 22 - Equipamento instalado



Fonte: PACHLA (2015)

O equipamento gera um ruído branco, produzido através da combinação de sons de todas as frequências, o qual é amplificado e lançado dentro do tubo por um autofalante. Em seguida, os microfones 1 e 2 fazem a primeira leitura, então a onda colide com a amostra e a parcela de ruído que atravessa o obstáculo é lido pelos dois últimos microfones. Ao final do tubo, conforme apresenta as Figuras 23, 24 e 25, são encaixadas espumas com a finalidade de absorver os ruídos residuais, impedindo desta maneira que os microfones 3 e 4 (últimos microfones) façam a leitura do som refletido. A vedação é de suma importância, e foi realizada com silicone, pois em caso de falhas no procedimento o ruído não colidirá com a amostra, e apresentará valores de isolamento perto do zero.

Figura 23- Tubo de impedância para ensaio de isolamento com frequência de 500 Hz a 6300 Hz



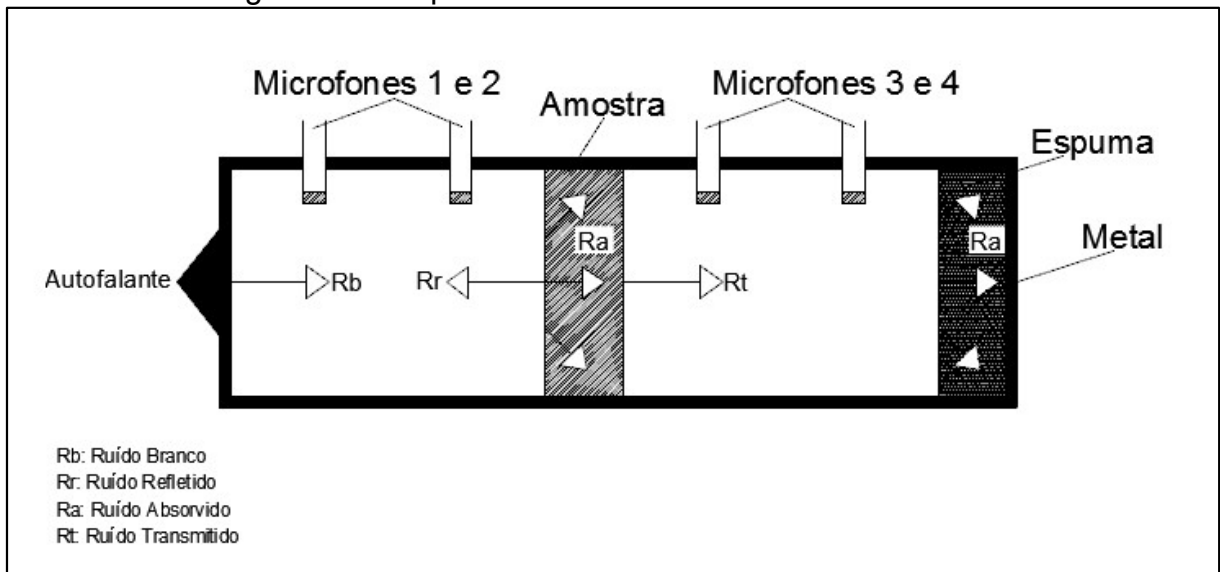
Fonte: Elaboração Própria

Figura 24-Encaixe da espuma no tubo de impedância



Fonte: PACHLA (2015, p.30)

Figura 25 - Esquema do ensaio de isolamento acústico



Fonte: PACHLA (2015, p.34)

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Determinação da massa específica dos compósitos no estado fresco e no estado endurecido

Com o objetivo de possibilitar a reprodução adequada dos compósitos, de forma que se assegure que as propriedades posteriormente reproduzidas e as estudadas neste trabalho sejam semelhantes, e comprovar que realmente tratava-se de compósitos de concreto leve, foram aferidas as massas específicas no estado fresco para cada um dos traços. Para reprodução dos compósitos, a verificação deve ser feita com base na comparação da massa específica no estado fresco com a apresentada pela Tabela 6. Em caso de divergência as devidas correções precisam ser feitas, uma vez que alterações na massa específica implicam em resultados mecânicos e acústicos diferentes. Para valores inferiores aos apresentados deve-se adicionar cimento, já para valores superiores, espuma.

Tabela 6- Massa específica no estado fresco

Traço	Massa específica (kg/m³)
Traço 1 - Referência	786,00
Traço 2 - 5% 1 cm	825,00
Traço 3 - 5% 2 cm	790,60
Traço 4 - 5% 3 cm	817,00
Traço 5 - 10% 1 cm	789,20
Traço 6 - 10% 2 cm	798,20
Traço 7 - 10% 3 cm	774,80
Traço 8 - 15% 1 cm	779,90
Traço 9 - 15% 2 cm	798,70
Traço 10 - 15% 3 cm	815,00
C.V. (%)	2,10

Fonte: Elaboração Própria

De maneira semelhante, foram determinadas as massas específicas dos compósitos no estado endurecido aos 28 dias de cura, sendo os valores apresentados pela Tabela 7, valores médios, provenientes do tratamento estatístico de três amostras representativas de cada um dos traços.

Tabela 7- Massa específica média no estado endurecido

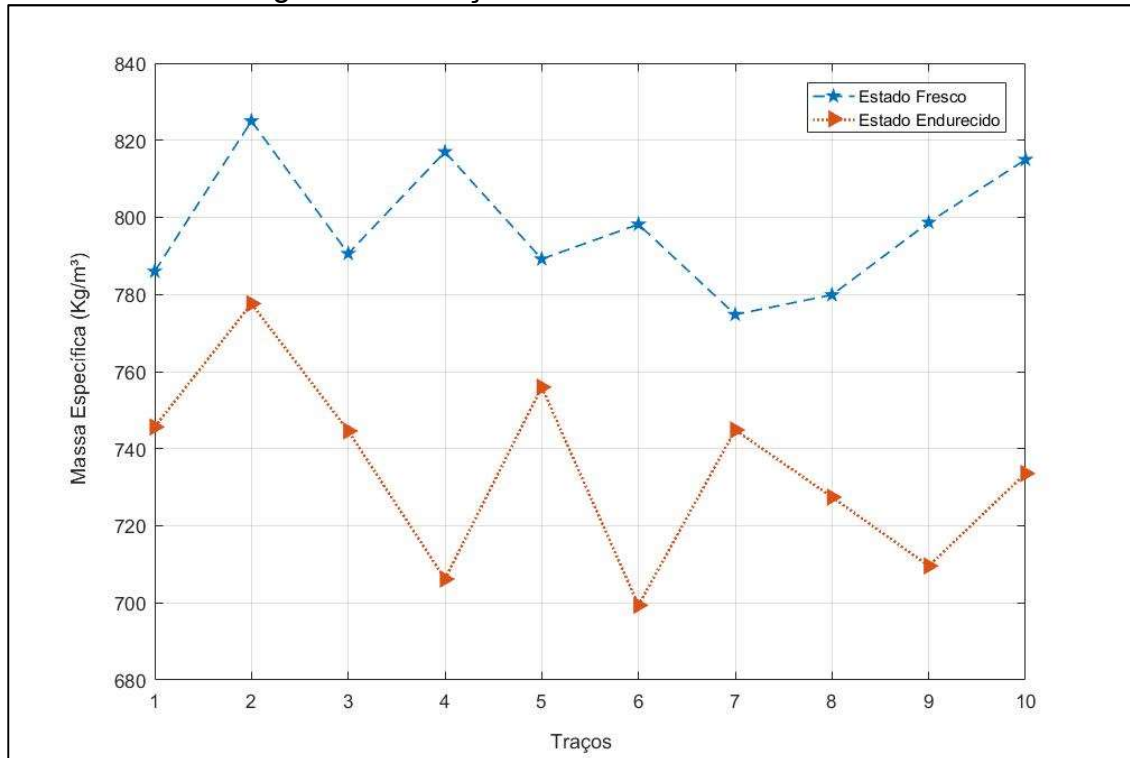
Traço	Massa específica no estado endurecido (kg/m ³)	Desvio Padrão	Variância	C.V. (%)
Traço 1 - Referência	745,64	16,02	2,57E+02	2,15
Traço 2 - 5% 1 cm	777,64	58,97	3,48E+03	7,58
Traço 3 - 5% 2 cm	744,06	12,50	1,56E+02	1,68
Traço 4 - 5% 3 cm	706,19	18,50	3,42E+02	2,62
Traço 5 - 10% 1 cm	755,97	8,04	6,47E+01	1,06
Traço 6 - 10% 2 cm	699,38	14,86	2,21E+02	2,12
Traço 7 - 10% 3 cm	744,86	10,29	1,06E+02	1,38
Traço 8 - 15% 1 cm	727,44	22,26	4,95E+02	3,06
Traço 9 - 15% 2 cm	709,59	20,39	4,16E+02	2,87
Traço 10 - 15% 3 cm	733,58	10,72	1,15E+02	1,46
C.V. Geral (%)	3,32			

Fonte: Elaboração Própria

Com base na Tabela 7, ficou claro que os compósitos se enquadram nos concretos do tipo leve, uma vez que apresentam massa específica tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, bem inferior ao estipulado em norma (NBR 8953/2015), que é de 2000 Kg/m³. Embora o ideal seja que os compósitos não apresentem variações na massa específica, tais diferenças se justificam devido a dificuldade de reprodução exata em decorrência das variações climáticas durante a etapa de concretagem, uma vez que a espuma utilizada para a fabricação dos compósitos tem seu volume influenciado pela temperatura ambiente e tais alterações podem conferir mais ou menos poros ao material. Além disso, como pode ser visto na Tabela 7, o coeficiente de variação geral encontrado foi de apenas 3,32%, sendo considerado um C.V. baixo, segundo a classificação de Pimentel Gomes (1985), e todos os demais coeficientes também se encontram abaixo de 10%, o que confere uma maior confiabilidade aos dados.

A Figura 26 ilustra a relação entre as massas específicas no estado fresco e no estado endurecido.

Figura 26- Relação entre a MEF e a MEE



Fonte: Elaboração Própria

Com base na Figura 26, nota-se que em todos os traços houve uma redução de massa específica com a cura dos compósitos, isto é, a massa específica no estado fresco foi maior que a massa específica no estado endurecido.

4.2 Ensaio de Resistência à Compressão Axial

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão axial aos vinte e oito dias de cura são apresentados pela Tabela 8 e pelas Figura 27, 29, 30 e 31. Estes valores também são provenientes do tratamento estatístico de três amostras representativas de cada um dos traços, os demais valores correspondentes a cada um dos corpos-de-prova encontram-se em Anexo.

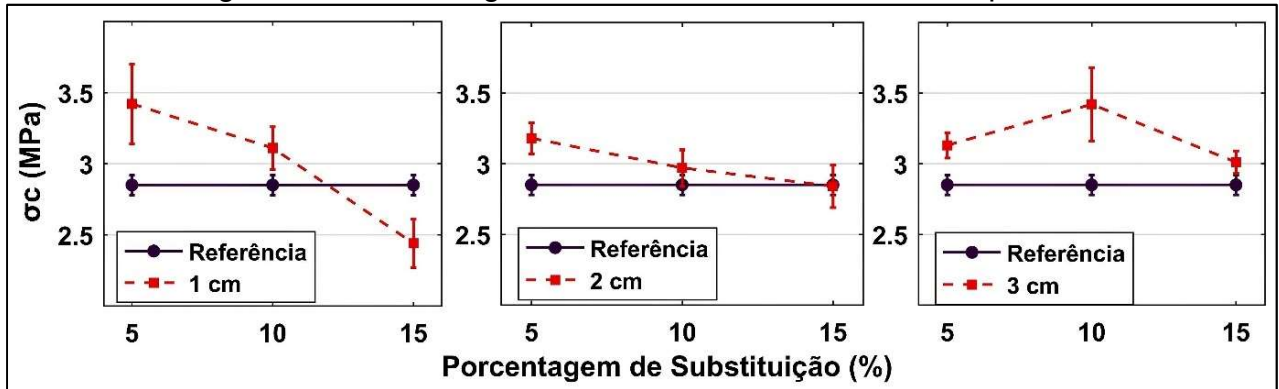
Tabela 8- Resistência média à Compressão aos 28 dias de cura

Traço	Resistência média à compressão aos 28 dias de cura (MPa)	Desvio Padrão	C.V. (%)
Traço 1- Referência	2,85	0,07	2,46
Traço 2 - 5% - 1cm	3,42	0,28	8,16
Traço 3 - 5% - 2cm	3,18	0,11	3,54
Traço 4 - 5% - 3cm	3,13	0,09	2,79
Traço 5 - 10% - 1cm	3,11	0,15	4,71
Traço 6 - 10% - 2cm	2,97	0,13	4,28
Traço 7 - 10% - 3cm	3,42	0,26	7,57
Traço 8 - 15% - 1cm	2,44	0,17	6,80
Traço 9 - 15% - 2cm	2,84	0,15	5,22
Traço 10 - 15% - 3cm	3,01	0,08	2,64

Fonte: Elaboração Própria

Analisando a Tabela 8 pode-se verificar que todos os C.V.'s se encontram abaixo de 10%, demonstrando a baixa dispersão dos dados. Uma outra observação a ser feita é em relação ao traço referência, Pachla (2015) encontrou aos 28 dias de cura uma resistência à compressão de 1,82 MPa e massa específica de 729,36 kg/m³. Comparando-se tais valores com os apresentados pela Tabela 7 e pela Tabela 8, correspondentes aos valores reproduzidos no presente trabalho, é possível observar que tanto a massa específica quanto a resistência à compressão axial são um pouco superiores. Tais diferenças podem estar relacionadas a diversos fatores como: a diferença entre os cimentos utilizados, o fato de ter sido empregue no atual trabalho a cura em forno a 65 graus por um período de 24 horas antes de se realizar o ensaio mecânico dos compósitos e, também o método escolhido para polir e nivelar a superfície dos corpos-de-prova. No trabalho precedente o equipamento utilizado foi uma retífica, já no presente trabalho, optou-se pelo uso de serra circular.

