

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO - UEMA
CENTRO DE ENSINO SUPERIORES DE BACABAL – CESB
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL BACHARELADO

NAIRA CRISTINA AMORIM SOARES

**PROPOSTA DE SOLUÇÃO ACÚSTICA PARA SALA DE MÚSICA UTILIZANDO
PAINÉIS DE FIBRA DE COCO E DRYWALL:** Um estudo aplicado à Escola de Música

Maestro Almir Garcez Assaí, em Bacabal – MA

BACABAL-MA

2025

NAIRA CRISTINA AMORIM SOARES

**PROPOSTA DE SOLUÇÃO ACÚSTICA PARA SALA DE MÚSICA UTILIZANDO
PAINÉIS DE FIBRA DE COCO E DRYWALL:** Um estudo aplicado à Escola de Música
Maestro Almir Garcez Assaí, em Bacabal – MA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil na Universidade
Estadual do Maranhão, como requisito a obtenção
do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Esp. Helenylson Jesus Pereira.

BACABAL-MA

2025

Soares, Naira Cristina Amorim.

Proposta de solução acústica para sala de música utilizando painéis de fibra de coco e drywall: um estudo aplicado à Escola de Música Maestro Almir Garcez Assaí, em Bacabal – MA / Naira Cristina Amorim Soares. - Bacabal - MA, 2025.
53 f.

Monografia (Graduação em Engenharia Civil Bacharelado) - Universidade Estadual do Maranhão, Campus Bacabal, 2025.

Orientadora: Prof. Esp. Helenylson Jesus Pereira.

1. Conforto sonoro. 2. Sustentabilidade. 3. Coco. I. Título.

CDU: 534.83:781.1(812.1)

NAIRA CRISTINA AMORIM SOARES

**PROPOSTA DE SOLUÇÃO ACÚSTICA PARA SALA DE MÚSICA
UTILIZANDO PAINÉIS DE FIBRA DE COCO E DRYWALL: Um estudo
aplicado à Escola de Música Maestro Almir Garcez Assaí, em Bacabal-MA.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil da
Universidade Estadual do Maranhão para o
grau de bacharelado em Engenharia Civil.

Aprovado em: 11 / 07 / 2025

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Helenylson Jesus Pereira (Orientador)
Especialização em Arquitetura, Urbanismo e Engenharia Civil pela UNICAMP
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO

Prof. Carlos Eduardo Machado de Oliveira
Especialização em Projeto e Dimensionamento de Estruturas e Fundações
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO

Prof. Igor Borges Cipriano Saraiva
Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho (UCAM)
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO

À minha mãe, que com amor, coragem e dedicação, sempre acreditou no valor da educação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me conceder força, coragem e está sempre ao meu lado, me auxiliando em todos os momentos.

Agradeço a minha mãe, Vanusa, e minha querida vó, Creusa, por toda dedicação em minha educação. Obrigada por todo incentivo, apoio e por lutarem juntas comigo.

Agradeço a minha irmã, Karla, que sempre esteve ao meu lado, sempre dando os melhores conselhos e me mostrando o caminho a seguir.

In memoriam ao meu querido pai, cuja presença, ensinamentos e amor continuam a guiar meus passos. Este trabalho também dedico a você, com eterna gratidão e saudade.

Agradeço aos meus professores, por todo aprendizado ao longo desses anos, em especial, Professora Natália Barros Falcão Cutrim e Eng. Valéria Freitas Lima, foram pessoas marcantes na minha trajetória acadêmica.

E finalmente, agradeço a empresa Construtora Alencar e por todo aprendizado repassado durante o período de estágio, o conhecimento adquirido foi essencial para o meu desenvolvimento pessoal e profissional, serei eternamente grata por todo apoio e confiança.

“Serei heroína da minha própria história.”
(Anne with an E)

RESUMO

Este trabalho propõe uma solução acústica inovadora para sala de música, empregando painéis fabricados a partir de resíduos de fibra de coco em conjunto com o sistema drywall. A pesquisa foi aplicada à Escola de Música Maestro Almir Garcez Assaí (EMMAGA), em Bacabal-MA, visando abordar a crescente necessidade de soluções sustentáveis na construção civil e o potencial da fibra da casca do coco verde, um resíduo abundante no Brasil, como material fonoabsorvente. Inicialmente, as condições sonoras da sala D-01 da EMMAGA foram avaliadas por meio de medições dos níveis de pressão sonora, conforme a NBR 10152:2020, e estimativa do tempo de reverberação, utilizando a fórmula de Norris-Eyring com o software Reverb, identificando deficiências que comprometem o conforto sonoro. Posteriormente, o desempenho da intervenção proposta, que combina painéis de coco e revestimento de parede dupla em gesso acartonado, foi simulado novamente adotando os coeficientes de absorção dos painéis da fibra de coco e elementos absorvedores para fins de cálculo, onze músicos sentados com instrumentos. Os resultados da simulação demonstraram uma redução e um equilíbrio significativo da reverberação, validando a eficácia da solução proposta. Conclui-se que essa combinação de materiais representa uma alternativa viável, sustentável e de alto desempenho para a otimização sonora em ambientes educacionais.

Palavras-chave: Coco; Reverberação; Construção a seco; Sustentabilidade; Conforto sonoro.

ABSTRACT

This work proposes an innovative acoustic solution for classrooms, using panels made from coconut fiber waste in conjunction with the drywall system. The research was applied at the Maestro Almir Garcez Assaí Music School (EMMAGA) in Bacabal-MA, aiming to address the growing need for sustainable solutions in civil construction and the potential of green coconut husk fiber, an abundant waste in Brazil, as a sound-absorbing material. Initially, the sound conditions of room D-01 at EMMAGA were assessed through measurements of sound pressure levels, according to NBR 10152:2020, and estimation of reverberation time, using the Norris-Eyring formula with the Reverb software, identifying deficiencies that compromise acoustic comfort. Subsequently, the performance of the proposed intervention, which combines coconut panels and double wall gypsum board, was simulated again adopting the absorption coefficients of the fiber panels and absorbing elements for calculation purposes, eleven musicians seated with instruments. The simulation results demonstrated a significant reduction and balance in reverberation, validating the effectiveness of the proposed solution. It is concluded that this combination of materials represents a viable, sustainable, and high-performance alternative for sound optimization in educational environments.

Keywords: Coconut; Reverberation; Dry construction; Sustainability; Acoustic comfort.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Avanço do cultivo de coqueiros nos estados brasileiros em 1990 e 2014.....	16
Figura 2: Descarte irregular de cascas de coco.	20
Figura 3: Esquema de classificação das fibras.	21
Figura 4: Camadas do coco	23
Figura 5: Localização da Escola de Música Maestro Almir Garcez Assaí.	34
Figura 6: Planta Esquemática, com sala D-01 em destaque.....	34
Figura 7: Visão interna da sala D-01, ambiente analisado neste estudo.	35
Figura 8: Revestimento da parede interna da sala D-01.....	35
Figura 9: Fresta na porta e detalhe da janela da sala D-01.....	36
Figura 10: T60 calculado por banda de oitava antes do tratamento acústico.....	39
Figura 11: Composição de parede com alvenaria, painel de fibra de coco e drywall..... Erro! Indicador não definido.	
Figura 12: T60 calculado por banda de oitava com o tratamento acústico.	43

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 : Características gerais da fibra de coco.....	24
Quadro 2: Superfícies de revestimentos consideradas no cálculo do T60 antes do tratamento acústico aplicado.....	39
Quadro 3: Superfícies de revestimentos consideradas no cálculo do T60.....	41
Quadro 4: As medições dos pontos das situações analisadas.	43

LISTA DE SIGLAS

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
IDEC	Instituto de Defesa do Consumidor
MMA	Ministério Público do Meio Ambiente
MEC	Ministério da Educação
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção

SUMÁRIO

1.0 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivos.....	15
1.1.1 Objetivo Geral	15
1.1.2 Objetivos Específicos	15
2.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 O coco como insumo sustentável da economia brasileira	16
2.1.1 O potencial de Uso do Coco no Contexto Brasileiro.....	18
2.1.2 A gestão inadequada dos resíduos do coco e a Política Nacional de Resíduos Sólidos..	19
2.2 Fibras	20
2.2.1 Fibra vegetal	21
2.2.2 Propriedades das fibras vegetais.....	22
2.2.3 Fibra de Coco Verde.....	233
2.2.4 Produção de placas a partir da fibra de coco	26
2.2.5 Combinação da Fibra de coco com Drywall	27
2.3 Acústica.....	28
2.3.1 Reverberação	29
2.4 Acústica e saúde pública	30
2.5 Tratamento acústico	32
3.0 METODOLOGIA.....	33
3.1 Tipo de Estudo	33
3.2 Levantamento de Informações	33
3.3 Área de Estudo.....	33
3.4 Coleta e Análise de Dados Acústicos.....	36
3.4.1 Medição dos Níveis de Pressão Sonora	36
3.4.2 Instrumentação Utilizada	36
3.4.3 Procedimentos de Medição.....	37

3.4.4 Estimativa do Tempo de Reverberação (T60)	38
3.5 Análise dos dados obtidos antes do Tratamento Acústico	39
3.6 Proposta de Intervenção Acústica e Resultados da Simulação	40
4.0 RESULTADOS	42
4.1 Medições dos níveis de pressão sonora	42
4.2 Estimativa do Tempo de Reverberação (T60)	43
4.3 Discussão dos Resultados e Avaliação da Proposta	44
5.0 CONCLUSÕES.....	46
REFERÊNCIAS.....	48

1. INTRODUÇÃO

As fibras de origem natural têm desempenhado um papel relevante na sociedade devido às suas múltiplas características. Com o avanço da tecnologia, essas fibras foram gradualmente substituídas por alternativas sintéticas, muitas vezes mais eficientes. No entanto, o interesse por pesquisas envolvendo fibras naturais tem aumentado, impulsionado pelas preocupações com o meio ambiente e a busca por soluções sustentáveis. Isso ocorre porque essas fibras apresentam diversas vantagens em comparação aos materiais sintéticos, como serem provenientes de fontes renováveis, biodegradáveis, pouco abrasivas, de baixo custo, recicláveis e de fácil processamento, o que contribui para uma produção com menor impacto ambiental e econômico (Neto; Pardini, 2006).

O Brasil, por sua vez, abriga a maior biodiversidade do planeta, concentrando mais de 20% das espécies de fauna e flora mundial. Esse cenário oferece uma ampla variedade de matérias-primas com potencial de aplicação em diversos setores da indústria. Contudo, grande parte desses recursos é subaproveitada, seja por falta de pesquisas mais detalhadas sobre suas propriedades ou pela ausência de interesse em seu aproveitamento (Brasil, 2020). O Brasil ocupa a quinta posição no ranking mundial de produção de coco, sendo responsável por cerca de 5% da produção global, destacando-se como o principal produtor voltado exclusivamente para o consumo da água da fruta. Aproximadamente 15% da produção nacional refere-se ao coco verde, cuja água é extraída e também industrializada (Brasil, 2011).

Com o crescimento da demanda e da industrialização da água de coco verde, estima-se a geração de cerca de 6,7 milhões de toneladas de casca por ano, o que configura um problema ambiental relevante em relação ao descarte adequado desses resíduos (Rosa, 1998). A fibra do coco surge como um recurso estratégico diante desse cenário, principalmente por sua abundância em todo o Brasil e por apresentar características técnicas que a tornam ideal para o desenvolvimento de produtos com baixo custo de produção e pouca necessidade de tecnologia avançada (Duarte, 2009).

Um campo que vem recebendo destaque nesse contexto é o tratamento acústico em construções civis. Com a entrada em vigor da Norma de Desempenho NBR 15.575 em 2013 (ABNT, 2013), tornou-se obrigatória a adoção de critérios que garantam o conforto acústico em habitações residenciais. Essa regulamentação passou a nortear o setor da construção civil no que se refere à qualidade de vida dos usuários. Posteriormente, em 2017, a norma NBR 10.152 (ABNT, 2017) foi atualizada, padronizando os métodos de medição e avaliação dos

níveis sonoros em ambientes internos, reforçando a importância do controle acústico como um elemento essencial no projeto de edificações (CBIC, 2013). A poluição sonora, inclusive, é reconhecida pela Organização Mundial da Saúde (OMS, 2011) como um dos principais fatores ambientais que afetam a saúde humana, especialmente nas áreas urbanas, com exposições prolongadas a ruídos podendo resultar em diversos problemas de saúde, tanto físicos quanto psicológicos.

No contexto da Escola de Música Maestro Almir Garcez Assaí (EMMAGA), em Bacabal-MA, observam-se desafios acústicos nas salas de aula que comprometem a qualidade do ensino musical. Diante disso, o presente trabalho justifica-se pela necessidade de propor uma solução construtiva sustentável para o aprimoramento do desempenho acústico dessas salas, utilizando painéis de fibra de coco em combinação com o sistema drywall. A pesquisa visa não apenas melhorar as condições de aprendizado na EMMAGA, mas também demonstrar a viabilidade técnica e ambiental dessa alternativa inovadora. O trabalho tem como objetivo propor uma solução acústica para salas de aula, utilizando painéis de fibra de coco em conjunto com o sistema drywall.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Propor uma solução acústica para sala de aula, utilizando painéis de fibra de coco em conjunto com o sistema drywall na Escola de Música Maestro Almir Garcez Assaí, em Bacabal-MA.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Analisar os níveis de pressão sonora existentes na sala D-01 da Escola de Música Maestro Almir Garcez Assaí, conforme a NBR 10152:2020.
- Estimar o tempo de reverberação da sala D-01, utilizando a fórmula de Norris-Eyring com o apoio do software Reverb.
- Verificar a eficácia da combinação de painéis de fibra de coco e o sistema drywall na otimização do desempenho acústico do ambiente.

2.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

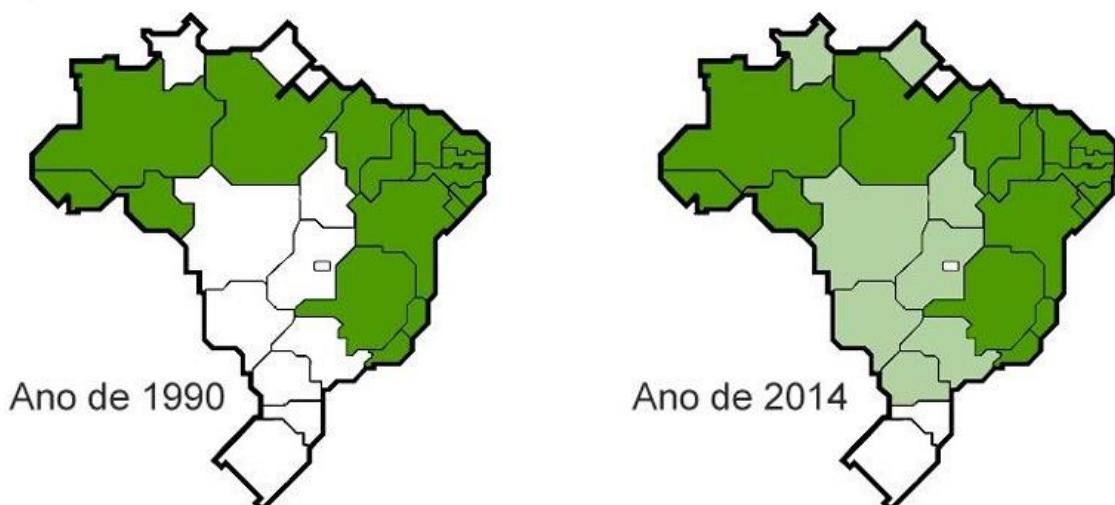
2.1 O coco como insumo sustentável da economia brasileira

O coqueiro (*Cocos nucifera* L.) figura entre as culturas agrícolas mais relevantes globalmente, contribuindo para a economia através da geração de empregos, renda e divisas, além de oferecer importantes benefícios nutricionais. Esta planta versátil permite a extração de mais de cem subprodutos diferentes (Cuenca, 1998).

Natural da Ásia, o coqueiro foi introduzido no Brasil por volta de 1553, quando chegou ao litoral da Bahia em embarcações portuguesas. Adaptando-se bem ao clima tropical brasileiro, a planta se desenvolveu principalmente nas regiões Norte e Nordeste, expandindo-se posteriormente para o Sudeste do país.

O cultivo do coqueiro no Brasil teve início na Bahia e, inicialmente, se espalhou ao longo do litoral nordestino, onde ainda se concentram os principais produtores de coco verde do país, devido às condições climáticas e do solo favoráveis dessas regiões costeiras. Na década de 1990, a produção nordestina representava 92,6% do total de coco produzido no Brasil. Contudo, com o aumento da demanda, o cultivo se expandiu para outras regiões do país, exceto em alguns estados do Sul, no Amapá e no Distrito Federal, conforme mostra a Figura 1. De acordo com dados de 2017, a Região Nordeste responde por 82,9% da área de cultivo nacional (Brainer, 2018).

Figura 1: Avanço do cultivo de coqueiros nos estados brasileiros em 1990 e 2014.



Fonte: Adaptado de Martins (2014).

A figura 1 ilustra o avanço significativo do cultivo de coqueiros nos estados brasileiros entre os anos de 1990 e 2014. Observa-se uma expansão notável em várias regiões, refletindo o aumento da demanda e a importância econômica dessa cultura para o país.

A produtividade da cultura do coco no Brasil dobrou no período de 1990 a 2009, saindo de 3,4 mil frutos por hectare para cerca de 7 mil frutos/ha. Esse aumento reflete avanços tecnológicos no manejo agrícola, como a adoção de variedades híbridas mais produtivas e práticas de cultivo mais eficientes, especialmente nas regiões do Nordeste e Norte, que concentram a maior parte da produção nacional (IBGE, 2009).

Segundo dados do IBGE, em 1990, o cultivo de coqueiro estava restrito às regiões Norte e Nordeste. No entanto, ao longo das décadas seguintes, o cultivo se expandiu para outras regiões do país, com exceção de alguns estados do Sul, do Amapá e do Distrito Federal. Essa expansão foi impulsionada pela crescente demanda por produtos derivados do coco, como água de coco, óleo e fibra, além da introdução de tecnologias que aumentaram a produtividade.

A evolução da produtividade também está associada à transição do cultivo de coqueiros da variedade gigante, voltados para a produção de coco seco, para coqueiros anões e híbridos, mais adequados à produção de coco verde (água de coco). Essas variedades são naturalmente mais produtivas e adaptadas às condições de cultivo nas regiões tropicais do Brasil (Embrapa, 2012).

Embora o Nordeste se destaque em relação às demais regiões do país com ampla vantagem em área cultivada, volume de produção de frutos e, por consequência, maiores valores totais gerados, sua produtividade por hectare é inferior quando comparada a outras regiões. Essa disparidade torna a relação entre área cultivada e valor de produção inversamente proporcional, revelando que uma maior extensão plantada nem sempre resulta em maior eficiência econômica. Em 2014, por exemplo, ao se comparar os dados da Região Sul com os do Nordeste, observa-se uma proporção de quase 4,7 vezes em favor da Região Sul no que se refere ao valor de produção por hectare, evidenciando que o mercado consumidor atribui maior valor ao coco produzido naquela região (Martins, 2014).

A expansão do cultivo do coqueiro para outras regiões do Brasil foi motivada, sobretudo, pela reorganização produtiva do setor diante da crescente demanda da indústria por água de coco. Para atender a esse novo cenário, tornou-se necessário transformar o modelo produtivo existente, com foco no aumento da eficiência e do rendimento (Embrapa, 2012).

2.1.1 O potencial de Uso do Coco no Contexto Brasileiro

O Brasil está entre os principais produtores mundiais de coco, com uma produção voltada predominantemente para fins alimentícios. O fruto é amplamente consumido tanto em sua forma natural quanto processado pela indústria alimentícia. De acordo com dados do IBGE referentes ao ano de 2015, cerca de 70% da produção nacional correspondia ao coco verde, utilizado principalmente para a extração da água de coco. Esse cenário consolidou o país como o maior produtor mundial desse derivado (O tempo, 2018).

A água de coco é amplamente valorizada e representa, provavelmente, a forma mais comum de consumo do fruto. Considerada uma bebida isotônica natural, ela se destaca pelos teores equilibrados de minerais e açúcares presentes em sua composição. Para garantir uma bebida de qualidade superior, é essencial adotar práticas adequadas de manejo do solo e controle da irrigação (Neto *et al.*, 2002).

O consumo de água de coco verde é mais intenso nas áreas litorâneas e próximas aos centros produtores, onde a oferta é maior e os preços são mais acessíveis ao consumidor. Em diversos entrepostos das regiões Sul e Centro-Oeste, os preços do coco verde estão acima da média nacional. Essa diferença pode ser atribuída à limitada produção local nessas áreas, o que as torna dependentes do abastecimento vindo de outras regiões produtoras. Essa necessidade de transporte eleva os custos logísticos, refletindo diretamente no preço final pago pelo consumidor (Brainer, 2018).

Paralelamente a esse crescimento no consumo, observou-se um aumento considerável na geração de resíduos oriundos do coco, os quais correspondem a aproximadamente 85% do peso bruto do fruto. Apesar de parte desses resíduos serem aproveitados como combustível para caldeiras, como insumo para substratos agrícolas ou na produção de peças artesanais como vassouras, vasos e tapetes, uma porção significativa ainda é descartada sem aproveitamento eficiente. (Rosa, 2000)

Apesar dos esforços pontuais de reaproveitamento e da tentativa de alguns municípios em buscar alternativas viáveis para destinação desses resíduos, o volume gerado é tão elevado que essas iniciativas não têm sido suficientes para conter o problema. Como consequência, bilhões de cascas de coco são descartadas inadequadamente ou acabam nos aterros sanitários, desperdiçando um recurso com grande potencial de uso e contribuindo para impactos ambientais e sociais relevantes, temas que serão aprofundados na próxima seção (Mattos *et al.*, 2014)

2.1.2 A gestão inadequada dos resíduos do coco e a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

O manejo adequado de resíduos sólidos é hoje um dos principais desafios enfrentados pelas administrações públicas nas grandes cidades brasileiras. Com mais de 165 milhões de habitantes vivendo em áreas urbanas, o país depende de políticas públicas eficientes para garantir o exercício dos direitos básicos da população e assegurar condições dignas de vida (Brasil, 2005).