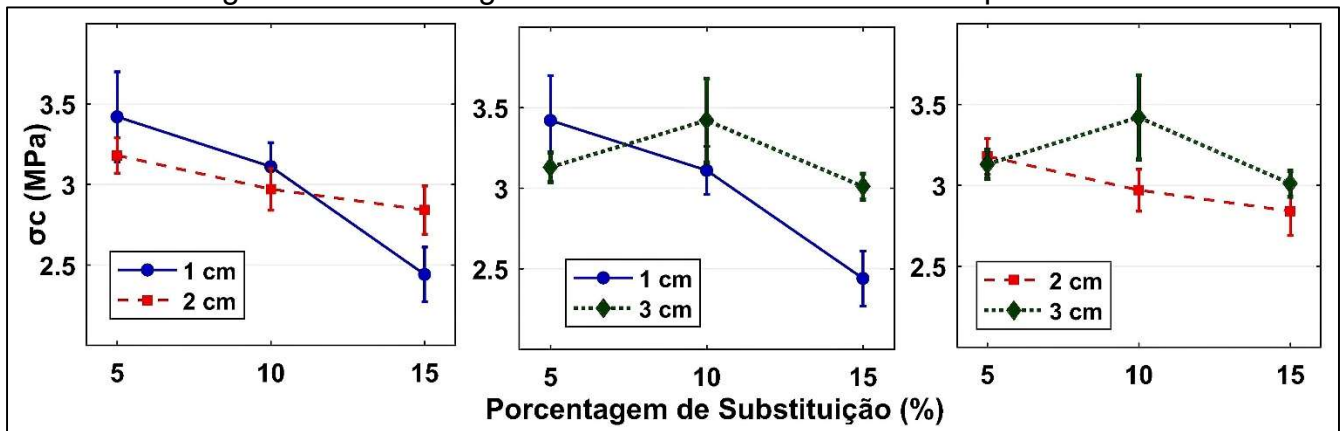
Figura 27 - Porcentagem de Palha X Resistência à Compressão



Fonte: Elaboração Própria

Com base na Figura 27, verifica-se que em praticamente todos os pontos analisados os compósitos foram superiores ao traço referência, com exceção do traço com 1 cm de comprimento e 15% de substituição e os traços que não apresentaram resultados conclusivos devido a coincidência das barras de erro. Isto deixa evidente a melhora da resistência à compressão do material com a combinação das fibras da planta *Oryza sativa*.

Figura 28- Porcentagem de Palha X Resistência à Compressão



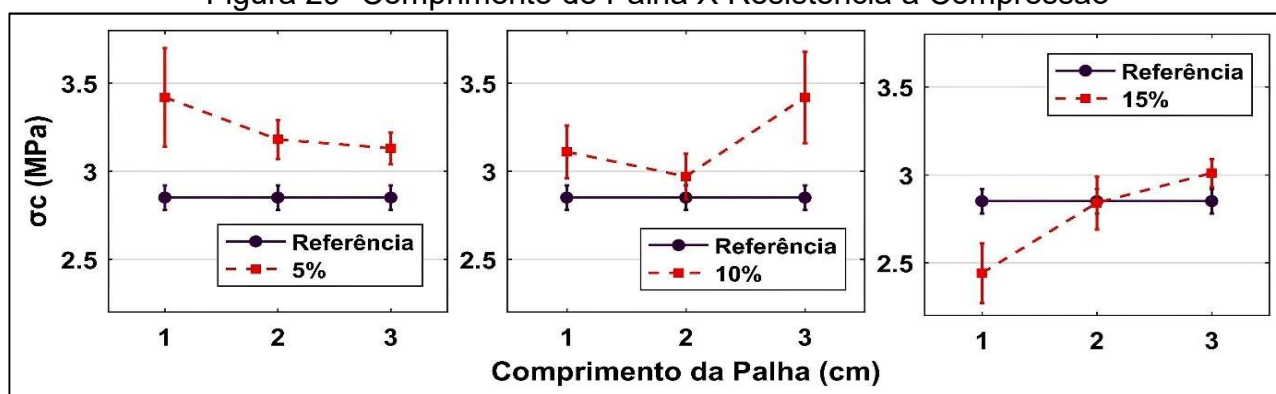
Fonte: Elaboração Própria

Analisando por sua vez a Figura 28, onde os comprimentos foram divididos de dois em dois para facilitar o entendimento dos valores encontrados, fica evidente que a dimensão da palha não teve grande influência nos resultados, uma vez que ao compararem-se os comprimentos, devido a sobreposição das barras de erro, é possível concluir apenas que cada um deles foi superior ao outro em somente um ponto, não sendo suficiente para garantir que existe um comprimento de melhor desempenho.

De maneira semelhante, ao observar-se as Figuras 29, 30 e 31, podemos concluir que a porcentagem de substituição teve grande influência no desempenho mecânico dos compósitos no que diz respeito à compressão axial, pois quanto menor foi o volume de

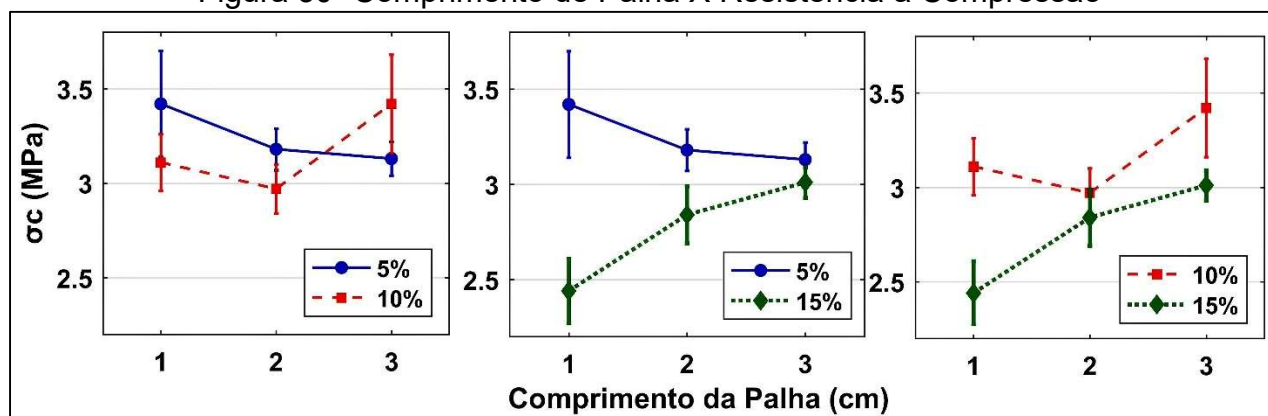
palha adicionado ao material, maior foi a resistência alcançada. Isso se deve ao fato de que, quando se incorporou menor quantidade de palha ao material, menores pontos frágeis foram formados, logo uma maior resistência foi obtida. Comparando-se as porcentagens de 5% e 10%, e 10% e 15% esta diferença não é muito significativa, pois a diferença de volume é mínima, mas analisando-se os traços com 5% de substituição em relação aos traços com 15% de substituição esta diferença é bem perceptível. Desta forma, a melhor porcentagem de substituição para a resistência à compressão axial dos compósitos foi 5%. Ademais, apenas um dos pontos analisados foi inferior ao traço referência.

Figura 29- Comprimento de Palha X Resistência à Compressão



Fonte: Elaboração Própria

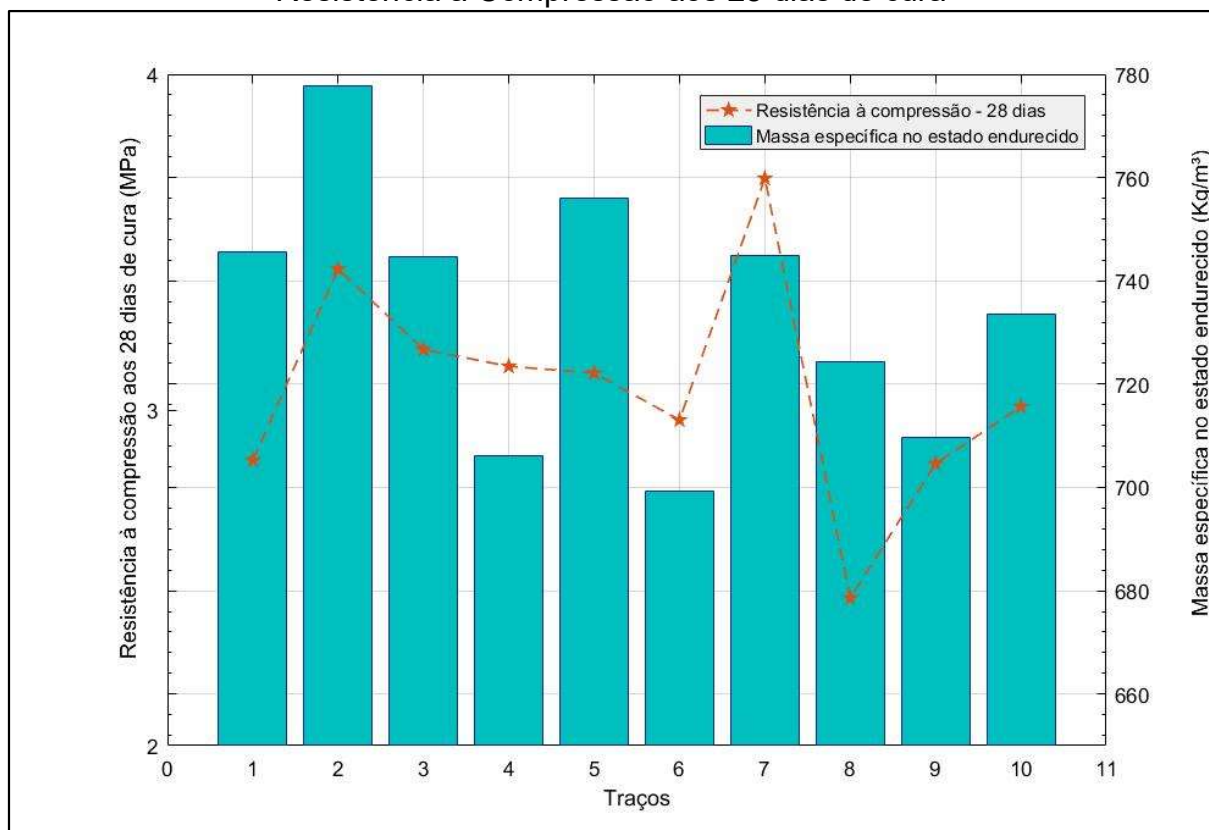
Figura 30- Comprimento de Palha X Resistência à Compressão



Fonte: Elaboração Própria

A Figura 31 mostra a relação entre a massa específica no estado endurecido e a resistência à compressão aos 28 dias de cura.

Figura 31- Relação entre a massa específica média no estado endurecido e a Resistência à Compressão aos 28 dias de cura



Fonte: Elaboração Própria

Conforme mostra a Figura 31, a relação entre a massa específica e a resistência à compressão axial não se mostrou linear, uma vez que o traço de maior massa específica no estado endurecido não apresentou a maior resistência à compressão, bem como o traço de menor resistência não apresentou a menor massa específica. Ademais, fazendo-se uma comparação entre os traços 8 e 9, nota-se que o traço 8 apresenta massa específica maior que o traço 9, porém menor resistência à compressão.

Em conformidade com as análises anteriores, uma vez que a massa específica dos compósitos apresentou baixo coeficiente de variação e não há linearidade entre a resistência à compressão axial e a massa específica, constata-se que a densidade não é um fator determinante no desempenho mecânico no que diz respeito a resistência à compressão axial dos compósitos.

4.3 Ensaio de Resistência à Tração na Flexão em três pontos

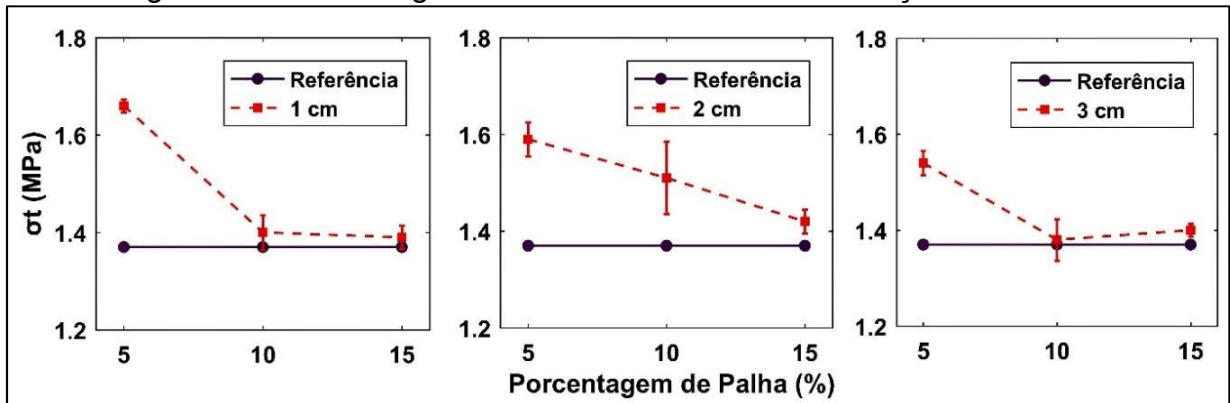
Os valores de resistência à tração na flexão em três pontos no estado endurecido aos 28 dias de cura são apresentados pela Tabela 9 e pelas Figuras 32, 33, 34 e 35.

Tabela 9 - Resistência média à Tração aos 28 dias de cura

Traço	Resistência média à tração na flexão aos 28 dias de cura (MPa)	Desvio Padrão	C.V. (%)
Traço 1-Referência	1,37	0,0087	0,63
Traço 2 - 5% - 1cm	1,66	0,0131	0,79
Traço 3 - 5% - 2cm	1,59	0,0349	2,20
Traço 4 - 5% - 3cm	1,54	0,0254	1,65
Traço 5 - 10% - 1cm	1,40	0,0355	2,54
Traço 6 - 10% - 2cm	1,51	0,0748	4,96
Traço 7 - 10% - 3cm	1,38	0,0432	2,47
Traço 8 - 15% - 1cm	1,39	0,0239	1,72
Traço 9 - 15% - 2cm	1,42	0,0246	1,73
Traço 10 - 15% - 3cm	1,40	0,0134	0,79

Fonte: Elaboração Própria

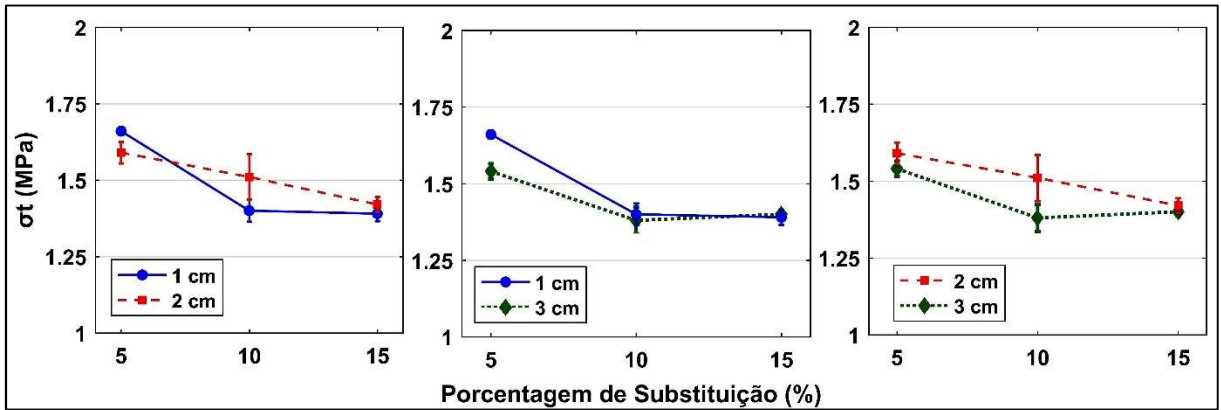
Figura 32 - Porcentagem de Palha X Resistência à Tração na Flexão



Fonte: Elaboração Própria

Analisando primeiramente os compósitos quanto aos comprimentos utilizados através da Figura 32, verifica-se que todos os pontos apresentaram resultados superiores ao traço referência, apesar de haver em alguns deles a sobreposição das barras de erro.

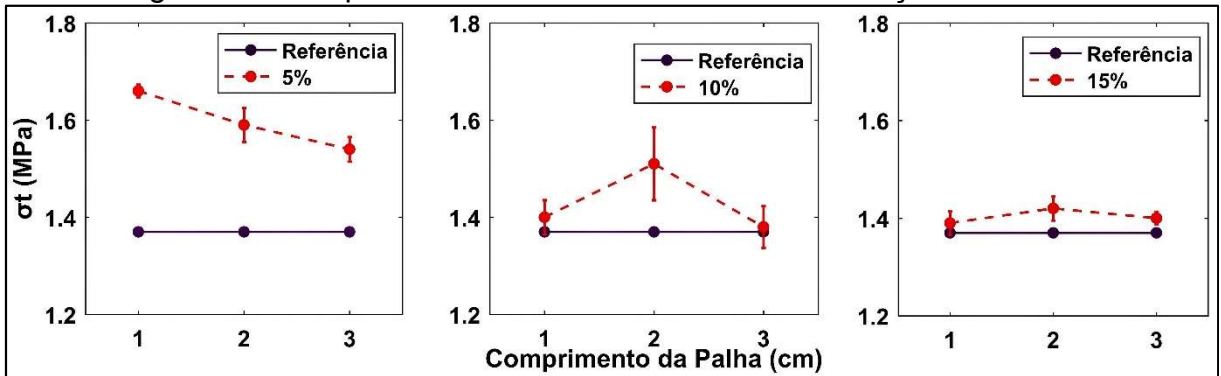
Figura 33- Porcentagem de Palha X Resistência à Tração na Flexão



Fonte: Elaboração Própria

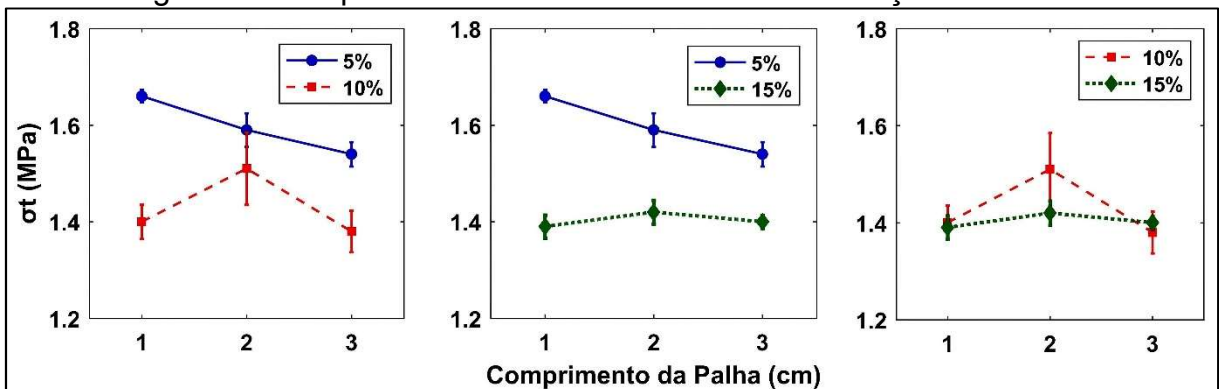
Porém, observa-se pela Figura 33 que de maneira equivalente ao que foi encontrado para a resistência à compressão, para a resistência à tração na flexão em três pontos, fica evidente que os comprimentos também não tiveram influência nos resultados, uma vez que cada um deles mostrou-se superior em apenas um ponto.

Figura 34- Comprimento de Palha X Resistência à Tração na Flexão



Fonte: Elaboração Própria

Figura 35- Comprimento de Palha X Resistência à Tração na Flexão



Fonte: Elaboração Própria

De maneira semelhante, analisando as Figura 34 e 35, percebe-se que os compósitos com 5% de substituição obtiveram resultados significativamente melhores em relação aos demais com substituição de 10 e 15% em todos os pontos, e com exceção dos resultados que apresentaram coincidência da barra de erro, todos os valores foram superiores ao traço referência. Fazendo-se ainda uma comparação entre os traços com 5% de substituição, verifica-se que o comprimento de 1 cm teve maior resistência que o de 2 cm, que por sua vez teve maior resistência que o de 3 cm; o que se justifica pelo fato de que para um mesmo volume o menor comprimento apresentará um maior número de palhas e conseqüentemente, mais pontos da matriz serão reforçados, logo o compósito apresentará uma resistência maior que os demais. Além disso, todos os compósitos apresentaram melhor desempenho que o concreto celular estudado por Melo (2009) (Tabela 2).

Esse aumento na resistência à tração dos compósitos, após a adição da palha, justifica-se pela interação fibra-matriz existente, a qual exerce um trabalho síncrono de transferência de esforços devido a aderência entre elas.

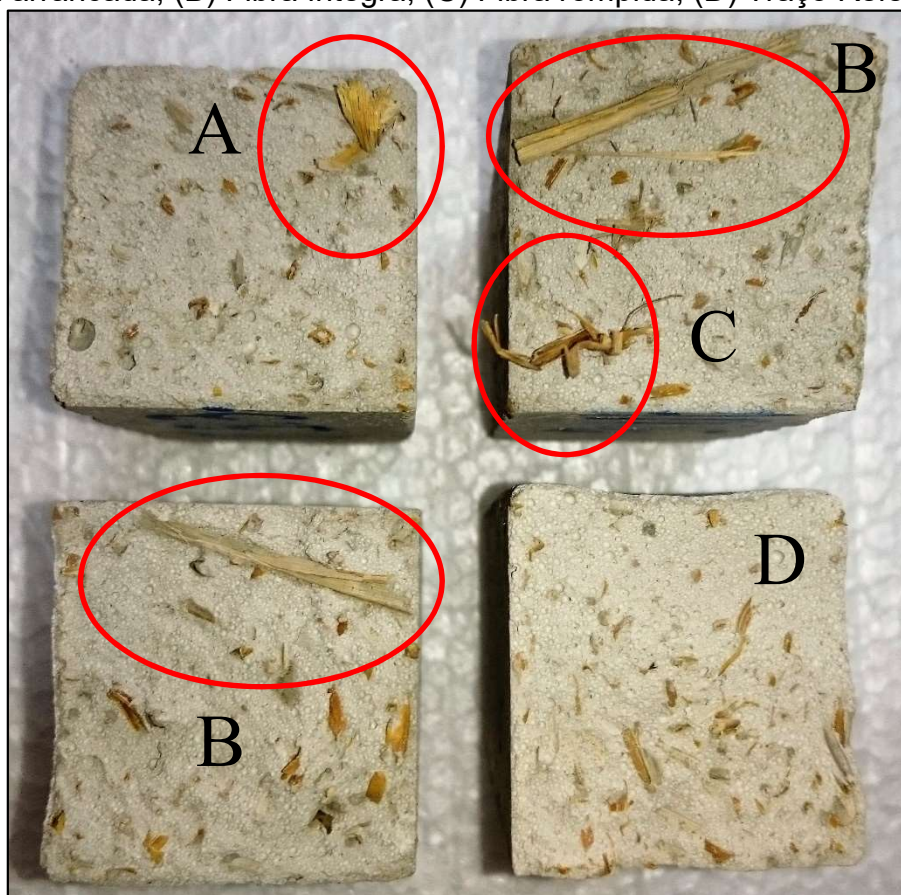
As Figuras 36 e 37 ilustram corpos-de-prova prismáticos utilizados para os ensaios de resistência à tração na flexão após seu rompimento.