Todos os dias, toneladas de lixo são geradas por residências, estabelecimentos comerciais e atividades industriais. Esse volume expressivo de resíduos exige um sistema eficiente de coleta, tratamento e destinação final, uma vez que o descarte inadequado é um dos principais causadores de problemas ambientais e de saúde pública nos centros urbanos.

O Ministério do Meio Ambiente (MMA) aponta que, nas últimas décadas, o país tem avançado em termos de políticas e ações voltadas ao setor, impulsionado pela crescente preocupação com os impactos das mudanças climáticas e seus efeitos devastadores. Um dos maiores progressos foi a criação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), formalizada pela Lei nº 12.305/2010, após mais de 20 anos de discussões no Congresso Nacional. (Brasil, 2005)

De acordo com a eCycle (2019), a PNRS define 15 objetivos estratégicos, entre eles a promoção da responsabilidade compartilhada, o incentivo à reciclagem e a valorização dos resíduos, com foco em uma gestão ambientalmente correta e socialmente justa.

Além das diretrizes já mencionadas, a PNRS também estabelece como metas a diminuição da geração de resíduos e a erradicação dos lixões, buscando promover práticas de reciclagem e reutilização de materiais. No entanto, apesar das exigências legais, a aplicação efetiva dessas medidas ainda está distante da realidade vivida por grande parte dos municípios brasileiros, que enfrentam limitações técnicas, financeiras e estruturais para cumprir integralmente o que a legislação prevê (Brasil, 2010).

O coco, apesar de seu grande potencial de reaproveitamento em quase sua totalidade, acaba por ser, na maioria das vezes, descartado indevidamente e consequentemente causando uma série de problemas para a cidade e seus habitantes.

Figura 2: Descarte irregular de cascas de coco.



Fonte: (a) (b) Site de Linhares (2016).

Na Figura 2 evidencia o descarte inadequado das cascas de coco, um problema ambiental comum em regiões produtoras. Essa prática irregular contribui para a poluição do solo e da água, além de atrair vetores de doenças e causar mau cheiro. O acúmulo desses resíduos orgânicos, quando não tratado corretamente, gera impactos negativos tanto para a saúde pública quanto para o equilíbrio dos ecossistemas locais.

Segundo Brasil (2005, p. 119), dados do IBGE:

[...] em 64% dos municípios brasileiros o lixo é depositado de forma inadequada, em locais sem nenhum controle ambiental ou sanitário. São os conhecidos lixões ou vazadouros, terrenos onde se acumulam enormes montanhas de lixo a céu aberto, sem nenhum critério técnico ou tratamento prévio do solo, com a simples descarga do lixo sobre o solo. Além de degradar a paisagem e produzir mau cheiro, os lixões colocam em risco o meio ambiente e a saúde pública.

2.2 Fibras

O uso de fibras naturais na construção de habitações é uma prática milenar, com origens que remontam às civilizações do Egito e da Mesopotâmia. A principal motivação para a aplicação desses compósitos ao longo da história está relacionada ao seu baixo custo e à ampla disponibilidade. Esses fatores continuam despertando o interesse da comunidade científica, que tem se dedicado a investigar o desempenho desses materiais, sua viabilidade de aplicação nas construções atuais e a possibilidade de substituição das fibras sintéticas por alternativas naturais (Cabrera, 1990).

Fibras são materiais alongados com espessura significativamente menor que seu comprimento, formados por finos filamentos entrelaçados. Elas apresentam características variadas, como resistência mecânica, elasticidade, tolerância a altas temperaturas e diferentes densidades. Contudo, nenhuma fibra isoladamente possui todas as qualidades desejadas para múltiplas aplicações, o que torna essencial a escolha criteriosa conforme a finalidade pretendida. As fibras podem ser agrupadas em dois tipos principais: naturais e sintéticas. No caso das fibras naturais, a classificação se dá conforme sua origem, sendo elas derivadas de fontes animais, vegetais ou minerais (Franco, 2010).

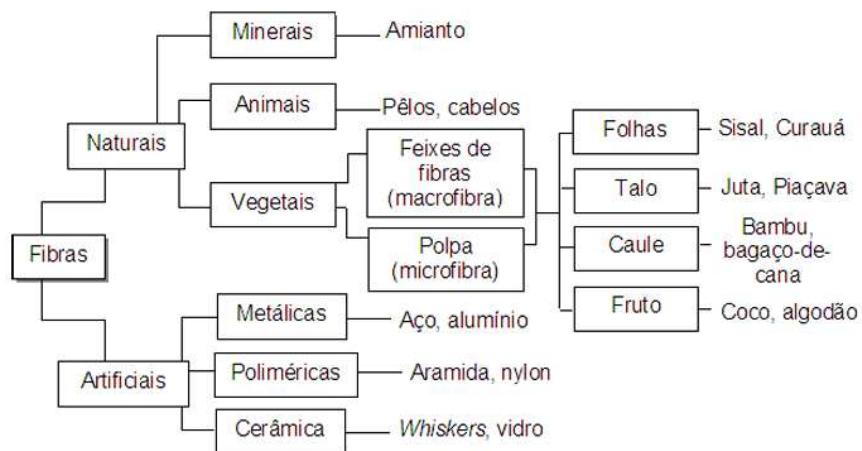
De acordo com Pritchard, Sarsby e Anand (2000), as fibras de origem vegetal destacam-se pelo maior potencial de aplicação, principalmente devido às suas propriedades estruturais. Compostas essencialmente por celulose, essas fibras apresentam variações em suas composições químicas, físicas e mecânicas, o que influencia diretamente seu desempenho em diferentes usos.

2.2.1 Fibra vegetal

As fibras de origem natural classificam-se em três grupos principais: vegetais, animais e minerais. As fibras minerais, como o amianto (asbesto), são compostas por longas estruturas cristalinas. Já as fibras de origem animal são formadas por cadeias de proteínas, enquanto os vegetais possuem composição predominantemente celulósica.

Com base em sua morfologia, as fibras vegetais podem ser classificadas em quatro classes (Toledo, 1997).

Figura 3: Esquema de classificação das fibras.



Fonte: PERSSON, 2000.

A Figura 3 apresenta um esquema detalhado de classificação das fibras, organizando-as conforme suas origens e propriedades essenciais. Essa categorização divide as fibras em naturais, que podem ser de origem vegetal, animal ou mineral, e em fibras sintéticas, produzidas por processos industriais. No contexto do estudo das fibras de coco, a figura destaca as fibras vegetais, ressaltando suas características físicas e químicas que influenciam seu desempenho em diversas aplicações, como isolamento acústico, reforço de materiais e desenvolvimento de produtos sustentáveis.

No contexto do estudo das fibras de coco, a figura ressalta as fibras vegetais, destacando suas propriedades físicas e químicas que influenciam seu desempenho em aplicações variadas, como isolamento acústico, reforço estrutural e desenvolvimento de materiais sustentáveis. Esse esquema é essencial para entender a diversidade e o potencial funcional das fibras, permitindo uma seleção mais precisa e eficiente de acordo com as demandas técnicas e ambientais de cada projeto.

Dentre as fibras vegetais mais utilizadas, destacam-se aquelas obtidas do sisal, bambu, coco maduro e bananeira. Além de serem abundantes e facilmente acessíveis, essas fibras oferecem a vantagem de demandar menos energia para sua produção quando comparadas às fibras sintéticas. Vale lembrar que o termo "fibra", no uso cotidiano, refere-se na verdade a um conjunto de filamentos, cada um composto por microestruturas chamadas fibrilas, unidas por componentes orgânicos não cristalinos, como a lignina e a hemicelulose. As fibrilas são compostas por moléculas de celulose e estão orientadas em ângulos distintos, formando as diversas camadas, que compõem a macrofibra (Silva & John, 2003)

2.2.2 Propriedades das fibras vegetais

Devido à sua maior cristalinidade e ao alto grau de polimerização, a celulose apresenta maior resistência à degradação, seja ela causada por forças mecânicas, reações químicas ou temperaturas elevadas, quando comparada aos outros componentes não celulósicos que formam as fibras vegetais.

As fibras naturais oferecem diversas vantagens em relação às sintéticas, o que justifica seu uso como material de reforço em matrizes tanto de cimento quanto poliméricas. Entre as vantagens e desvantagens das fibras vegetais em comparação às sintéticas, destacam-se as seguintes:

Vantagens:

- Economia de energia;
- Abundância e fácil acesso;
- Baixo custo de produção;
- Não apresentam riscos à saúde;
- Potencial para gerar benefícios econômicos no setor agrícola;
- Contribuição para a prevenção da erosão;
- Baixa densidade;
- Biodegradabilidade.

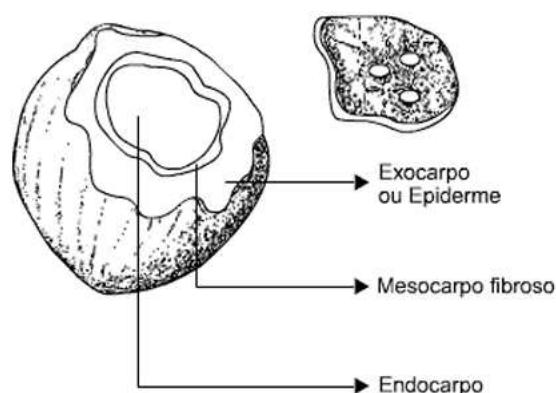
Desvantagens:

- Vida útil limitada ao atuar como reforço em compósitos à base de cimento;
- Inconsistência nas características físicas e mecânicas das fibras;
- Necessidade de processos de modificação, como tratamentos químicos, térmicos ou mecânicos, para melhorar o desempenho nas aplicações;
- Aderência insatisfatória a diversas matrizes quando utilizadas em sua forma natural.

Em um estudo detalhado sobre a aplicação de fibras vegetais como reforço em materiais frágeis, Agopyan (1991) identificou 19 tipos de fibras com potencial de uso na construção civil. A seleção foi baseada em critérios como propriedades mecânicas, incluindo resistência à tração, módulo de elasticidade e deformação na ruptura, características físicas, proporção entre comprimento e diâmetro, viabilidade de cultivo no território brasileiro, custo e resistência em condições naturais.

2.2.3 Fibra de Coco Verde

Figura 4: Camadas do coco



Fonte: Nascentes (2012).

- Epicarpo (epiderme lisa) – camada externa lisa e fina, chamada de “casca” do fruto;
- Mesocarpo – No caso do coco, camada intermediária espessa e fibrosa de onde se obtém as fibras;
- Endocarpo – Camada lenhosa dura que envolve a semente;
- Albúmen – No caso do coco, é líquido (água de coco) e sólido (polpa), constituindo o conteúdo nutritivo da semente.

A Figura 4 apresenta as diferentes camadas que compõem o coco, evidenciando sua estrutura desde a casca externa até a polpa interna. A fibra de coco, proveniente do mesocarpo, é classificada como fibra dura e é composta principalmente por celulose, hemicelulose e lignina. A característica distintiva dessa fibra é seu alto teor de lignina, que pode ser de duas a quatro vezes maior do que o encontrado em fibras como juta e sisal. Esse alto conteúdo de lignina oferece uma vantagem considerável, já que ela atua como um agente de união nos tecidos vegetais, fortalecendo a parede celular da fibra e conferindo resistência a danos físicos e químicos. A quantidade de lignina varia conforme a maturidade do coco: enquanto as fibras de cocos jovens apresentam cerca de 20% de lignina, as fibras de cocos maduros podem atingir até 35% (Passos, 2005), como evidenciado no Quadro 1.