Figura 36-Amostra prismática após rompimento no ensaio de Tração na Flexão



Fonte: Elaboração Própria

Figura 37-Amostra prismática após rompimento no ensaio de Tração na Flexão – (A) Fibra arrancada; (B) Fibra íntegra; (C) Fibra rompida; (D) Traço Referência

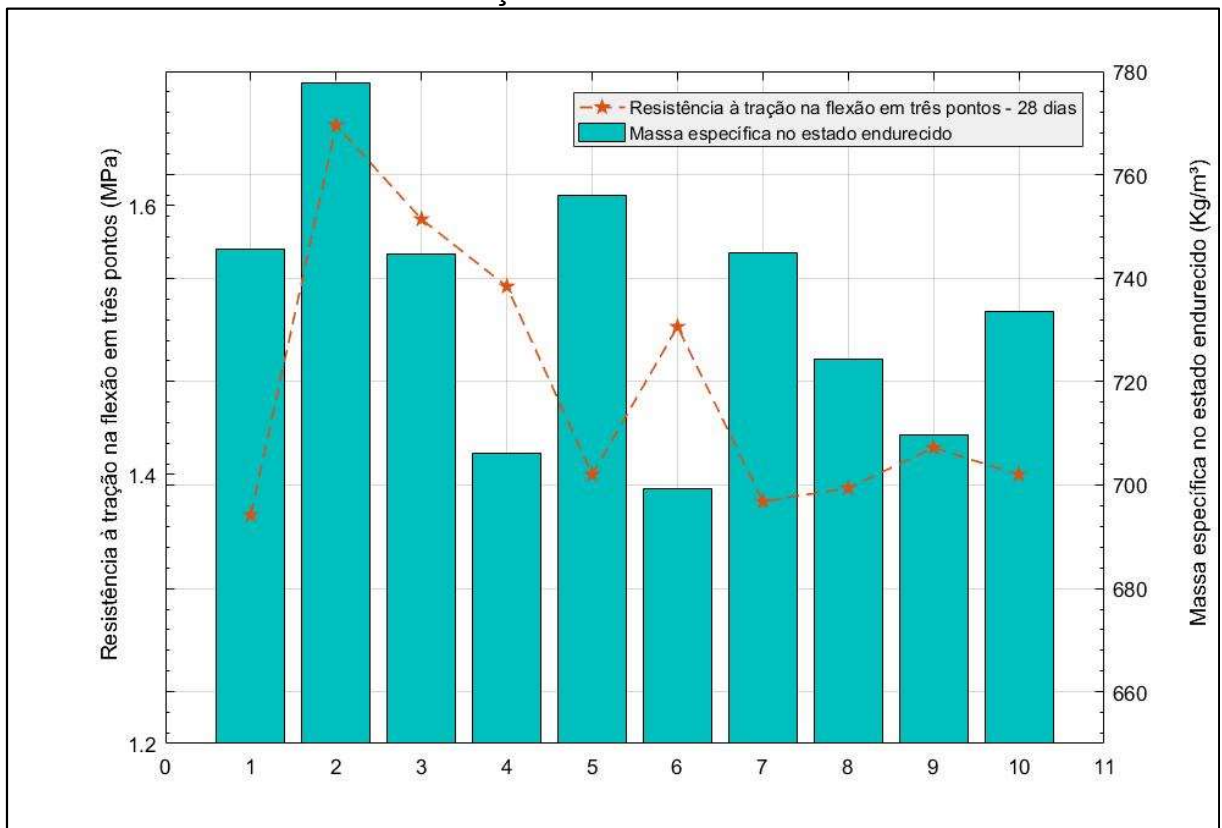


Fonte: Elaboração Própria

A partir dessas amostras é possível observar que algumas fibras de palha foram arrancadas da parte interna da matriz (Figura 36 e Figura 37- A), outras foram rompidas (Figura 37-C) ou ficaram íntegras (Figura 37-B), de acordo com a forma que foram distribuídas na matriz, isto é, sua posição (vertical, horizontal, inclinada). Além do mais, com base na Figura 37, observa-se a variação de distribuição das palhas no interior da matriz de um composto em relação ao outro, onde cada uma das amostras apresentou uma quantidade diferente de palha em seu interior. Tais diferenças, seja ela de disposição ou quantidade, tornam cada composto único e influenciam o seu desempenho.

A Figura 38 mostra a relação entre a massa específica no estado endurecido e a resistência à tração na flexão em três pontos.

Figura 38-Relação entre a massa específica média no estado endurecido e a Resistência à Tração na flexão aos 28 dias de cura



Fonte: Elaboração Própria

De acordo com a Figura 38, percebe-se que assim como na resistência à compressão, não houve relação direta entre a massa específica e a resistência à tração dos compósitos.

4.4 Ensaio de Isolamento Acústico

A Tabela 10 apresenta os valores de isolamento acústico encontrados para cada um dos traços na faixa de frequência de 50 Hz a 6300 Hz. Os dados de isolamento acústico de forma integral constam no Anexo 4.

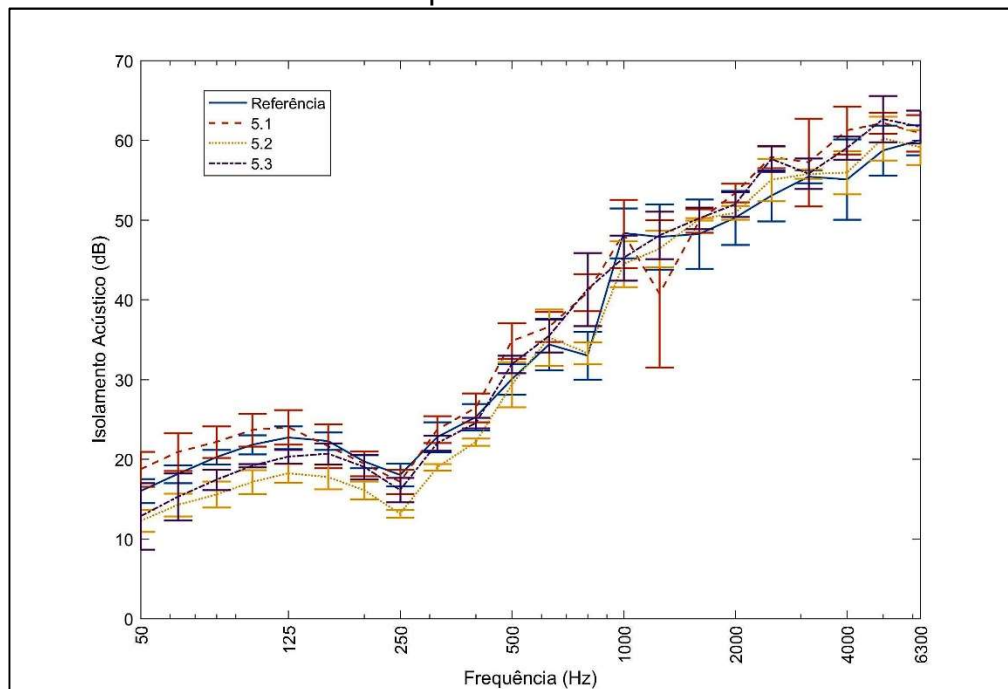
Tabela 10- Isolamento acústico dos compósitos

Frequência (Hz)	Isolamento (dB)									
	Referência	5% - 1 cm	5% - 2 cm	5% - 3cm	10% - 1cm	10% - 2cm	10% - 3cm	15% - 1cm	15% - 2cm	15% - 3cm
50	16,00	18,73	12,26	12,84	14,42	16,09	21,41	18,75	17,19	12,39
63	18,14	20,89	14,26	15,27	15,89	17,35	23,18	20,53	18,93	14,50
80	20,25	22,16	15,57	17,41	17,66	18,43	24,36	22,04	19,91	16,29
100	21,81	23,66	17,13	19,18	18,07	19,42	25,38	23,14	20,86	17,58
125	22,71	24,00	18,22	20,31	18,16	19,78	25,79	23,88	21,94	18,89
160	22,27	21,63	17,75	20,68	17,50	19,08	24,65	22,87	22,11	19,27
200	19,70	19,42	16,10	19,02	16,62	17,85	20,54	19,77	19,89	17,72
250	18,02	17,16	13,16	16,12	14,39	15,21	17,45	17,08	16,09	14,82
315	22,77	23,72	18,99	22,01	20,56	21,18	24,08	24,03	21,86	20,59
400	25,28	26,44	22,15	24,54	23,68	24,02	27,21	26,80	24,64	23,76
500	30,02	34,82	29,35	31,91	37,24	40,31	34,07	33,99	33,37	31,12
630	34,38	36,60	35,26	35,46	31,73	36,00	31,66	32,06	30,27	32,65
800	32,99	40,90	33,29	41,31	37,78	39,60	36,21	39,41	34,91	37,81
1000	48,35	48,28	44,47	45,25	43,59	44,66	41,03	44,69	35,61	41,95
1250	47,88	40,75	46,40	48,08	46,14	43,84	42,58	48,04	41,52	42,45
1600	48,24	49,90	50,09	50,21	48,52	47,51	46,87	48,49	46,02	47,41
2000	50,29	53,39	50,90	51,97	52,70	52,16	51,91	53,11	48,34	55,82
2500	53,04	57,91	55,04	57,65	55,61	52,27	56,44	54,92	52,18	58,84
3150	55,43	57,23	55,77	55,81	58,47	59,58	63,58	58,28	54,72	56,80
4000	55,08	61,25	55,94	59,04	59,76	55,60	58,68	57,99	58,86	59,67
5000	58,72	62,17	60,23	62,66	60,62	58,01	59,66	59,22	57,71	59,51
6300	60,02	60,89	59,12	61,68	59,26	57,63	59,41	59,45	57,60	58,55

Fonte: Elaboração Própria

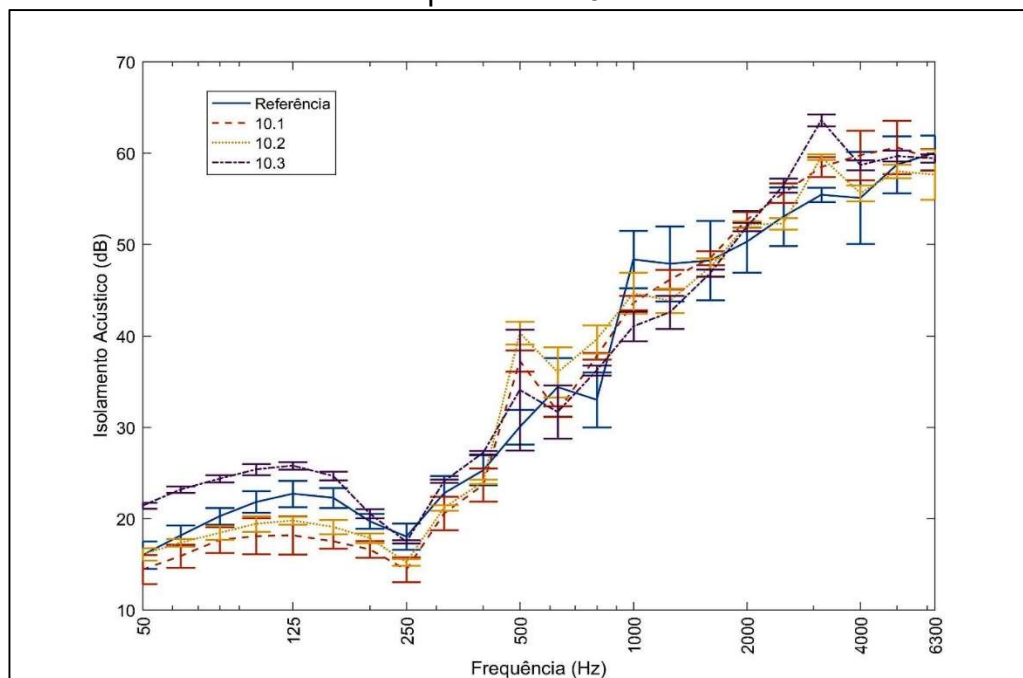
A fim de fazer uma análise mais adequada foram traçados seis gráficos, um para cada porcentagem de palha, estudado com e sem as barras de erro, conforme apresentado pelas Figuras 39, 40, 41, 42, 43 e 44.