Quadro 1 : Características gerais da fibra de coco

Características gerais da fibra de coco	
Comprimento da fibra	15 a 33cm
Diâmetro da fibra	0,05 a 0,4 mm
Cor	Marrom claro a escuro
Toque	Áspero, duro
Alongamento	Muito alto
Densidade	Muito baixa
Higroscopicidade	Tolerância de 13%
Lignificação	Forte
Tingibilidade	Boa

Fonte: Adaptado de Claus (2010).

A fibra obtida da casca do coco verde apresenta grande potencial de aplicação devido às suas características ecológicas, à facilidade de reciclagem e ao fato de pertencer ao grupo das fibras duras. Esse tipo de fibra é reconhecido por sua elevada rigidez e dureza, resultado do alto teor de lignina presente em sua composição, que varia entre 41% e 45% (Senhoras, 2003).

Graças à sua resistência mecânica e à durabilidade, a fibra de coco tem sido empregada em diversos setores, incluindo o desenvolvimento de materiais para isolamento térmico e acústico. Suas propriedades mais vantajosas para o uso industrial incluem: ausência de odor, resistência à umidade, imunidade ao ataque de roedores, resistência à decomposição, inibição ao crescimento de fungos e baixa condutividade térmica, que se situa entre 0,04 e 0,05 W/mK (Senhoras, 2003).

Enquanto a fibra do coco maduro já é amplamente utilizada na agricultura como substrato para cultivo (Carrijo *et al.*, 2002) e na indústria, especialmente na fabricação de cordas e componentes para o setor automotivo, como estofamentos (Toleto *et al.*, 2003; Thwe & Liao, 2003), a fibra do coco verde ainda enfrenta obstáculos quanto ao seu uso efetivo. Uma das principais dificuldades está no processo de desfibramento, que é mais complexo em comparação com a fibra do coco seco, o que limita sua aplicação comercial no Brasil.

Apesar disso, iniciativas para o aproveitamento dessa matéria-prima têm surgido em alguns estados brasileiros, como Pará, Ceará e Rio de Janeiro. Nessas regiões, empresas do setor automotivo, indústrias de beneficiamento do coco e instituições de pesquisa, entre elas, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), vêm buscando soluções para integrar esse resíduo de forma produtiva em cadeias industriais e sustentáveis.

Segundo Rosa *et al.* (2001), a fibra e o pó do coco apresentam características distintas dependendo do estágio de maturação do fruto, ou seja, se extraídos do coco verde ou maduro. As fibras oriundas do coco verde, por exemplo, possuem um elevado teor de umidade de aproximadamente 85%, o que pode representar um obstáculo à sua utilização direta, exigindo processos adequados de secagem e tratamento para viabilizar seu uso industrial.

No entanto, Senhoras (2003) defende a utilização da fibra de coco independentemente do estágio de maturação do fruto no momento da extração. O autor destaca que as propriedades do compósito resultante são suficientemente vantajosas para justificar seu uso, independentemente das variações relacionadas à maturidade do coco. São elas:

- **Durabilidade:** As fibras de coco apresentam elevada durabilidade em razão de sua composição lignocelulósica, especialmente pelo alto teor de lignina, o que as torna mais resistentes quando comparadas a outras fibras naturais.
- **Rigidez e impermeabilidade:** A estrutura combinada de celulose e lignina proporciona ao material notável rigidez e resistência à absorção de umidade, características que contribuem para sua estabilidade em diferentes condições ambientais.

- **Resistência a agentes biológicos:** A presença de lignina associada à celulose confere ao material propriedades naturais de proteção contra ataques biológicos, como fungos e roedores, aumentando sua resistência em ambientes suscetíveis a esses agentes.
- **Desempenho acústico:** As fibras de coco favorecem a dispersão sonora e podem ser empregadas como material de tratamento acústico, auxiliando na redução de ruídos e na melhoria do conforto auditivo em ambientes internos.
- **Isolamento térmico:** Devido à sua baixa condutividade térmica — entre 0,043 e 0,045 W/m·K —, a fibra de coco também se destaca como excelente isolante térmico, sendo eficaz na manutenção da temperatura em espaços residenciais e comerciais.

Alagoas dispõe de um dos grandes produtores de fibras vegetais do mundo, como o coco e a cana-de-açúcar que podem ser reaproveitados de diversas formas. A fibra de coco, por sua vez, possui vários benefícios como baixo custo e propriedades físico-químicas adequadas para confecção de chapas para isolamento termo acústico (Souza *et al.*, 2015). Senhoras (2004, p. 10), reforça que:

O coco apresenta inúmeras vantagens na sua utilização, que além de ser um material ecológico e facilmente reciclável, pertencente à família das fibras duras, tem como principais componentes a celulose e a lignina que lhe conferem elevados índices de rigidez e dureza, encontrando-se perfeitamente vocacionada para os mercados de isolamento térmico e acústico, face às suas características, que a tornam num material versátil, dada a sua resistência, durabilidade e resiliência.

2.2.4 Produção de placas a partir da fibra de coco

A utilização de fibras de coco na fabricação de painéis acústicos, propõe uma alternativa sustentável para o reaproveitamento desse resíduo, contribuindo para a redução de impactos ambientais e promovendo melhorias no desempenho acústico de edificações, sejam elas novas ou já existentes. Essa proposta busca aliar responsabilidade ambiental à melhoria do conforto dos usuários nos espaços construídos.

Para determinar os materiais e métodos adequados na produção desses compósitos, é necessário, inicialmente, identificar a finalidade específica das placas ou mantas dentro da edificação. Graças às suas propriedades térmicas e acústicas, as fibras de coco podem ser aplicadas em diferentes elementos da construção, como pisos, paredes, tetos e até fachadas, desde que sejam submetidas aos tratamentos técnicos necessários para cada aplicação.

No caso dos pisos, a aplicação pode ocorrer de duas formas principais: como manta acústica entre lajes, posicionada sob o contrapiso, ou como camada isolante sob pisos laminados. Ambas as soluções têm como objetivo reduzir a propagação de ruídos gerados por impactos diretos, evitando que as vibrações se espalhem para os ambientes adjacentes.

Esse tipo de isolamento acústico é particularmente relevante em edifícios com múltiplas unidades, como condomínios residenciais ou edifícios comerciais, onde o som por impacto tende a atingir andares inferiores e unidades vizinhas, comprometendo o conforto coletivo.

Embora os procedimentos de fabricação das mantas e dos painéis compartilhem etapas semelhantes, este trabalho concentrará a análise no desenvolvimento dos painéis acústicos, abordando suas características técnicas, métodos de fabricação e os testes realizados para avaliar sua eficácia (Bastos, 2009).

2.2.5 Combinação da Fibra de coco com Drywall

Painéis ou mantas com função acústica são, em geral, utilizados em conjunto com outros materiais isolantes, a fim de melhorar a absorção de ondas sonoras em determinados ambientes. Sua aplicação mais frequente ocorre no preenchimento de divisórias internas, especialmente em sistemas construtivos como o drywall. Nesses casos, os materiais acústicos são inseridos no interior das paredes, ficando completamente ocultos após a finalização da obra. Por isso, a aparência desses elementos não influencia sua escolha, sendo o desempenho acústico o principal critério de avaliação (Bistafa, 2011)

Termos como drywall, gesso cartonado, gesso laminado, placa de gesso e pladur referem-se a um mesmo sistema construtivo. Esse método utiliza uma estrutura composta por perfis de aço galvanizado, que recebe o revestimento de chapas de gesso cobertas com papel cartão ou fibras de vidro. Conhecidos como Sistemas Construtivos com Placas de Gesso Laminado (SCPGL), esses sistemas são amplamente empregados na execução de paredes, divisórias e forros, podendo também ser utilizados como soluções de revestimento e isolamento de superfícies (Gonçalves, 2003)

Uma das principais vantagens desse tipo de construção é a leveza em comparação com os métodos tradicionais em alvenaria, o que reduz custos estruturais e agiliza a execução da obra. Essa combinação de praticidade e economia tornou o drywall uma escolha popular tanto em projetos residenciais quanto comerciais. Além disso, trata-se de uma alternativa sustentável,

pois se caracteriza por ser um processo construtivo a seco, ou seja, que não demanda o uso de água e gera quantidade reduzida de resíduos (Mehta, 1999).

2.3 Acústica

De acordo com Silva (2005), o termo "som" pode ser compreendido sob duas perspectivas distintas: a primeira refere-se à vibração física, ou seja, uma perturbação mecânica que se propaga através de um meio material; a segunda diz respeito à sensação auditiva, uma experiência psicofisiológica percebida pelo sistema auditivo humano. Para que o som alcance o ouvido externo (pavilhão auricular), é indispensável a presença de um meio de propagação que possua tanto inércia quanto elasticidade, propriedades essenciais para a transmissão das ondas sonoras.

Conforme Paixão (2002), o som consiste em uma manifestação de energia que se propaga por meio de sucessivas interações entre as moléculas de um determinado material. Esse processo resulta em zonas alternadas de compressão e rarefação das partículas do meio, sendo que a velocidade de propagação sonora varia de acordo com a natureza do meio, seja ele sólido, líquido ou gasoso.

As ondas sonoras são classificadas como ondas mecânicas, uma vez que necessitam de um meio material para se propagar. Sua origem está nas oscilações das partículas do meio ao redor de suas posições de equilíbrio, resultando em sucessivas compressões e rarefações. Por esse motivo, também são denominadas ondas de pressão, pois dependem das variações de pressão no interior do meio para se transmitirem (Carvalho, 2010).

O som pode ser descrito como uma percepção sensorial provocada por estímulos que atingem o sistema auditivo humano. Para que essa percepção aconteça, é indispensável a presença de três componentes fundamentais que possibilitam a propagação e recepção desse fenômeno: **EMISSOR > MEIO > RECEPTOR** (Everest, 2015).

O estímulo sonoro tem início em uma fonte emissora, que gera perturbações capazes de provocar a vibração das moléculas no meio em que se propagam. Essas vibrações percorrem o ambiente até alcançarem o sistema auditivo do receptor (Rossing, 2007).

O meio de propagação é o ambiente por onde essas perturbações se deslocam, caracterizando-se por sucessivos movimentos de compressão e rarefação. Esse processo dá origem às chamadas ondas de pressão, mais conhecidas como ondas sonoras, que são responsáveis pela condução do som (Bistafa, 2011).

Embora o ponto de origem da perturbação seja único, as ondas sonoras podem sofrer modificações ao longo do caminho, dependendo das características do meio ou de obstáculos encontrados. Essas mudanças influenciam diretamente na forma como diferentes receptores percebem o som. A interpretação desse estímulo varia de pessoa para pessoa, podendo ser percebido como um som agradável ou, em contrapartida, como ruído, termo geralmente atribuído a sons indesejáveis ou perturbadores (Pritchard, 2000)

A qualidade dessa perturbação está diretamente ligada à maneira como ela é gerada e transmitida. O som propaga-se de forma mecânica, por meio de pequenas variações na pressão causadas pelo deslocamento das partículas do meio. Essas flutuações de pressão constituem a base da percepção sonora (Everest, 2015).

2.3.1 Reverberação

A reverberação é o fenômeno em que o som permanece audível dentro de um ambiente mesmo após a cessação da emissão pela sua fonte (Costa, 2003). Esse termo, também conhecido como circunstância, pode ser confundido com o eco. No entanto, conforme esclarece Costa (2003, p. 44), enquanto a reverberação representa a continuidade do som no espaço, o eco se caracteriza pela repetição clara e separada do som original.

Entender o conceito de reverberação é essencial, pois ela impacta diretamente a qualidade acústica do ambiente. Um excesso de reverberação pode comprometer a clareza e a compreensão do som, ao passo que sua falta pode dificultar a percepção sonora em locais mais distantes da fonte. Por isso, torna-se fundamental estabelecer um método para quantificar e avaliar esse fenômeno.

O estudo das propriedades dos materiais acústicos e de como interagem com as ondas sonoras tem sido objeto de interesse científico há décadas. De acordo com Bistafa (2011), a resposta acústica de um material depende do modo como sua superfície se comporta diante da incidência de ondas sonoras, sejam elas de baixa ou alta frequência. Ao atingir a superfície, parte da onda é refletida, enquanto o restante pode ser absorvido ou transmitido através do material.

Na área da arquitetura e construção civil, é indispensável desenvolver análises específicas para garantir o controle de ruído dentro das edificações. Esse processo envolve a aplicação de técnicas e a seleção apropriada de materiais com o propósito de reduzir a

propagação de sons indesejáveis e promover um ambiente mais confortável para os usuários. Para alcançar um desempenho acústico satisfatório, é necessário considerar tanto o isolamento de ambientes internos quanto a atenuação de ruídos provenientes do exterior ou que possam sair da edificação.

A escolha dos materiais utilizados na construção é um dos elementos centrais nesse processo. Cada material possui características acústicas próprias, que são determinadas, entre outros fatores, pela sua densidade e pela conformação de sua superfície.

2.4 Acústica e saúde pública

A poluição sonora é reconhecida pela Organização Mundial da Saúde (OMS) como um dos principais fatores ambientais que afetam a saúde humana, especialmente nas áreas urbanas. Exposições prolongadas a níveis elevados de ruído podem resultar em uma série de problemas de saúde, tanto físicos quanto psicológicos.

Na sociedade contemporânea, as pessoas enfrentam um ritmo acelerado em suas atividades diárias, seja no ambiente de trabalho, no trânsito ou em casa. Esse cenário resulta em uma constante exposição a diversos estímulos sensoriais, incluindo o barulho urbano. Embora muitas vezes ignorado, o impacto dessa poluição sonora na saúde humana é substancial e merece atenção.

Durante a década de 1960, os impactos da poluição sonora na saúde humana começaram a ser amplamente reconhecidos, levando especialistas a classificá-la como um problema significativo de saúde pública. Estudos realizados por Passchier (2000) destacam que a exposição prolongada ao ruído pode resultar em diversos problemas de saúde, incluindo:

- Perda auditiva
- Acufeno (zumbido nos ouvidos)
- Estresse e ansiedade
- Aumento da pressão arterial
- Distúrbios do sono
- Fadiga crônica
- Problemas gástricos

Esses efeitos adversos demonstram a necessidade urgente de medidas para mitigar a poluição sonora e proteger a saúde da população.

No campo da engenharia, a acústica desempenha um papel crucial na criação de ambientes saudáveis e confortáveis. Para isso, foram estabelecidas normativas técnicas que orientam o planejamento e a construção de edificações com desempenho acústico adequado. Entre as principais normas brasileiras, destacam-se:

- **NBR 10151 (ABNT, 2019):** Acústica – Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em ambientes externos a edificações.
- **NBR 10152 (ABNT, 2017):** Acústica – Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações.
- **NBR 15575 (ABNT, 2013):** Edificações habitacionais – Desempenho.

Essas normas fornecem diretrizes para a avaliação e controle do ruído, visando minimizar os impactos negativos na saúde e no bem-estar dos ocupantes. A implementação dessas diretrizes é essencial para promover ambientes urbanos mais silenciosos e saudáveis.

Silva (1978, p.12) já falava dos problemas que os ruídos quando afirmou que:

Como poluente, o ruído atinge essencialmente o homem, sem mesmo o avisar através da deterioração do meio físico. E não apenas quando em níveis tão elevados que é fácil a correlação com a perda de eficiência ou o maior esforço no quotidiano. Mas antes disto, bem abaixo, há um primeiro estádio subliminar - todavia de grande desgaste -, vivido no dia-a-dia dos centros urbanos, em edifícios que não foram pensados para a satisfação plena das necessidades do homem - é todo um choque de intimidades, a própria desvendada aos outros e a destes a penetrar pela transparência das paredes, portas, janelas, que dividem sem separar.

Os impactos da poluição sonora na saúde humana são evidentes e podem ser atenuados por meio de técnicas eficazes de isolamento acústico. Essa abordagem, utilizam materiais específicos que desempenham um papel crucial na redução da propagação de ruídos indesejáveis, proporcionando ambientes mais tranquilos e confortáveis (Givoni, 2000).

Embora o investimento inicial em soluções acústicas de qualidade possa ser significativo, os benefícios a longo prazo justificam esse custo. Ambientes com bom isolamento acústico contribuem para a melhoria da qualidade de vida, promovendo um espaço mais silencioso para relaxamento, trabalho e descanso. Além disso, a redução do estresse, a melhoria no sono e o aumento da produtividade são resultados diretos de um ambiente mais controlado acusticamente (Givoni, 2000).

Portanto, ao planejar projetos arquitetônicos, é essencial considerar o isolamento acústico como uma prioridade. Investir nesse aspecto não apenas melhora o conforto dos ocupantes, mas também valoriza o imóvel, tornando-o mais atrativo no mercado. Em resumo, a implementação de soluções acústicas adequadas é fundamental para garantir ambientes que

favoreçam o bem-estar e a saúde dos indivíduos (Associação brasileira para a qualidade acústica, 2021).

2.5 Tratamento acústico

Conforme discutido anteriormente, o conforto acústico desempenha um papel crucial no bem-estar humano, uma vez que a poluição sonora pode afetar a saúde de maneira silenciosa e gradual. Esse tipo de poluição é reconhecido como um problema significativo de saúde pública, afetando milhões de pessoas em áreas urbanas densamente povoadas.

Embora este estudo se concentre nos painéis acústicos produzidos a partir de fibras de coco recicladas, é importante destacar que esses painéis representam apenas uma parte de um sistema mais amplo de tratamento acústico. Eles devem ser integrados a outras soluções para garantir eficácia na redução de ruídos indesejáveis (Everest, 2015).

Independentemente das condições atuais de uma edificação, é possível melhorar seu desempenho acústico por meio de intervenções adequadas. No entanto, é essencial considerar que soluções corretivas tendem a ser mais onerosas e podem não atingir os resultados esperados devido a fatores estruturais ou limitações do projeto original (Bistafa, 2011).

Para alcançar um ambiente com desempenho acústico satisfatório, é fundamental iniciar com um planejamento cuidadoso. Esse planejamento deve considerar desde a concepção do projeto até a escolha dos materiais e técnicas de construção, visando criar espaços que promovam a saúde e o conforto dos ocupantes (Gonçalves, 2003).

3.0 METODOLOGIA

3.1 Tipo de Estudo

Este trabalho configura-se como um estudo de caso com abordagem quantitativa e experimental, visando avaliar o desempenho acústico de um sistema de vedação composto por placas de drywall e painéis absorvedores com fibra de coco vegetal para propor uma solução de aprimoramento em um ambiente de ensino musical.

3.2 Levantamento de Informações

O levantamento de informações foi realizado diretamente no local, por meio de visitas técnicas, observações visuais e levantamento fotográfico com o intuito de identificar os problemas relacionados ao isolamento acústico e conforto sonoro.

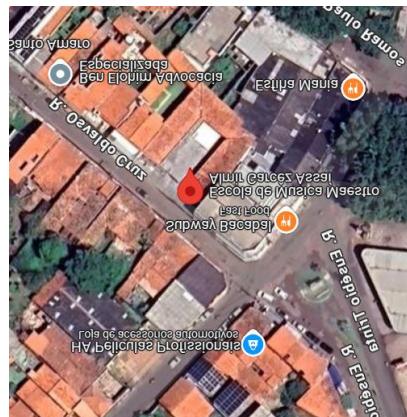
3.3 Área de Estudo

A pesquisa foi realizada na Escola de Música Maestro Almir Garcez Assaí (EMMAGA), situada em Bacabal-MA. Fundada inicialmente como Escola de Música de Bacabal, a instituição foi renomeada em 2013 em homenagem a Almir Garcez Assaí, um importante incentivador da música na cidade. Inaugurada em 17 de abril de 2006, a EMMAGA é a única escola pública de Bacabal a oferecer ensino de musicalização e desempenha um papel fundamental na formação musical básica de jovens talentos da região. A escola oferece cursos gratuitos de violão, canto, teclado, bateria, guitarra e contrabaixo, ministrados por professores capacitados, atendendo a uma ampla faixa etária de 9 a 72 anos nos turnos matutino, vespertino e noturno.

A EMMAGA é um pilar cultural em Bacabal, promovendo diversas atividades culturais, como apresentações da Banda Santa Cecília, formada por alunos e ex-alunos, e eventos como o "São João Itinerante na Terra da Bacaba", idealizado pelo Maestro Victor Emanuel das Chagas Sousa (Diretor da Escola e ex-secretário da Cultura de Bacabal), que levam a cultura local aos bairros e povoados de Bacabal. Além disso, a escola realiza testes de aptidão musical

para ingresso, garantindo que os alunos selecionados possuam o perfil adequado para os cursos oferecidos. Sua localização pode ser visualizada na Figura 5.

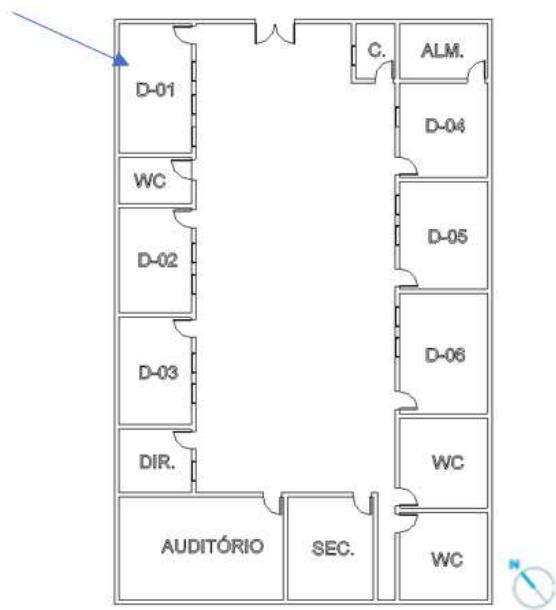
Figura 5: Localização da Escola de Música Maestro Almir Garcez Assaí.