Figura 39- Frequência X Isolamento Acústico dos compósitos com substituição de palha em 5%



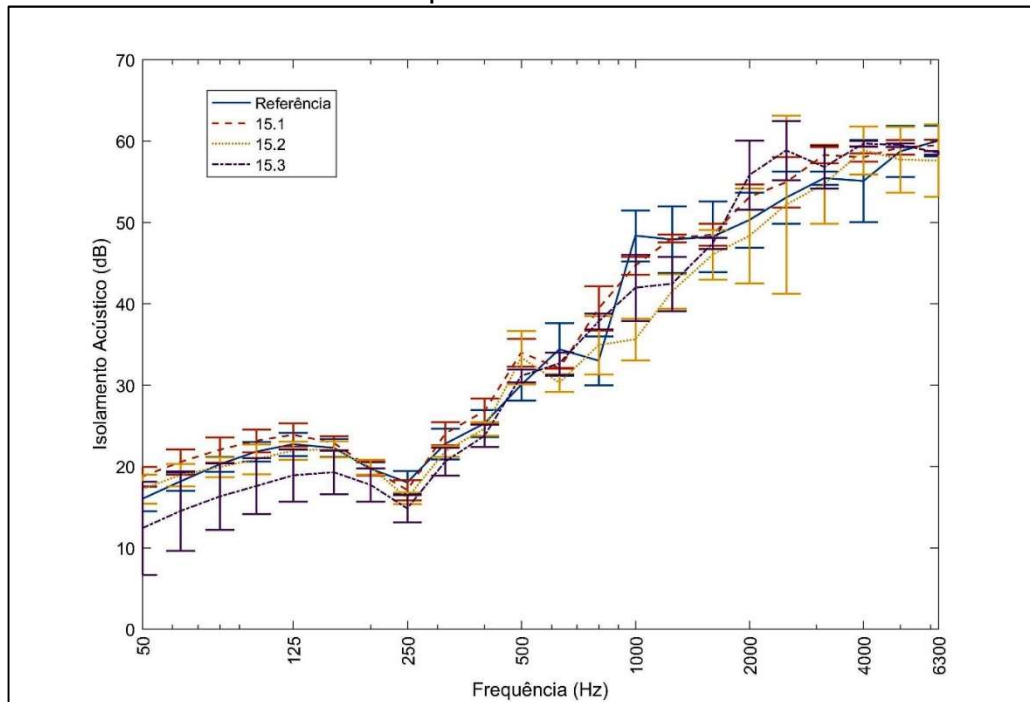
Fonte: Elaboração Própria

Figura 40- Frequência X Isolamento Acústico dos compósitos com substituição de palha em 10%



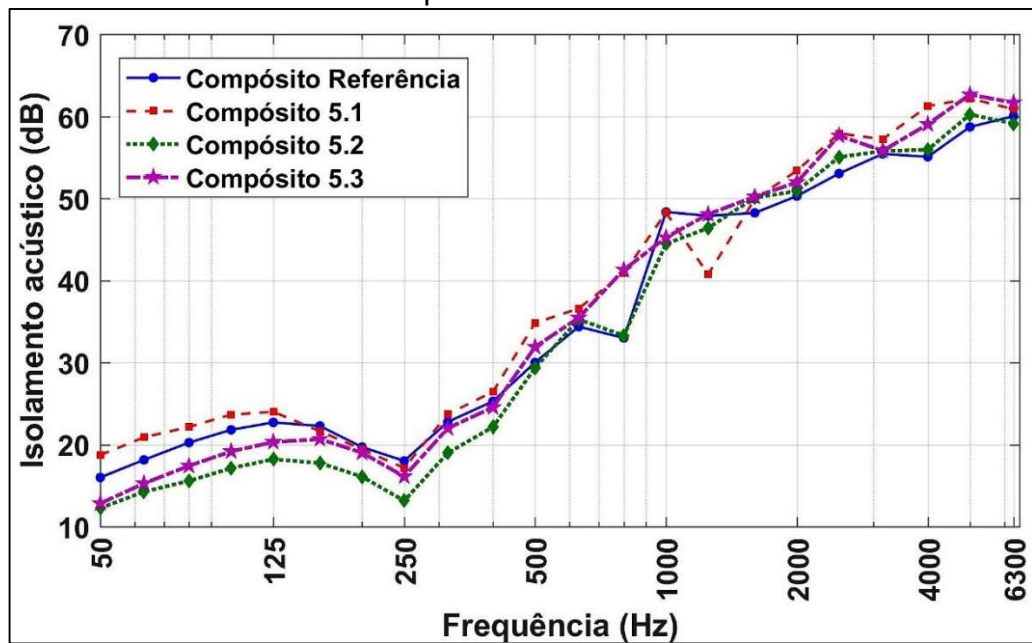
Fonte: Elaboração Própria

Figura 41- Frequência X Isolamento Acústico dos compósitos com substituição de palha em 15%



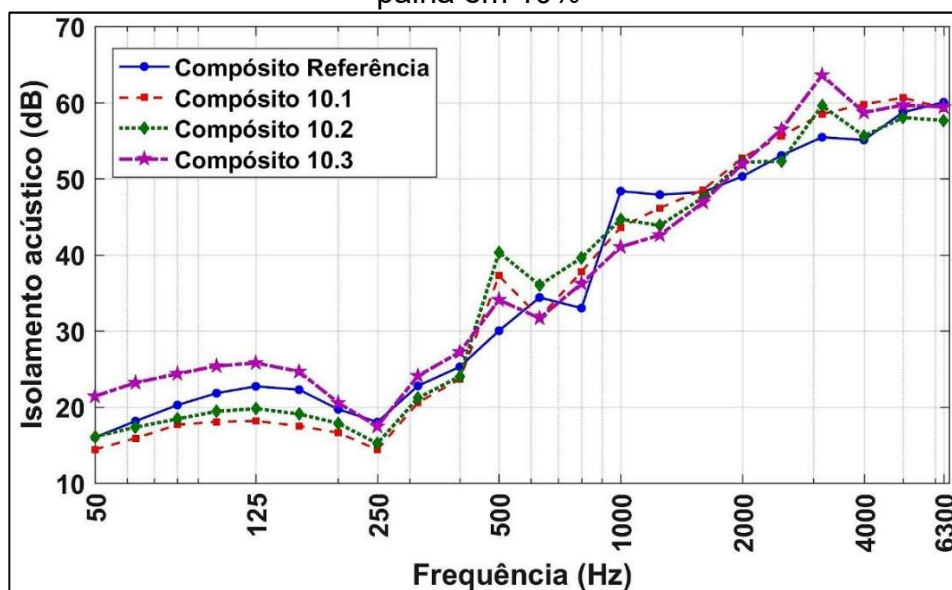
Fonte: Elaboração Própria

Figura 42- Frequência X Isolamento Acústico dos compósitos com substituição de palha em 5%



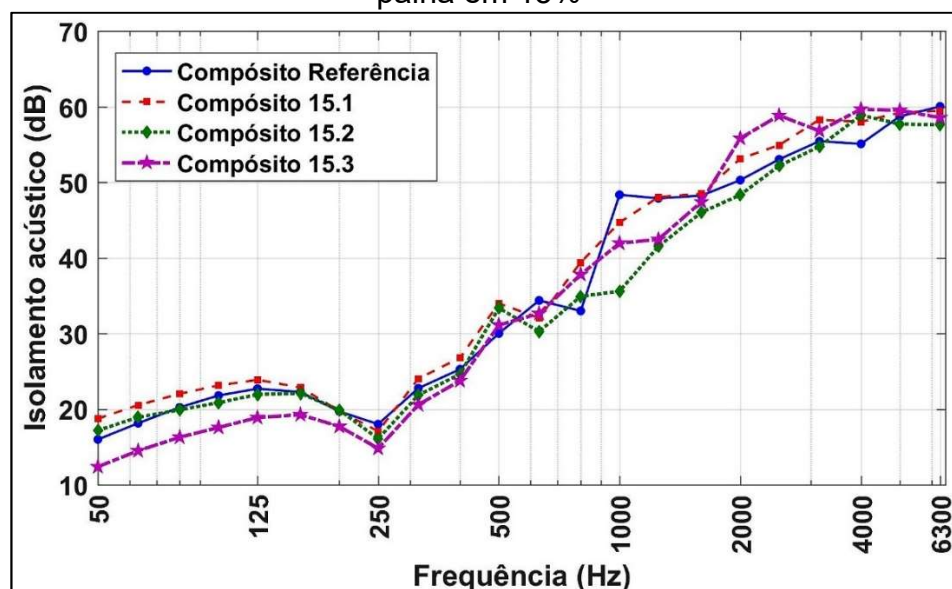
Fonte: Elaboração Própria

Figura 43-Frequência X Isolamento Acústico dos compósitos com substituição de palha em 10%



Fonte: Elaboração Própria

Figura 44-Frequência X Isolamento Acústico dos compósitos com substituição de palha em 15%



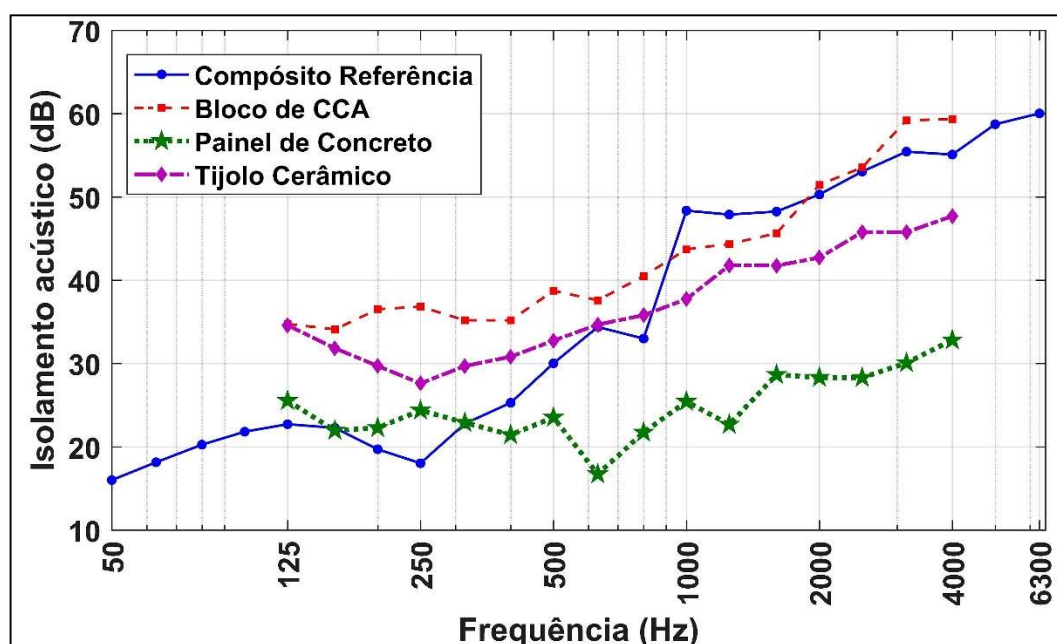
Fonte: Elaboração Própria

Analisando as Figuras 39, 40, 41, 42, 43 e 44, nota-se que as curvas seguiram uma mesma tendência, isto é, foram muito semelhantes ao próprio traço referência. Além disso, nos gráficos com as barras de erro é perceptível que as mesmas sobrepuseram-se, impossibilitando afirmar que um compósito teve desempenho superior ao outro. Neste caso, não foi possível afirmar qual entre os traços analisados obteve melhor desempenho frente ao isolamento acústico. Isto possivelmente ocorreu em decorrência da escala utilizada para as amostras, as quais foram fixadas em

função do equipamento de ensaio utilizado. Uma vez que a palha da planta *Oryza sativa* é uma fibra vegetal de pequena espessura e foi utilizada em pequenos comprimentos depositados aleatoriamente na matriz, porventura, a quantidade de fibras presente nas amostras não tenha sido suficiente para gerar alterações significativas em relação ao traço referência que contém adição apenas de fibras de casca de arroz. Entretanto, comparando-se os compósitos analisados com os materiais apresentados pela NBR 12179 (1992) para uma frequência de 500 Hz, todos apresentaram desempenho superior ao vidro, as chapas ocas de gesso, as chapas “soft-board” e ao tijolo furado. É importante ressaltar que estes materiais e os demais, com desempenho superior ao dos compósitos, apresentam espessuras bem superiores às amostras ensaiadas.