Fonte: Google Maps (2025)

A EMMAGA apresenta uma configuração arquitetônica composta por três corredores principais, com um total de seis salas de aula distribuídas em dois corredores e destinadas ao ensino de instrumentos musicais. Adicionalmente, a edificação inclui ambientes administrativos e de apoio, como secretaria, diretoria, almoxarifado, copa e banheiros. Para este estudo, o ambiente selecionado foi a sala D-01, localizada próximo à entrada do bloco, conforme ilustrado na Figura 6. A sala D-01 possui dimensões de $3,60 \text{ m} \times 6,50 \text{ m}$ e pé-direito de $2,80 \text{ m}$, resultando em uma área de $23,4 \text{ m}^2$ e volume de $65,52 \text{ m}^3$. Uma visão interna do ambiente analisado é apresentada na Figura 7.

Figura 6: Planta Esquemática, com sala D-01 em destaque.



Fonte: Autora (2025).

Figura 7: Visão interna da sala D-01, ambiente analisado neste estudo.



Fonte: Autora (2025)

O mobiliário usual da sala D-01 é composto por onze teclados, uma mesa de apoio, um aparelho de ar-condicionado e cadeiras de polipropileno. As características construtivas preliminares da sala incluem paredes com espessura aproximada de 14 cm, visualmente indicando alvenaria de vedação revestida com chapisco e pintura, como observado na Figura 8. As esquadrias são formadas por perfis metálicos e vidro simples, enquanto a porta é de madeira, ambas apresentando frestas visíveis e ausência de soluções específicas para isolamento acústico (Figura 9). Os forros são individuais de gesso e as salas compartilham um único telhado que cobre todo o bloco. Foi realizado um pré-dimensionamento da sala D-01, necessita de quatorze painéis acústicos confeccionados artesanalmente com fibra de coco, com dimensões de 2400 mm x 900 mm x 40 mm, instalados com espaçamento de 30 mm em relação à parede.

Figura 8: Revestimento da parede interna da sala D-01.



Fonte: Autora (2025).

Figura 9: Fresta na porta e detalhe da janela da sala D-01.



Fonte: (A) e (B) Autora (2025).

3.4 Coleta e Análise de Dados Acústicos

A análise acústica da sala D-01 foi desenvolvida em duas etapas principais: a medição dos níveis de pressão sonora e a estimativa do tempo de reverberação. As medições foram feitas antes e depois da proposta de intervenção, analisando assim o desempenho acústico.

3.4.1 Medição dos Níveis de Pressão Sonora

Para a primeira parte deste estudo, os níveis de pressão sonora foram medidos e analisados conforme os procedimentos estabelecidos pela NBR 10152:2020. As principais fontes de ruído com impacto negativo no ambiente foram identificadas como: atividades de alunos e funcionários nos corredores externos, funcionamento do sistema de ar-condicionado (9000 BTU/h, 497 m³/h) e ruídos provenientes do tráfego de veículos nas vias adjacentes. Além disso, atividades realizadas em outras salas, especialmente a prática de bateria na sala D-04, foram consideradas fontes pronunciadas de ruído.

3.4.2 Instrumentação Utilizada

As medições acústicas foram realizadas no final da tarde do dia 19 de maio de 2025. As medições dos níveis de pressão sonora foram realizadas com o auxílio de um decibelímetro de modelo DEC- 490 da marca Instrutherm. Este equipamento permite medições confiáveis de

níveis contínuos equivalentes (Leq), níveis máximos (Lmax) e análise espectral por bandas de terço de oitava, essenciais para uma avaliação acústica completa.

3.4.3 Procedimentos de Medição

As medições foram realizadas conforme as diretrizes da norma NBR 10152:2020 (Acústica – Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações), considerando os seguintes critérios:

- **Período de medição:** As avaliações ocorreram em período diurno, fora dos horários de pico de ruído externo, a fim de minimizar interferências de fontes sonoras não relacionadas ao ambiente de estudo.
- **Posicionamento do microfone:** O microfone do decibelímetro foi posicionado a 1,20 m do piso e a uma distância mínima de 1,00 m das paredes, conforme orientação normativa, para representar adequadamente o campo difuso da sala.
- **Pontos de medição:** Foram definidos três pontos equidistantes dentro do ambiente, abrangendo a região central e as laterais da sala, de modo a capturar variações espaciais dos níveis de pressão sonora.
- **Condições de operação:** Durante as medições, os onze teclados foram operados simultaneamente por músicos executando repertório padronizado (escalas e acordes) para garantir repetibilidade e representatividade do uso real do espaço. O volume dos instrumentos foi ajustado para 75% da capacidade máxima de amplificação, simulando condições típicas de aula coletiva.

Foram realizados pontos de medição (A, B, C) foram posicionados na sala D-01, mantendo uma distância superior a 1 metro de portas, janelas e paredes para minimizar a interferência de reflexões diretas. O ponto A ficou localizado no centro da sala, ponto B na frente próximo a entrada, ponto C lado no fundo da sala na parte direita. As medições foram realizadas na mesma altura todos os pontos, adotando uma altura de 1,20 m. As grandezas de avaliação adotadas foram: LAeq,T (Nível de pressão sonora contínuo equivalente, ponderado em A e integrado em um intervalo de tempo T) e Leq,T,fHz (1/1) (Nível de pressão sonora contínuo equivalente em banda de 1/1 de oitava, com frequência central f Hz, integrado no mesmo intervalo T).

O tempo de integração adotado para todas as medições foi de aproximadamente 30 segundos, calculado a partir da média logarítmica dos valores registrados a cada intervalo de 1 segundo. O nível equivalente de pressão sonora (L_{Aeq}) em cada ponto de medição foi determinado pela média logarítmica dos resultados obtidos naquele local específico. Na situação 1, os valores registrados foram: L_{Aeq,32s} em A1, L_{Aeq,33s} em B1, L_{Aeq,32s} em C1, os três pontos foram escolhidos para melhor caracterização acústica do ambiente.

3.4.4 Estimativa do Tempo de Reverberação (T60)

Na segunda parte deste estudo, foi calculado a estimativa do tempo de reverberação. O tempo de reverberação corresponde ao intervalo necessário para que o som se torne inaudível após a interrupção da fonte emissora, sendo expresso em segundos (ABNT, 1992).

A medição do tempo de reverberação (T60 ou RT60) da sala foi estimado utilizando a fórmula de Norris-Eyring, por meio do software Reverb, ferramenta de código aberto desenvolvida por Gomes, FAAC-UNESP. O T60 representa o tempo necessário para que o nível de pressão sonora de uma fonte impulsiva se reduza em 60 dB, correspondendo a um decréscimo da energia sonora por um fator de 106. A escolha da fórmula de Norris-Eyring se deu por sua maior precisão em ambientes com menor refletância acústica, como a sala analisada, em comparação à equação de Sabine (Strutt acoustics, 2022). Foi considerado as condições ambientais de 25°C de temperatura e 70% de umidade relativa do ar.

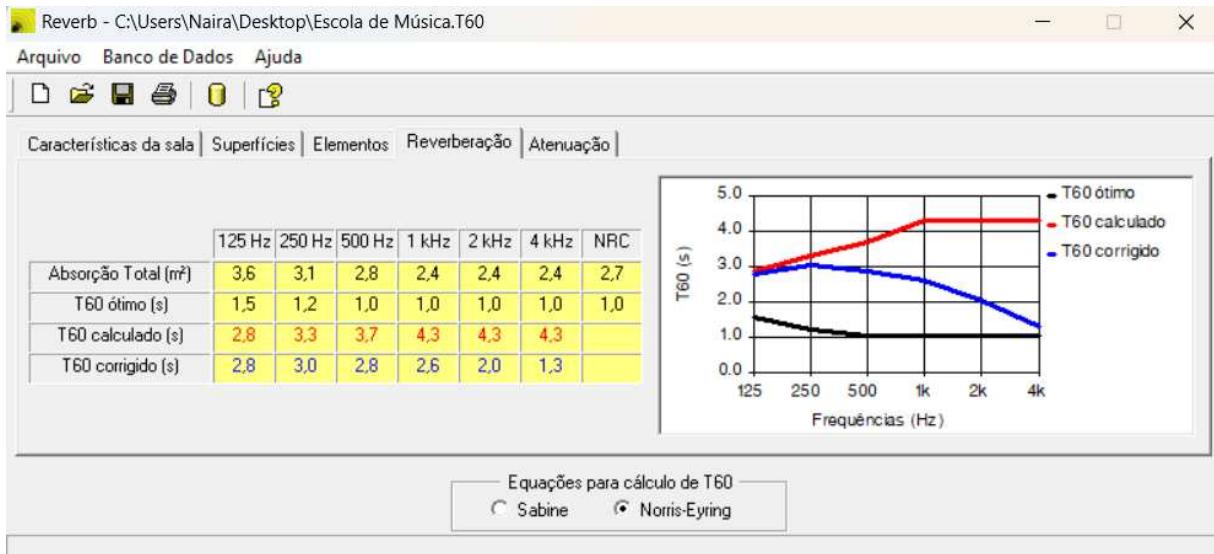
Para o cálculo, foram consideradas as superfícies de revestimento da sala D-01 e seus respectivos coeficientes de absorção, listados no Quadro 2. O software permite que coloque as superfícies existentes no ambiente. Inicialmente foi pontuado o uso acústico no software, a posição da fonte como aresta à meia distância entre piso e teto e tendo como maior distância fonte-ouvinte de sete metros. Em uma outra aba foi situado as superfícies existentes no ambiente, como paredes, piso, forro, janelas e porta. Nessa etapa é caracterizado o tipo de material da superfície, quantidade e área. Foram tidos para fins de cálculo os elementos absorvedores internos à sala, onze músicos sentados com instrumentos. Os dados obtidos da estimativa do T60 são apresentados.

Quadro 2: Superfícies de revestimentos consideradas no cálculo do T60 antes do tratamento acústico aplicado.

Nome	Área (m ²)	Material da superfície	Coeficientes de absorção por banda de oitava					
			125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
Paredes	52,12	Reboco áspero	0.010	0.010	0.020	0.020	0.020	0.020
Piso	23,4	Ladrilho cerâmico com superfície lisa (SBI)	0.010	0.010	0.010	0.020	0.020	0.020
Forro	23,4	Forro de gesso acartonado com ou sem enchimento (Bistafa)	0.100	0.080	0.050	0.030	0.030	0.030
Janelas	3,0	Vidro simples, superfície – 3 mm (SBI)	0.100	0.070	0.050	0.030	0.020	0.020
Porta	1,44	Madeira (pinho em tábuas)	0.160	0.160	0.130	0.100	0.060	0.060

Fonte: Autora (2025)

Figura 10: T60 calculado por banda de oitava antes do tratamento acústico.



Fonte: Autora (2025)

3.5 Análise dos dados obtidos antes do Tratamento Acústico

A avaliação dos dados obtidos evidencia que a sala de música apresenta um tempo de reverberação excessivo, sobretudo nas faixas de frequência média (500 Hz a 2 kHz), as quais são determinantes para a nitidez e definição sonora de instrumentos como teclados eletrônicos. Os valores de T60 calculado superaram significativamente os limites ideais estabelecidos para o ambiente deste tipo, o que mostra a necessidade de um tratamento eficiente.

Mesmo considerando a simulação de uma correção acústica (T60 corrigido), os resultados ainda assim não atingem plenamente os parâmetros recomendados, demonstrando a

necessidade de um reforço no uso de materiais absorventes de alto desempenho acústicos, tais como painéis de fibra vegetal (como a fibra de coco), forros acústicos e elementos difusores. A aplicação destes materiais deve ser priorizada em paredes, local de pontos críticos para a redução efetiva da reverberação.

3.6 Proposta de Intervenção Acústica e Resultados da Simulação

Após a coleta e análise dos dados acústicos do cenário atual da sala D-01, este estudo procede com a análise de uma proposta de intervenção construtiva visando o aprimoramento do conforto sonoro do ambiente. A solução central a ser analisada envolve a aplicação de painéis absorvedores de fibra de coco e o revestimento com parede dupla em drywall.

Foram realizadas novas medições dos níveis de pressão sonora e do tempo de reverberação do ambiente, com o objetivo de possibilitar comparações e avaliar possíveis aprimoramentos nas condições acústicas do local. A avaliação do potencial de desenvolvimento dessas intervenções será realizada por meio de simulações utilizando o software Reverb. Neste processo, são analisadas as características acústicas de amostras de painéis de fibra de coco e a configuração da parede dupla em drywall, conforme as especificações da proposta:

Figura 11: Composição de parede com alvenaria, painel de fibra de coco e drywall.



Fonte: Robalino (2025)

- **Painéis Absorvedores em Fibra de Coco:** Considerar-se-á a instalação de painéis com dimensões de 2400 mm x 900 mm x 40 mm, espaçados em 30 mm da parede, dispostos em pontos estratégicos de reflexão sonora. Os coeficientes médios de absorção para a fibra de coco adotados nas simulações serão os previamente indicados em estudos

experimentais para esse material, que são: 0.10 (125 Hz), 0.25 (250 Hz), 0.55 (500 Hz), 0.70 (1000 Hz), 0.95 (2000 Hz), 0.97 (4000 Hz).

- **Revestimento com Parede Dupla em Drywall:** A simulação incluirá a configuração de uma estrutura complementar em drywall sobre a alvenaria existente. Essa solução será composta por dupla camada de chapas de gesso acartonado (12,5 mm cada), espaço interno preenchido com placas de fibra de coco, estrutura metálica com perfis de aço galvanizado e uma câmara de ar de 40 mm entre a alvenaria e o drywall.

Com a proposta da utilização dos painéis absorvedores em Fibra de coco. Foi realizado novas simulações que foram comparados com os valores medidos anteriormente e estimados no projeto de intervenção, bem como com os parâmetros de tempo de reverberação recomendados pela literatura e normas técnicas para ambientes de prática musical. Nessa etapa da medição foi incluído a superfícies consideradas para o cálculo e seus coeficientes de absorção os painéis de fibra vegetal de coco. Foi considerado como elementos absorvedores internos à sala apenas onze músico sentados com instrumentos para fins de cálculo.

Quadro 3: Superfícies de revestimentos consideradas no cálculo do T60.

Nome	Área (m²)	Material da superfície	Coeficientes de absorção por banda de oitava					
			125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
Paredes	52,12	Reboco áspido	0.010	0.010	0.020	0.020	0.020	0.020
Painéis Absorvedores	30,24	Painel absorvedor em fibra de coco, revestido com tecido	0.10	0.25	0.55	0.70	0.95	0.97
Piso	23,4	Ladrilho cerâmico com superfície lisa (SBI)	0.010	0.010	0.010	0.020	0.020	0.020
Forro	23,4	Forro de gesso acartonado com ou sem enchimento (Bistafá)	0.100	0.080	0.050	0.030	0.030	0.030
Janelas	3,0	Vidro simples, superfície – 3 mm (SBI)	0.100	0.070	0.050	0.030	0.020	0.020
Porta	1,44	Madeira (pinho em tábuas)	0.160	0.160	0.130	0.100	0.060	0.060

Fonte: Autora (2025)

4.0 RESULTADOS

Nesta seção, serão apresentados os resultados das medições e estimativas realizadas na sala D-01 da Escola de Música Maestro Almir Garcez Assaí, conforme a metodologia descrita, seguidos da proposta de intervenção acústica e dos resultados de sua simulação, culminando na discussão e avaliação da eficácia da solução.

4.1 Medições dos níveis de pressão sonora

A eficácia da proposta de intervenção foi verificada por meio de simulações utilizando o software Reverb. A simulação da sala D-01 com a implementação dos painéis de fibra de coco e o revestimento em drywall demonstrou uma melhoria significativa no tempo de reverberação, especialmente nas baixas frequências, onde o cenário atual apresentava maior persistência sonora.

As medições dos níveis de pressão sonora na sala D-01 foram realizadas em três pontos distintos para caracterizar o ambiente acústico atual, conforme procedimentos da NBR 10152:2020. Primeiramente foi calculado a maior distância ouvinte entre os pontos. Sabendo que Ponto B (Centro): (3,25m; 1,76), Ponto C (Frente/Entrada): (1,0; 1,76m) e Ponto A (Fundo/Lado direito): (5,5m; 2,52). Foi utilizada a seguinte fórmula:

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

Os resultados foram: Ponto A: 2,25 m; Ponto B ≈ 2,38 m e Ponto C ≈ 4,56 m. Foi adotado como 4,5 m a maior distância fonte-ouvinte.

De modo geral, os tempos de reverberação obtidos são compatíveis com os parâmetros indicados na literatura, que sugerem valores ideais entre 0,3 e 1,2 segundos na faixa de 500 Hz. Os valores obtidos, em comparação com os níveis de referência recomendados para salas de música pela mesma norma, são apresentados no Quadro 4.

Quadro 4: As medições dos pontos das situações analisadas.

Situação	A	B	C	Valores de referência
LAeq [dB]	20,4	28,1	32,7	35
LASmax[dB]	20,9	29,9	34,4	40
LNC	20	27	30	30

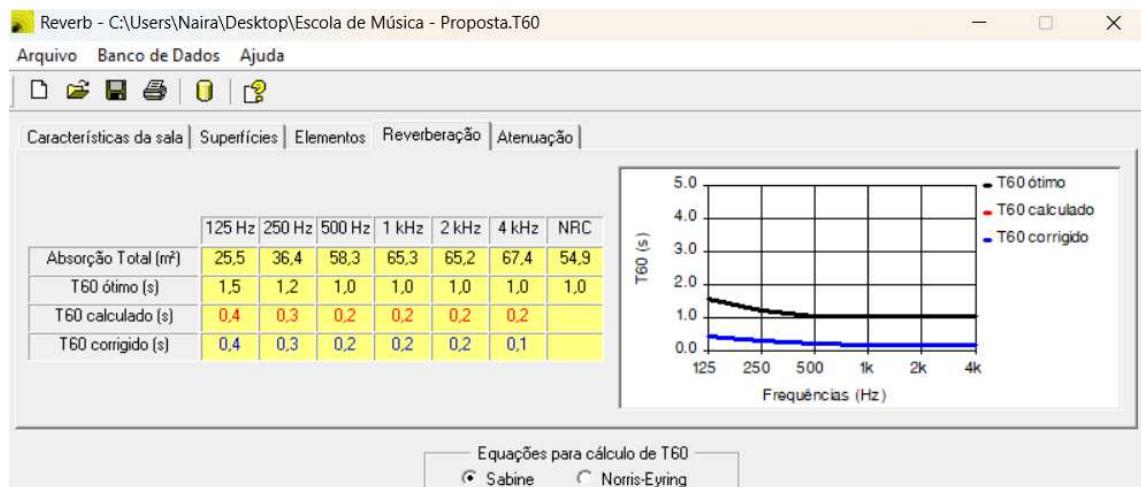
Fonte: Autora (2025)

A análise dos resultados (Quadro 4) indica que a sala, em todas as condições avaliadas, está em conformidade com os parâmetros estabelecidos pela NBR 10152:2020, bem como com as recomendações da literatura especializada. Contudo, observam-se elevações significativas nos níveis de LAeq nas situações B (teclado sendo tocado) e C (influência direta do ruído de rua adjacente.), superando o ruído de fundo em 8 dB e 11 dB, respectivamente. Notou-se que o sistema de ar-condicionado contribui para o aumento do ruído (situação A), especialmente nas faixas de frequência mais baixas. Na situação C, a transmissão das frequências fundamentais do teclado (que variam de 27,5 Hz a 4186 Hz) é perceptível, enquanto frequências mais agudas são menos evidentes, o que pode ser atribuído à reflexão pelas superfícies da sala ou absorção pelos painéis existentes.

4.2 Estimativa do Tempo de Reverberação (T60)

Os valores estimados de tempo de reverberação (T60) para cada faixa de oitava na sala D-01 como foram apresentados na Figura 12. Observa-se que as frequências mais graves exibem maior persistência sonora, o que é esperado. O gráfico apresenta o tempo de reverberação (T60) em função da frequência sonora (Hz), com três curvas distintas

Figura 12: T60 calculado por banda de oitava com o tratamento acústico.



Fonte: Autora (2025)

Onde:

- **T60 ótimo (preto):** Representa o tempo de reverberação considerado ideal para o ambiente analisado. A curva preta está entre **1,5 s e 1,0 s**, decrescendo levemente nas frequências mais altas, o que é esperado para ambientes de uso musical ou voz.
- **T60 calculado (vermelho):** Não está visível claramente nesta imagem, sugerindo que os valores de reverberação calculados coincidem ou estão próximos da curva corrigida (azul), ou que a curva vermelha foi suprimida ou não diferenciada graficamente.
- **T60 corrigido (azul):** Representa o tempo de reverberação após aplicação de tratamento acústico (como os painéis de fibra de coco mencionados anteriormente). Essa curva mantém valores consistentemente baixos, próximos de **0,1 s a 0,4 s** ao longo de toda a faixa de frequências (125 Hz a 4 kHz).

4.3 Discussão dos Resultados e Avaliação da Proposta

Foi analisado os resultados obtidos e realizado uma comparação das medidas atuais (Seção 4.1 e 4.2) e os resultados simulados com a proposta de intervenção (Seção 3.4.3 e 3.4.4) evidencia o potencial de aprimoramento acústico. O desconforto contatado pelos usuários e as características do T60 (maior persistência em baixas frequências) indicavam a necessidade de otimização para um ambiente musical.

A proposta de aplicação combinada de painéis de fibra de coco e parede dupla em drywall demonstrou, via simulação, uma redução substancial do tempo de reverberação. O T60 médio (500 Hz) estimado para o cenário proposto se enquadra na faixa de 0,4 a 0,6 segundos, que é a faixa recomendada para ambientes de prática musical com foco em clareza e definição sonora. Essa otimização é crucial para atividades como o ensino e ensaio instrumental, onde a escuta crítica e a distinção de nuances sonoras são essenciais.

A melhoria no equilíbrio espectral do campo reverberante, especialmente nas baixas frequências, é um resultado positivo da combinação dos materiais propostos. Os painéis de fibra de coco atuam eficazmente nas médias e altas frequências, enquanto a configuração da parede dupla em drywall com câmara de ar e preenchimento com fibra de coco, somada a absorvedores de membrana sintonizados, contribui para o controle das baixas e médias frequências. Isso resolve a "acentuação da reverberação nas baixas frequências" observada no cenário atual.