A Figura 45 mostra uma análise comparativa entre o compósito referência e os materiais estudados por Garcia (2004).

Figura 45-Análise comparativa entre o compósito referência e os materiais estudados por Garcia (2004)



Fonte: Elaboração Própria

Contrapondo os valores de isolamento acústico do compósito de referência estudado com os resultados do bloco de concreto celular autoclavado, painel de concreto e tijolo cerâmico, avaliados por Garcia (2004), percebe-se que para as frequências mais baixas, os três mostraram desempenho superior, já para as frequências mais altas, o comportamento do compósito de referência foi superior ao tijolo e ao painel de concreto em diversos pontos e ao CCA em quatro pontos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusões

As conclusões alcançadas no trabalho foram as seguintes:

- A combinação das fibras da casca do arroz e da palha da planta *Oryza sativa* aumenta o desempenho mecânico dos compósitos de concreto celular espumoso, tanto à compressão axial quanto à tração na flexão em três pontos;
- No que diz respeito a resistência à compressão axial e à tração na flexão em três pontos, comprovou-se que a dimensão da palha não influenciou no desempenho dos compósitos e que a melhor porcentagem de substituição é de 5%;
- A densidade não foi um fator determinante no desempenho mecânico dos compósitos, visto sua pequena variabilidade.
- Em comparação com outros materiais comumente utilizados para vedação de ambientes os compósitos apresentaram desempenho acústico superior ou semelhante. Nos casos em que foi inferior, havia a variável da espessura da amostra como influência;
- Não foi possível determinar o traço de melhor desempenho frente ao isolamento acústico, pois as amostras não foram representativas;
- Para determinar a influência da palha no isolamento acústico, as amostras devem ter tamanho superior e não é indicado o uso de tubo de impedância para a realização dos ensaios.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

Para dar sequência na caracterização do material em estudo, são sugeridos os seguintes tópicos:

- Investigar a porosidade dos compósitos e correlacionar os dados obtidos com os resultados de isolamento acústico;
- Fazer as mesmas análises utilizando a palha saturada;
- Realizar os ensaios com os mesmos procedimentos da pesquisa em questão, porém com diferentes comprimentos de palha;
- Realizar os ensaios de isolamento acústico com outra metodologia, com amostras de diferentes espessuras e elaborar uma equação com base nesse fator, possibilitando projetar o material em função do desempenho almejado;
- Analisar outras características da palha como: fator de forma e orientação das fibras, as quais também influem no desempenho dos compósitos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Edificações Habitacionais — Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais.** Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 8953: Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência.** Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 12644: Concreto celular espumoso – Determinação da densidade de massa aparente no estado fresco.** Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 12645: Execução de Paredes em Concreto Celular Espumoso Moldadas no Local.** Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 12646: Execução de Paredes em Concreto Celular Espumoso Moldadas no Local.** Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 13438: Blocos de concreto celular autoclavado — Requisitos.** Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 13440: Blocos de concreto celular autoclavado — Métodos de ensaio.** Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 14956: Execução de alvenaria sem função estrutural — Parte 1 e 2.** Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 12179: Tratamento acústico em recintos fechados – Procedimento.** Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 12142: Concreto — Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos.** Rio de Janeiro, 2010.

BENTUR, A.; MINDESS. S. **Fibre reinforced cementitious composites.** Taylor & Francis Group, Londres, 2007.

CARNIO, M. A. **Concreto Projetado Reforçado com Fibras aplicado no revestimento de encostas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Pontifícia Universidade Católica (PUC), São Paulo, 2009.

ECOPORE. **Manual do Usuário – Gerador de Espuma ECOFOAMER-100W-10BP.**

ECOPORE. **ECOFOAM – Aditivo Espumante para Concreto Celular.** Disponível em: <<http://www.ecopore.com.br/ecofoam/>> Acesso em: 06 de setembro de 2016, 23:11.

FERREIRA, O. A. R. **Concretos celulares espumosos.** Boletim técnico da escola politécnica da USP. São Paulo, 1987.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto com fibras de aço**. Boletim técnico da escola politécnica da USP. São Paulo, 2000.

FILHO, F. J. T.; TEZUKA, Y. **Considerações sobre algumas propriedades dos concretos celulares espumosos**. Boletim técnico da escola politécnica da USP. São Paulo, 1992.

FLACH, F. **Investigação do potencial de absorção de compósitos de argamassa com materiais reciclados**. 2012. 56 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo-RS, 2012.

FREITAS, I. M. **Otimização da Produção e de Propriedades Físicas e Mecânicas de Concreto Celular Espumoso**. 2004. 185f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2004.

GARCIA, D. - **Análise do Isolamento Sonoro de Sistemas Construtivos Residenciais Estruturados em Aço**. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

GERGES, S. N. Y. **Ruído: Fundamentos e Controle**. 3ed. Florianópolis: NR Editora, 2000.

GREVEN, E. A.; FAGUNDES, H. A. V.; EINSFELDT, A. A. **ABC do conforto acústico**. Rio de Janeiro: Knaulf, 2006.

HALPIN, D. W.; WOODHEAD, R. W. **Administração da construção civil**. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

HOFF, G. C. **New Application of low-density concretes**. In: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI). Lightweight concrete. Detroit, 1971. (SP-29).

KAWABATA, C. Y. **Aproveitamento de cinzas da queima de resíduos agroindustriais na produção de compósitos fibrosos e concreto leve para a construção rural**. 2008. 49f. Tese (Doutorado em Zootecnia). Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2008.

KILEING, A.G. **Influência da segregação no desempenho de cinzas de casca de arroz como pozolanas e como material adsorvente**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, 2009.

LEGATSKI, L.M. Cellular concrete. In: AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Significance of tests and properties of concrete and concrete-marking materials**. Philadelphia, 1978.

LIMA, C.I.V.; COUTINHO, C.O.D.; AZEVEDO, G.G.C.; BARROS, T.Y.G.; TAUBER, T.C.; LIMA, S.F. **Concreto e suas inovações**. Cadernos de Graduação. Faculdade Integrada Tiradentes (FITS), Maceió - AL, 2014.

MELO, G.F. **Concreto celular polimérico: Influência da adição de resíduo de poliéster insaturado termofixo**. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de materiais). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

MEHTA, P. K; MONTEIRO, P. J. **Evolução em tecnologia do concreto. Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008.

PACHLA, E.C. **Desenvolvimento de compósitos de concreto celular e casca de arroz: caracterização física, mecânica e acústica**. 2015. 1 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), Alegrete-RS, 2015.

PAULESKI, D. T. **Características de compósitos manufacturados com polietileno de alta densidade (PEAD) e diferentes proporções de casca de arroz e partículas de madeira**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria- RS, 2005.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. Piracicaba-São Paulo, 1985. ESALQ/USP.

PONTES, B.R.B. **Preparação e caracterização de termoplásticos a partir de amido de arroz**. 2012. 27 f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade de São Paulo, São Carlos- SP, 2012.

RIBAS, R. A. J. **Método para avaliação do desempenho térmico e acústico de edificações aplicado em painéis de fechamento industrializados**. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia). Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Ouro Preto, 2013.

ROSSIGNOLO, J.A. **Concreto leve estrutural**. São Paulo: PINI, 2009.

RUCCATI, E. G.; KAISER, V.H. **Produção e disponibilidade do arroz por região brasileira**. Instituto Riograndense do arroz. Rio Grande do Sul, Brasil, 2004.

SAVASTANO Jr., H. **Materiais a base de cimento reforçados com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo**. Tese (Livre docência). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

SILVA, A. C.; JOHN, W. M. **Compósitos reforçados com fibras de celulose (CRFC): aspectos relativos à durabilidade**. Boletim técnico da escola politécnica da USP. São Paulo, 2003.

SOUDAIS, P.R.N. **Estudo da aderência entre o concreto celular e as barras de aço**. 2014. 42f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Estadual Paulista (UNESP), Ilha Solteira, 2014.

TOLÊDO FILHO, R. D.; SCRIVENER, K.; ENGLAND, G. L.; GHAVAMI, K. **Durability of alkali-sensitive sisal and coconut fibres in cement mortar composites**. Cement & Concrete Composites, 2000.

ZUCCO, L.L. **Estudo da viabilidade de fabricação de placas de compósitos à base de cimento e casca de arroz.** 1999. 21 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Campinas-SP, 199.

ANEXOS

ANEXO 1

Tabela 11- Massas específicas no estado endurecido

Traço Referência	CP	Massa (g)	Altura (cm)	Volume (cm ³)	Massa Esp. (Kg/m ³)
	1	1148,30	19,20	1507,96	761,49
2	1082,80	18,90	1484,40	729,45	
3	1072,20	18,30	1437,28	745,99	
Média				745,64	
Desvio Padrão				16,02	
Variância				2,57E+02	
C.V (%)				2,15	
Traço 5.1	CP	Massa (g)	Altura (cm)	Volume (cm ³)	Massa Esp. (Kg/m ³)
	1	1179,70	18,80	1476,55	798,96
2	1044,20	18,70	1468,69	710,97	
3	1176,40	18,20	1429,42	822,99	
Média				777,64	
Desvio Padrão				58,97	
Variância				3,48E+03	
C.V (%)				7,58	
Traço 5.2	CP	Massa (g)	Altura (cm)	Volume (cm ³)	Massa Esp. (Kg/m ³)
	1	1140,80	19,50	1531,53	744,88
2	1152,10	19,40	1523,67	756,13	
3	1131,30	19,70	1547,23	731,18	
Média				744,06	
Desvio Padrão				12,50	
Variância				1,56E+02	
C.V (%)				1,68	
Traço 5.3	CP	Massa (g)	Altura (cm)	Volume (cm ³)	Massa Esp. (Kg/m ³)
	1	1042,20	19,25	1511,89	689,34
2	1091,90	19,15	1504,04	725,98	
3	1079,80	19,55	1535,45	703,25	
Média				706,19	
Desvio Padrão				18,50	
Variância				3,42E+02	
C.V (%)				2,62	

Continuação Tabela 11

	CP	Massa (g)	Altura (cm)	Volume (cm ³)	Massa Esp. (Kg/m ³)	
Traço 10.1	1	1114,50	19,00	1492,26	746,86	
	2	1137,20	19,00	1492,26	762,07	
	3	1180,30	19,80	1555,09	758,99	
	Média					755,97
	Desvio Padrão					8,04
	Variância					6,47E+01
	C.V (%)					1,06
Traço 10.2	CP	Massa (g)	Altura (cm)	Volume (cm ³)	Massa Esp. (Kg/m ³)	
	1	1049,20	19,50	1531,53	685,07	
	2	1044,10	18,60	1460,84	714,73	
	3	1014,70	18,50	1452,99	698,35	
	Média					699,38
	Desvio Padrão					14,86
	Variância					2,21E+02
C.V (%)					2,12	
Traço 10.3	CP	Massa (g)	Altura (cm)	Volume (cm ³)	Massa Esp. (Kg/m ³)	
	1	1137,30	19,45	1527,60	744,50	
	2	1139,00	19,20	1507,96	755,32	
	3	1125,30	19,50	1531,53	734,76	
	Média					744,86
	Desvio Padrão					10,29
	Variância					1,06E+02
C.V (%)					1,38	
Traço 15.1	CP	Massa (g)	Altura (cm)	Volume (cm ³)	Massa Esp. (Kg/m ³)	
	1	1122,00	19,60	1539,38	728,86	
	2	1158,80	19,70	1547,23	748,95	
	3	1084,50	19,60	1539,38	704,50	
	Média					727,44
	Desvio Padrão					22,26
	Variância					4,95E+02
C.V (%)					3,06	

Continuação Tabela 11

Traço 15.2	CP	Massa (g)	Altura (cm)	Volume (cm ³)	Massa Esp. (Kg/m ³)
	1	1142,10	19,90	1562,94	730,74
	2	1109,30	19,95	1566,87	707,97
	3	1043,30	19,25	1511,89	690,06
Média					709,59
Desvio Padrão					20,39
Variância					4,16E+02
C.V (%)					2,87
Traço 15.3	CP	Massa (g)	Altura (cm)	Volume (cm ³)	Massa Esp. (Kg/m ³)
	1	1106,80	19,40	1523,67	726,40
	2	1095,50	18,70	1468,69	745,90
	3	1087,00	19,00	1492,26	728,43
Média					733,58
Desvio Padrão					10,72
Variância					1,15E+02
C.V (%)					1,46

Fonte: Elaboração própria

ANEXO 2

Tabela 12-Resistências à compressão axial

Traço Referência	CP	Massa (g)	Altura (cm)	Volume (cm ³)	Tensão (MPa)
	1	1148,30	19,20	1507,96	2,88
	2	1082,80	18,90	1484,40	2,77
	3	1072,20	18,30	1437,28	2,90
Média					2,85
Desvio Padrão					0,07
Variância					4,90E-03
C.V (%)					2,46
Traço 5.1	CP	Massa (g)	Altura (cm)	Volume (cm ³)	Tensão (MPa)
	1	1179,70	18,80	1476,55	3,67
	2	1044,20	18,70	1468,69	3,12
	3	1176,40	18,20	1429,42	3,48
Média					3,42
Desvio Padrão					0,28
Variância					7,80E-02
C.V (%)					8,16

Continuação Tabela 12

	CP	Massa (g)	Altura (cm)	Volume (cm ³)	Tensão (MPa)	
Traço 5.2	1	1140,80	19,50	1531,53	3,31	
	2	1152,10	19,40	1523,67	3,12	
	3	1131,30	19,70	1547,23	3,11	
	Média					3,18
	Desvio Padrão					0,11
	Variância					1,27E-02
	C.V (%)					3,54
Traço 5.3	1	1042,20	19,25	1511,89	3,09	
	2	1091,90	19,15	1504,04	3,23	
	3	1079,80	19,55	1535,45	3,07	
	Média					3,13
	Desvio Padrão					0,09
	Variância					7,60E-03
	C.V (%)					2,79
Traço 10.1	1	1114,50	19,00	1492,26	2,99	
	2	1137,20	19,00	1492,26	3,27	
	3	1180,30	19,80	1555,09	3,06	
	Média					3,11
	Desvio Padrão					0,15
	Variância					2,14E-02
	C.V (%)					4,71
Traço 10.2	1	1049,20	19,50	1531,53	3,04	
	2	1044,10	18,60	1460,84	2,82	
	3	1014,70	18,50	1452,99	3,04	
	Média					2,97
	Desvio Padrão					0,13
	Variância					1,61E-02
	C.V (%)					4,28
Traço 10.3	1	1137,30	19,45	1527,60	3,31	
	2	1139,00	19,20	1507,96	3,72	
	3	1125,30	19,50	1531,53	3,24	
	Média					3,42
	Desvio Padrão					0,26
	Variância					1,15E-01
	C.V (%)					7,57

Continuação Tabela 12

	CP	Massa (g)	Altura (cm)	Volume (cm ³)	Tensão (MPa)	
Traço 15.1	1	1122,00	19,60	1539,38	2,42	
	2	1158,80	19,70	1547,23	2,62	
	3	1084,50	19,60	1539,38	2,29	
	Média					2,44
	Desvio Padrão					0,17
	Variância					2,76E-02
	C.V (%)					6,80
	CP	Massa (g)	Altura (cm)	Volume (cm ³)	Tensão (MPa)	
Traço 15.2	1	1142,10	19,90	1562,94	2,97	
	2	1109,30	19,95	1566,87	2,88	
	3	1043,30	19,25	1511,89	2,68	
	Média					2,84
	Desvio Padrão					0,15
	Variância					2,20E-02
	C.V (%)					5,22
	CP	Massa (g)	Altura (cm)	Volume (cm ³)	Tensão (MPa)	
Traço 15.3	1	1106,80	19,40	1523,67	3,07	
	2	1095,50	18,70	1468,69	2,92	
	3	1087,00	19,00	1492,26	3,04	
	Média					3,01
	Desvio Padrão					0,08
	Variância					6,30E-03
	C.V (%)					2,64

Fonte: Elaboração própria

ANEXO 3

Tabela 13-Resistências à tração na flexão em três pontos

Traço Referência	CP	Força (N)	Tensão (MPa)
	1	592,27	1,38
	2	588,60	1,38
	3	582,20	1,36
	Média		1,37
	Desvio Padrão		0,0087
	Variância		7,52E-05
C.V (%)		0,63	
Traço 5.1	CP	Força (N)	Tensão (MPa)
	1	710,69	1,67
	2	702,06	1,65
	3	712,57	1,67
	Média		1,66
	Desvio Padrão		0,0131
	Variância		1,72E-04
C.V (%)		0,79	
Traço 5.2	CP	Força (N)	Tensão (MPa)
	1	691,48	1,62
	2	661,62	1,55
	3	679,57	1,59
	Média		1,59
	Desvio Padrão		0,0349
	Variância		1,22E-03
C.V (%)		2,20	
Traço 5.3	CP	Força (N)	Tensão (MPa)
	1	656,95	1,54
	2	669,81	1,57
	3	648,26	1,52
	Média		1,54
	Desvio Padrão		0,0254
	Variância		6,46E-04
C.V (%)		1,65	
Traço 10.1	CP	Força (N)	Tensão (MPa)
	1	593,33	1,39
	2	585,02	1,37
	3	615,02	1,44
	Média		1,40
	Desvio Padrão		0,0355
	Variância		1,26E-03
C.V (%)		2,54	

Continuação Tabela 13

Traço 10.2	CP	Força (N)	Tensão (MPa)
	1	663,75	1,55
	2	661,08	1,55
	3	605,47	1,42
	Média		1,51
	Desvio Padrão		0,0748
	Variância		5,59E-03
	C.V (%)		4,96
Traço 10.3	CP	Força (N)	Tensão (MPa)
	1	572,13	1,34
	2	598,20	1,40
	3	596,28	1,40
	Média		1,38
	Desvio Padrão		0,0432
	Variância		1,16E-03
	C.V (%)		2,47
Traço 15.1	CP	Força (N)	Tensão (MPa)
	1	339,08	1,36
	2	349,96	1,40
	3	360,85	1,39
	Média		1,39
	Desvio Padrão		0,0239
	Variância		5,72E-04
	C.V (%)		1,72
Traço 15.2	CP	Força (N)	Tensão (MPa)
	1	598,72	1,40
	2	605,48	1,42
	3	618,61	1,45
	Média		1,42
	Desvio Padrão		0,0246
	Variância		6,07E-04
	C.V (%)		1,73
Traço 15.3	CP	Força (N)	Tensão (MPa)
	1	603,76	1,42
	2	595,64	1,40
	3	595,37	1,40
	Média		1,40
	Desvio Padrão		0,0134
	Variância		1,24E-04
	C.V (%)		0,79

Fonte: Elaboração própria

ANEXO 4

Tabela 14- Isolamento Acústico Traço Referência

Frequência (Hz)	Isolamento (dB)	Isolamento (dB)	Isolamento (dB)	Isolamento (dB)	Desvio Padrão	C.V. (%)
50,00	14,94	15,37	17,70	16,00	1,49	9,28
63,00	17,71	17,30	19,42	18,14	1,12	6,20
80,00	20,44	19,26	21,06	20,25	0,91	4,51
100,00	22,78	20,49	22,16	21,81	1,18	5,43
125,00	24,08	21,22	22,82	22,71	1,43	6,31
160,00	23,13	21,03	22,66	22,27	1,10	4,95
200,00	20,50	18,90	19,71	19,70	0,80	4,06
250,00	18,45	19,19	16,43	18,02	1,43	7,93
315,00	24,55	20,79	22,97	22,77	1,89	8,29
400,00	26,61	23,45	25,78	25,28	1,64	6,48
500,00	32,06	29,72	28,29	30,02	1,90	6,34
630,00	36,92	35,46	30,76	34,38	3,22	9,36
800,00	29,82	35,82	33,33	32,99	3,01	9,14
1000,00	51,92	47,01	46,11	48,35	3,13	6,47
1250,00	50,95	43,19	49,49	47,88	4,12	8,61
1600,00	49,99	43,29	51,44	48,24	4,35	9,01
2000,00	52,49	46,40	51,99	50,29	3,38	6,72
2500,00	56,23	49,82	53,08	53,04	3,21	6,04
3150,00	56,19	54,60	55,5	55,43	0,80	1,44
4000,00	57,03	49,35	58,85	55,08	5,04	9,15
5000,00	60,15	55,14	60,86	58,72	3,12	5,31
6300,00	61,56	57,91	60,59	60,02	1,89	3,15

Fonte: Elaboração própria

Tabela 15- Isolamento Acústico Traço 5.1

Frequência (Hz)	Isolamento (dB)	Isolamento (dB)	Isolamento (dB)	Isolamento (dB)	Desvio Padrão	C.V. (%)
50,00	19,93	16,21	20,04	18,73	2,18	11,64
63,00	21,62	18,24	22,80	20,89	2,37	11,33
80,00	22,91	19,91	23,67	22,16	1,99	8,97
100,00	24,99	21,28	24,7	23,66	2,06	8,72
125,00	25,29	21,48	25,22	24,00	2,18	9,08
160,00	22,85	18,49	23,56	21,63	2,74	12,69
200,00	20,75	17,71	19,79	19,42	1,55	8,00
250,00	18,50	15,48	17,51	17,16	1,54	8,96
315,00	24,87	21,81	24,49	23,72	1,67	7,03
400,00	27,70	24,39	27,24	26,44	1,79	6,77
500,00	36,24	36,00	32,23	34,82	2,25	6,45
630,00	38,14	37,19	34,48	36,60	1,90	5,18
800,00	43,04	41,24	38,41	40,90	2,33	5,70
1000,00	51,82	49,49	43,53	48,28	4,28	8,86
1250,00	30,25	47,78	44,21	40,75	9,26	22,74
1600,00	51,56	49,46	48,68	49,90	1,49	2,99
2000,00	54,32	52,07	53,78	53,39	1,17	2,20
2500,00	59,54	57,29	56,91	57,91	1,42	2,45
3150,00	51,04	59,06	61,59	57,23	5,51	9,62
4000,00	63,99	61,74	58,03	61,25	3,01	4,91
5000,00	63,67	61,61	61,22	62,17	1,31	2,11
6300,00	63,28	58,69	60,71	60,89	2,30	3,78

Fonte: Elaboração própria

Tabela 16- Isolamento Acústico Traço 5.2

Frequência (Hz)	Isolamento (dB)	Isolamento (dB)	Isolamento (dB)	Isolamento (dB)	Desvio Padrão	C.V. (%)
50,00	11,99	13,73	11,05	12,26	1,36	11,09
63,00	14,57	15,50	12,70	14,26	1,43	10,00
80,00	15,90	17,00	13,80	15,57	1,63	10,44
100,00	17,44	18,47	15,49	17,13	1,51	8,83
125,00	18,32	19,34	17,00	18,22	1,17	6,44
160,00	16,35	19,38	17,51	17,75	1,53	8,61
200,00	15,01	17,22	16,07	16,10	1,11	6,87
250,00	12,65	13,56	13,28	13,16	0,47	3,54
315,00	18,52	19,31	19,14	18,99	0,42	2,19
400,00	21,66	22,57	22,21	22,15	0,46	2,07
500,00	26,10	31,07	30,875	29,35	2,81	9,59
630,00	31,20	37,45	37,14	35,26	3,52	9,99
800,00	31,86	34,59	33,43	33,29	1,37	4,12
1000,00	41,18	46,45	45,77	44,47	2,87	6,45
1250,00	43,76	47,65	47,80	46,40	2,29	4,94
1600,00	49,93	50,26	50,08	50,09	0,17	0,33
2000,00	50,01	51,77	50,93	50,90	0,88	1,73
2500,00	52,01	56,79	56,31	55,04	2,63	4,78
3150,00	55,45	56,42	55,43	55,77	0,57	1,01
4000,00	52,87	57,85	57,11	55,94	2,69	4,80
5000,00	57,08	61,64	61,97	60,23	2,73	4,54
6300,00	56,59	60,28	60,49	59,12	2,19	3,71