Além do desempenho acústico, a proposta reforça o compromisso com a sustentabilidade, ao utilizar um resíduo agrícola abundante no Brasil, a fibra de coco. Esta

abordagem não só oferece uma alternativa de baixo custo e impacto ambiental em comparação com materiais convencionais como lã de rocha e vidro, mas também promove a economia circular na construção civil. A combinação com o sistema drywall ainda agrupa vantagens de leveza estrutural e facilidade de execução, representam um caminho viável e eficiente para transformar a sala D-01 em um ambiente acusticamente otimizado para o ensino musical.

5.0 CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo propor uma solução acústica para salas de aula, utilizando painéis de fibra de coco em conjunto com o sistema drywall, e avaliar seu potencial de melhoria do desempenho sonoro na Escola de Música Maestro Almir Garcez Assaí (EMMAGA), em Bacabal-MA. Para tal, foram realizadas medições dos níveis de pressão sonora e estimativas do tempo de reverberação na sala D-01, que revelaram, apesar da conformidade normativa, deficiências significativas em seu conforto acústico para o ensino musical. Os resultados das medições iniciais demonstraram que, embora os níveis de pressão sonora estivessem dentro dos parâmetros da NBR 10152:2020, o ruído percebido ainda gerava desconforto aos usuários, devido especialmente à interferência de sons de outras salas e do sistema de ar-condicionado. A estimativa do tempo de reverberação (T60) indicou uma maior persistência sonora nas baixas frequências, apontando para a necessidade de um tratamento acústico mais equilibrado para um ambiente de prática musical.

A proposta de intervenção, que combinou a aplicação de painéis absorvedores de fibra de coco com um revestimento de parede dupla em drywall, mostrou-se promissora. As simulações realizadas com o software Reverb indicaram uma redução substancial e um equilíbrio mais adequado do tempo de reverberação, aproximando-o da faixa ideal de 0,4 a 0,6 segundos recomendada para ambientes de ensino musical. Esse resultado demonstra a eficácia da solução proposta em otimizar o desempenho acústico, abordando tanto a absorção quanto o isolamento sonoro. Do ponto de vista da sustentabilidade, o uso da fibra de coco representa uma alternativa de baixo impacto e alto valor ecológico, transformando um resíduo abundante no Brasil em um material construtivo de alto desempenho. Esta abordagem alinha-se aos princípios da economia circular e oferece benefícios como baixo custo, facilidade de execução e leveza estrutural.

Conclui-se, portanto, que a combinação de painéis de fibra de coco com o sistema drywall é uma solução técnica viável e promissora para o aprimoramento acústico de salas de aula, especialmente em escolas de música como a EMMAGA. Este estudo reforça a importância de abordar o condicionamento e isolamento acústico desde a fase de concepção dos projetos arquitetônicos, evitando deficiências que comprometem o conforto e a qualidade de vida dos usuários. Para futuras pesquisas, recomenda-se a continuidade dos estudos com foco no acompanhamento da aplicação em escala real da solução proposta e medições pós-implementação para validação dos resultados simulados; na análise aprofundada de variáveis

complementares como o comportamento térmico, a durabilidade e a resistência mecânica do sistema de vedação proposto; e em estudos de viabilidade econômica detalhados da produção e instalação dos painéis de fibra de coco em comparação com alternativas convencionais.

REFERÊNCIAS

- AGOPYAN, V. **Composição química das fibras vegetais brasileiras.** 1991.
- ANTON, Howard. **Cálculo: um novo horizonte.** 8. ed. Porto Alegre: Bookman, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15.575: Edificações habitacionais – Desempenho.** Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10152: Acústica – Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações.** Rio de Janeiro, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA A QUALIDADE ACÚSTICA (ProAcústica). **Manual ProAcústica de Desempenho Acústico - Habitação.** São Paulo: ProAcústica, 2021.
- BASTOS, L. P. **Desenvolvimento e Caracterização acústica de painéis multicamadas unifibra, multifibras e mesclados, fabricados a partir de fibras vegetais.** 2009.
- BISTAFA, Sylvio R. **Acústica aplicada ao controle do ruído.** 3. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2018.
- BRAINER, S. **O cultivo do coqueiro no Brasil: expansão, produção e distribuição.** 2018.
- BRASIL. EMBRAPA. **Produção de coco no Brasil: aspectos econômicos e tecnológicos.** Brasília: Embrapa, 2011.
- BRASIL. **Políticas públicas para o manejo adequado de resíduos sólidos nas áreas urbanas brasileiras.** Brasília, DF, 2005.
- BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 3 ago. 2010.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Biodiversidade brasileira: diversidade, conservação e uso sustentável.** [s.d.]. Disponível em: <http://www.mma.gov.br>. Acesso em: 8 abril. 2025
- CABRERA, E.; NWAUBANI, S. O. **Fibras naturais na construção civil: histórico e perspectivas.** 1990.
- CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). **Medição e avaliação dos níveis sonoros em ambientes internos: importância do controle acústico em projetos de edificações.** Brasília, 2013.
- CARRIJO, J. A. et al. **Utilização da fibra do coco maduro como substrato agrícola.** 2002.
- CARVALHO, R. P. **Acústica arquitetônica.** 2 ed. Brasília: Thesaurus Editora, 2010. 238 p.

- COSTA, E. C. Acústica técnica. 1 ed. São Paulo: Editora Blucher, 2003. 127 p.
- CUENCA, M. **El cultivo del coqueiro (Cocos nucifera L.): producción y aprovechamiento.** 1998.
- DUARTE, L. F.; IMAI, N. N.; NII, T. **Potencialidade da fibra de coco para aplicações industriais.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 13, n. 4, p. 401-406, 2009.
- ECYCLE. **Política Nacional de Resíduos Sólidos: objetivos estratégicos.** 2019. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/politica-nacional-de-residuos-solidos>. Acesso em: 3 maio. 2025.
- Escola de Música de Bacabal passa a se chamar Escola de Música Maestro Almir Garcez Assaí. *Castro Digital*, 17 abr. 2013. Disponível em: <https://castrodigital.com.br/2013/04/programacao-aniversario-93-anos-bacabal-17-abril-2013.html>. Acesso em: 20 maio. 2025.
- EVEREST, F. Alton; POHLMANN, Ken C. **Master Handbook of Acoustics.** 6. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2015.
- FARIA, João Roberto Gomes de. **Reverb: software de código aberto para estimativa do tempo de reverberação (T60) baseado na fórmula de Norris-Eyring.** Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação – FAAC, UNESP.
- FONTES, A.; WANDERLEY, M. **Modernização das práticas agrícolas no cultivo do coqueiro: avanços técnico-científicos e manejo agronômico.** 2006.
- FRANCO, A. L. **Fibras naturais e sintéticas: propriedades e aplicações.** 2010.
- GIVONI, Baruch. **Conforto térmico e acústico em edifícios.** São Paulo: Edgard Blücher, 2000.
- Gonçalves, Orestes Marraccini & Guedes, Carlos Augusto. **Manual de Construção em Gesso Acartonado.** 2003.
- L. NETO, R. B.; PARDINI, L. C. **Fibras naturais: características e potencial de aplicação. Polímeros: Ciência e Tecnologia,** São Carlos, v. 16, n. 3, p. 159-166, 2006.
- MARTINS, D. Júnior. **Análise da produção e produtividade do cultivo do coqueiro no Brasil.** 2014.
- MATTOS, A. S. et al. **Influência do período de colheita na qualidade da água de coco.** [S.l.], s.d.
- MEHTA, Medhan; JOHNSON, James M.; ROCAFORT, Jorge. **Architectural Acoustics: Principles and Design.** Upper Saddle River: Prentice Hall, 1999.
- MOTTA, M. **Características morfológicas das fibras vegetais.** 2005.

NBR 10.151: **Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade** – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

NBR 12.179: **Tratamento acústico em recintos fechados**. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

NETO, J. M. F. et al. **Produção e qualidade da água de coco: aspectos agronômicos e tecnológicos**. 2002.

O TEMPO. **Brasil é maior produtor mundial de água de coco**; veja dados. 2018. Disponível em: <https://www.otime.com.br/economia/brasil-e-maior-produtor-mundial-de-agua-de-coco-veja-dados-1.1954849>. Acesso em: 5 jun. 2025.

PAIXÃO, D. X. Caracterização do isolamento acústico de uma parede de alvenaria, utilizando análise estatística de energia (SEA). 2002. 161 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

PASSCHIER-VERMEER, W.; PASSCHIER, W. F. Noise exposure and public health. *Environmental Health Perspectives*, v. 108, 2000.

PASSOS, R. S. **Conteúdo de lignina em fibras de coco e suas propriedades**. 2005.

PREFEITURA DE BACABAL. **A escola de música e suas atividades culturais em Bacabal**. Bacabal, 2023. Disponível em: <https://www.bacabal.ma.gov.br/artigo/345>. Acesso em: 20 maio. 2025.

PREFEITURA DE BACABAL. **A importância da Escola de Música Maestro Almir Garcez Assaí na cultura local**. Bacabal, 2023. Disponível em: <https://www.bacabal.ma.gov.br/artigo/com-mais-de-200-alunos-matriculados-escola-de-musica-de-bacabal-inicia-atividades>. Acesso em: 20 maio. 2025.

PRITCHARD, S.; SARSBY, R.; ANAND, K. *Environmental noise and its control*. London: Taylor & Francis, 2000.

RITCHARD, S.; SARSBY, R.; ANAND, S. **Natural vegetable fibers: properties and structural applications**. 2000.

ROSA, J. M. **Aproveitamento dos resíduos do coco: desafios e perspectivas**. 2000.

ROSA, M. F. *Alternativas para o uso da casca do coco verde*. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1998.

ROSSING, Thomas D. *The Science of Sound*. 3. ed. San Francisco: Addison Wesley, 2007.

SAVASTANO JUNIOR, H. **Propriedades comparativas de fibras vegetais e sintéticas em matrizes cimentícias**. 2000.

SECRETARIA DE CULTURA DE BACABAL. **Escola de Música Maestro Almir Garcez Assaí oferece cursos gratuitos de violão, canto, teclado, bateria, guitarra e contrabaixo**. Bacabal, 2024. Disponível em: <https://www.bacabal.ma.gov.br/artigo/com-mais-de-200>.

alunos-matriculados-escola-de-musica-de-bacabal-inicia-atividades. Acesso em: 20 maio. 2025.

SENHORAS, E. M. Estratégias de uma agenda para a cadeia agroindustrial do coco: Transformando a ameaça dos resíduos em oportunidade eco-eficientes. Campinas, SP: Universidade Estadual de Campinas – Instituto de Economia, 2003.

SENHORAS, R. F. Potencial e propriedades das fibras da casca do coco verde. 2003.

SILVA, Luiz Edmundo Bouça da. Poluição sonora e qualidade de vida nas edificações urbanas. Rio de Janeiro: UFRJ/FAU, 1978.

SILVA, M. A.; JOHN, V. M. Estrutura e composição das fibras vegetais. 2003.

SILVA, P. Acústica arquitetônica e condicionamento de ar. 5 ed. Belo Horizonte: EDTAL E. T. Ltda, 2005. 339 p.

SPĀRNINŠ, A. Influência dos fatores ambientais nas propriedades das fibras naturais. 2006.

STROMDAHL, M. A função da lignina na estrutura das fibras vegetais. 2000.

TOLEDO FILHO, R. D. Classificação morfológica das fibras vegetais. 1997.