Fonte: Elaboração própria

Tabela 17- Isolamento Acústico Traço 5.3

Frequência (Hz)	Isolamento (dB)	Isolamento (dB)	Isolamento (dB)	Isolamento (dB)	Desvio Padrão	C.V. (%)
50,00	15,83	8,08	14,61	12,84	4,17	32,45
63,00	17,42	11,91	16,47	15,27	2,95	19,29
80,00	18,23	15,97	18,03	17,41	1,25	7,19
100,00	19,07	19,04	19,42	19,18	0,21	1,10
125,00	19,40	21,07	20,46	20,31	0,85	4,16
160,00	19,63	22,14	20,26	20,68	1,31	6,32
200,00	18,25	20,79	18,01	19,02	1,54	8,10
250,00	15,57	17,85	14,94	16,12	1,53	9,50
315,00	21,57	23,09	21,38	22,01	0,94	4,26
400,00	24,44	25,25	23,93	24,54	0,67	2,71
500,00	32,99	31,97	30,79	31,91	1,10	3,45
630,00	36,19	37,05	33,13	35,46	2,06	5,81
800,00	36,11	44,78	43,04	41,31	4,58	11,10
1000,00	48,41	42,96	44,37	45,25	2,83	6,25
1250,00	49,69	44,64	49,9	48,08	2,98	6,19
1600,00	49,00	49,98	51,65	50,21	1,34	2,67
2000,00	51,63	50,6	53,67	51,97	1,56	3,01
2500,00	59,27	56,04	57,63	57,65	1,62	2,80
3150,00	54,48	57,99	54,97	55,81	1,90	3,41
4000,00	59,35	57,47	60,3	59,04	1,44	2,44
5000,00	65,67	59,89	62,41	62,66	2,90	4,63
6300,00	64,01	60,02	61,01	61,68	2,08	3,37

Fonte: Elaboração própria

Tabela 18- Isolamento Acústico Traço 10.1

Frequência (Hz)	Isolamento (dB)	Isolamento (dB)	Isolamento (dB)	Isolamento (dB)	Desvio Padrão	C.V. (%)
50,00	15,50	12,60	15,17	14,42	1,59	11,01
63,00	16,60	14,44	16,64	15,89	1,26	7,92
80,00	18,53	16,05	18,41	17,66	1,40	7,92
100,00	19,54	15,86	18,82	18,07	1,95	10,79
125,00	19,76	15,81	18,91	18,16	2,08	11,44
160,00	17,60	16,65	18,25	17,50	0,80	4,59
200,00	16,88	15,61	17,37	16,62	0,91	5,45
250,00	14,46	13,00	15,70	14,39	1,35	9,39
315,00	20,74	18,63	22,30	20,56	1,84	8,96
400,00	23,61	21,90	25,54	23,68	1,82	7,69
500,00	38,12	37,66	35,94	37,24	1,15	3,09
630,00	31,05	32,15	31,98	31,73	0,59	1,86
800,00	37,52	38,20	37,61	37,78	0,37	0,97
1000,00	42,68	44,01	44,08	43,59	0,79	1,81
1250,00	44,92	46,89	46,62	46,14	1,07	2,31
1600,00	47,75	49,27	48,54	48,52	0,76	1,56
2000,00	52,88	53,45	51,78	52,70	0,85	1,61
2500,00	56,07	56,36	54,40	55,61	1,06	1,90
3150,00	58,97	59,22	57,23	58,47	1,08	1,85
4000,00	56,75	60,51	62,02	59,76	2,71	4,54
5000,00	57,41	61,37	63,08	60,62	2,91	4,80
6300,00	57,89	60,01	59,88	59,26	1,19	2,00

Fonte: Elaboração própria

Tabela 19- Isolamento Acústico Traço 10.2

Frequência (Hz)	Isolamento (dB)	Isolamento (dB)	Isolamento (dB)	Isolamento (dB)	Desvio Padrão	C.V. (%)
50,00	16,76	15,39	16,13	16,09	0,69	4,26
63,00	17,71	16,88	17,45	17,35	0,42	2,45
80,00	17,74	18,29	19,26	18,43	0,77	4,18
100,00	18,54	19,49	20,24	19,42	0,85	4,39
125,00	19,47	19,58	20,29	19,78	0,45	2,25
160,00	19,94	18,43	18,86	19,08	0,78	4,08
200,00	18,41	17,42	17,72	17,85	0,51	2,84
250,00	15,57	14,85	15,20	15,21	0,36	2,37
315,00	21,46	20,87	21,20	21,18	0,30	1,40
400,00	24,21	23,75	24,09	24,02	0,24	0,99
500,00	38,89	41,06	40,98	40,31	1,23	3,05
630,00	32,84	37,48	37,67	36,00	2,74	7,60
800,00	37,8	40,44	40,55	39,60	1,56	3,93
1000,00	42,08	45,79	46,1	44,66	2,24	5,01
1250,00	42,3	44,56	44,66	43,84	1,33	3,04
1600,00	46,4	48,02	48,12	47,51	0,97	2,03
2000,00	52,58	51,91	51,99	52,16	0,37	0,70
2500,00	51,56	52,57	52,68	52,27	0,62	1,18
3150,00	59,25	59,66	59,84	59,58	0,30	0,51
4000,00	54,61	56,02	56,17	55,60	0,86	1,55
5000,00	57,19	58,29	58,56	58,01	0,73	1,25
6300,00	60,8	55,94	56,14	57,63	2,75	4,77

Fonte: Elaboração própria

Tabela 20- Isolamento Acústico Traço 10.3

Frequência (Hz)	Isolamento (dB)	Isolamento (dB)	Isolamento (dB)	Isolamento (dB)	Desvio Padrão	C.V. (%)
50,00	21,51	21,03	21,69	21,41	0,34	1,59
63,00	22,81	23,45	23,27	23,18	0,33	1,42
80,00	23,92	24,50	24,65	24,36	0,39	1,58
100,00	24,70	25,57	25,88	25,38	0,61	2,41
125,00	25,32	25,92	26,13	25,79	0,42	1,63
160,00	24,15	24,71	25,08	24,65	0,47	1,90
200,00	20,03	20,59	21,01	20,54	0,49	2,39
250,00	17,27	17,46	17,63	17,45	0,18	1,03
315,00	23,91	24,07	24,25	24,08	0,17	0,71
400,00	27,00	27,23	27,40	27,21	0,20	0,74
500,00	39,77	35,59	26,84	34,07	6,60	19,37
630,00	34,51	31,73	28,74	31,66	2,89	9,11
800,00	36,67	35,60	36,37	36,21	0,55	1,52
1000,00	42,45	39,25	41,39	41,03	1,63	3,97
1250,00	44,13	40,59	43,01	42,58	1,81	4,25
1600,00	47,14	46,40	47,08	46,87	0,41	0,88
2000,00	51,41	52,33	51,98	51,91	0,46	0,89
2500,00	55,65	57,16	56,52	56,44	0,76	1,34
3150,00	63,46	62,99	64,28	63,58	0,65	1,02
4000,00	58,23	58,51	59,29	58,68	0,55	0,94
5000,00	59,25	59,38	60,34	59,66	0,59	0,99
6300,00	59,73	58,87	59,63	59,41	0,47	0,79

Fonte: Elaboração própria

Tabela 21- Isolamento Acústico Traço 15.1

Frequência (Hz)	Isolamento (dB)	Isolamento (dB)	Isolamento (dB)	Isolamento (dB)	Desvio Padrão	C.V. (%)
50,00	19,28	19,60	17,37	18,75	1,21	6,43
63,00	20,97	21,82	18,80	20,53	1,56	7,59
80,00	22,62	23,22	20,28	22,04	1,55	7,05
100,00	23,81	24,08	21,53	23,14	1,40	6,05
125,00	24,35	25,02	22,28	23,88	1,43	5,98
160,00	23,06	23,62	21,93	22,87	0,86	3,76
200,00	20,07	20,45	18,79	19,77	0,87	4,40
250,00	17,70	17,89	15,66	17,08	1,24	7,24
315,00	24,70	25,02	22,37	24,03	1,45	6,02
400,00	27,55	27,87	24,99	26,80	1,58	5,89
500,00	34,88	35,05	32,05	33,99	1,69	4,97
630,00	32,09	32,09	32,01	32,06	0,05	0,14
800,00	38,19	37,52	42,53	39,41	2,72	6,90
1000,00	45,76	44,73	43,57	44,69	1,10	2,45
1250,00	48,46	48,16	47,50	48,04	0,49	1,02
1600,00	48,04	47,40	50,02	48,49	1,37	2,82
2000,00	54,03	53,97	51,32	53,11	1,55	2,91
2500,00	53,54	52,75	58,47	54,92	3,10	5,64
3150,00	58,13	57,36	59,35	58,28	1,00	1,72
4000,00	58,25	58,29	57,43	57,99	0,49	0,84
5000,00	59,78	59,69	58,18	59,22	0,90	1,52
6300,00	59,86	59,85	58,64	59,45	0,70	1,18

Fonte: Elaboração própria

Tabela 22- Isolamento Acústico Traço 15.2

Frequência (Hz)	Isolamento (dB)	Isolamento (dB)	Isolamento (dB)	Isolamento (dB)	Desvio Padrão	C.V. (%)
50,00	16,13	19,25	16,19	17,19	1,78	10,38
63,00	17,90	20,49	18,40	18,93	1,37	7,26
80,00	19,31	21,32	19,11	19,91	1,22	6,14
100,00	20,67	22,77	19,13	20,86	1,83	8,76
125,00	21,25	23,25	21,31	21,94	1,14	5,19
160,00	21,13	23,09	22,11	22,11	0,98	4,43
200,00	18,88	20,67	20,13	19,89	0,92	4,62
250,00	15,34	16,17	16,77	16,09	0,72	4,46
315,00	21,10	22,26	22,23	21,86	0,66	3,02
400,00	24,00	25,60	24,33	24,64	0,84	3,43
500,00	30,04	33,49	36,60	33,37	3,28	9,82
630,00	29,33	29,99	31,49	30,27	1,11	3,66
800,00	30,83	36,46	37,46	34,91	3,58	10,24
1000,00	32,63	37,05	37,14	35,61	2,58	7,25
1250,00	41,12	43,81	39,62	41,52	2,12	5,11
1600,00	48,82	46,49	42,74	46,02	3,07	6,67
2000,00	54,25	42,56	48,21	48,34	5,85	12,09
2500,00	61,69	40,23	54,63	52,18	10,94	20,96
3150,00	53,11	50,87	60,18	54,72	4,86	8,88
4000,00	60,25	55,46	60,88	58,86	2,96	5,04
5000,00	57,45	53,81	61,87	57,71	4,04	6,99
6300,00	59,64	52,51	60,65	57,60	4,44	7,70

Fonte: Elaboração própria

Tabela 23- Isolamento Acústico Traço 15.3

Frequência (Hz)	Isolamento (dB)	Isolamento (dB)	Isolamento (dB)	Isolamento (dB)	Desvio Padrão	C.V. (%)
50,00	17,83	12,89	6,45	12,39	5,71	46,06
63,00	19,61	14,00	9,89	14,50	4,88	33,65
80,00	20,78	15,25	12,85	16,29	4,07	24,96
100,00	21,50	16,23	15,00	17,58	3,45	19,64
125,00	22,51	17,70	16,47	18,89	3,19	16,89
160,00	22,26	18,46	17,09	19,27	2,68	13,90
200,00	19,92	17,34	15,91	17,72	2,03	11,47
250,00	16,60	14,58	13,28	14,82	1,67	11,29
315,00	22,45	20,17	19,16	20,59	1,69	8,18
400,00	25,29	23,35	22,65	23,76	1,37	5,76
500,00	32,03	30,75	30,58	31,12	0,79	2,54
630,00	32,13	34,21	31,61	32,65	1,38	4,21
800,00	38,06	38,63	36,74	37,81	0,97	2,56
1000,00	46,60	40,13	39,12	41,95	4,06	9,67
1250,00	46,24	41,09	40,02	42,45	3,33	7,83
1600,00	47,60	47,97	46,65	47,41	0,68	1,44
2000,00	50,91	57,98	58,56	55,82	4,26	7,63
2500,00	54,80	59,90	61,82	58,84	3,63	6,17
3150,00	59,60	56,45	54,35	56,80	2,64	4,65
4000,00	59,75	59,95	59,31	59,67	0,33	0,55
5000,00	59,77	59,41	59,36	59,51	0,22	0,38
6300,00	58,66	58,70	58,28	58,55	0,23	0,40

Fonte: Elaboração própria