

**INSTITUTO CEUB DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA – UniCEUB**

**PROGRAMA DE MESTRADO EM ARQUITETURA E URBANISMO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO - CIDADE E HABITAÇÃO
LINHA DE PESQUISA - CIDADE, INFRAESTRUTURA URBANA, TECNOLOGIA E
PROJETO**

PAULO FERNANDO LISBOA DE VASCONCELOS

**ESTUDO DE VIABILIDADE NA UTILIZAÇÃO DA FIBRA
DE COCO PARA SOLUÇÕES DE TRATAMENTO ACÚSTICO
EM EDIFICAÇÕES**

BRASÍLIA

2020

PAULO FERNANDO LISBOA DE VASCONCELOS

**ESTUDO DE VIABILIDADE NA UTILIZAÇÃO DA FIBRA DE
COCO PARA SOLUÇÕES DE TRATAMENTO ACÚSTICO EM
EDIFICAÇÕES**

Dissertação apresentada como requisito para a conclusão do curso de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo pelo Instituto CEUB de Pesquisa e Desenvolvimento ICPD do Centro Universitário de Brasília.

Orientador: Dr. Gustavo Alexandre Cardoso Cantuaria
Coorientadora: Dra. Maria Eleusa Montenegro

BRASÍLIA

2020

PAULO FERNANDO LISBOA DE VASCONCELOS
ESTUDO DE VIABILIDADE NA UTILIZAÇÃO DA FIBRA DE
COCO PARA SOLUÇÕES DE TRATAMENTO ACÚSTICO EM
EDIFICAÇÕES

Dissertação apresentada como requisito para a conclusão do curso de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo pelo Instituto CEUB de Pesquisa e Desenvolvimento – ICPD, do Centro Universitário de Brasília (UniCEUB).

Orientador: Dr. Gustavo Alexandre Cardoso Cantuaria
Coorientadora: Dra. Maria Eleusa Montenegro

Brasília, 19 de fevereiro de 2020

BANCA EXAMINADORA

Prof. Gustavo Alexandre Cardoso Cantuaria, Dr.
Orientador

Profa. Maria Eleusa Montenegro, Dra.
Coorientadora

Prof. Manuel Correia Guedes, Dr.
Examinador Externo

Prof. Leonardo Pinto de Oliveira, Dr.
Examinador Interno

Pelo eterno apoio e amor incondicional,
aos meus pais, Rachel e Caetano,
DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, meus pais, José Caetano de Vasconcelos e Rachel Lisbôa de Vasconcelos, a minha irmã Anna Beatriz Lisbôa de Vasconcelos e ao meu cunhado Bruno Santos Ribeiro, por todo o apoio e incentivo, não somente durante essa jornada, mas também em todos os momentos que me levaram até essa conquista.

Agradeço à minha namorada Máyla Delben de Moraes por ter estado junto comigo durante a realização deste trabalho, sempre com muita dedicação e me apoiando em todos os momentos.

Agradeço a todos os meus colegas do mestrado que tive o prazer de conhecer, em especial ao meu amigo Paulo Cesar Galante, pela sua amizade e parceria.

Agradeço a todo o corpo docente e administrativo do UniCEUB, em especial ao assistente administrativo Fernando Portela e aos professores Maria Eleusa Montenegro, Paulo Afonso Carmona e também especialmente ao professor Sávio Tadeu Guimarães, por toda a amizade e incentivo.

Agradeço à coordenadora Eliete de Pinho Araujo, que sempre esteve presente, buscando a excelência do Curso de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo do UniCEUB, sendo um importante elo de ligação entre os alunos e a instituição.

Agradeço ao meu orientador Gustavo Alexandre Cardoso Cantuaria, pelo apoio, conselhos e interesse na melhoria do meu trabalho.

Agradeço à professora Débora Miranda Barretto e ao professor Felipe Barreiros Paim, do escritório AUDIUM – Áudio e Acústica - em Salvador – BA, por todo o apoio que me concederam durante a execução deste trabalho, sempre com muito interesse, dedicação e competência, visando tão somente a excelência acadêmica. Sendo eles um exemplo a ser seguido por todos.

E agradeço à instituição UniCEUB por promover o Curso de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, o que me possibilitou a oportunidade de crescimento profissional e acadêmico.

RESUMO

Este documento refere-se ao estudo sobre a viabilidade de utilização de fibras vegetais na construção civil como solução acústica em substituição a alternativas mais convencionais como a lã de rocha e de vidro. Matérias-primas renováveis como fibras da casca do coco verde apresentam propriedades físicas favoráveis e encontram-se em grande abundância no território nacional brasileiro, devido às condições propícias para o seu cultivo e o aumento exponencial do seu consumo nas últimas décadas. Porém pela falta de incentivo e interesse, esta matéria-prima acaba sendo desperdiçada, tendo como seu destino final o descarte em lixões, agravando problemas ambientais já existentes, decorrentes do mau gerenciamento de resíduos nas cidades. Para atestar a eficiência desse material, foram feitas análises baseadas em artigos que abordam a temática relativa às propriedades da fibra de coco verde, sua forma de beneficiamento e as etapas de desenvolvimento e produção de painéis com finalidade para tratamento acústico em edificações. Foram realizadas simulações abrangendo diferentes cenários, utilizando o *software* SONarchitect, onde foram analisadas amostras de painéis de fibra de coco, lã de vidro, lã de rocha e lã de PET. Estas simulações têm como objetivo verificar o comportamento dos materiais baseado na norma NBR 15575/13, analisando de forma comparativa os resultados.

Palavras-chave: Fibra de Coco, Acústica, Sustentabilidade.

ABSTRACT

This document refers to the study on the viability of using vegetable fibers in civil construction as an acoustic solution to replace more conventional alternatives such as rock and glass wool. Renewable raw materials such as green coconut shell fibers have favorable physical properties and are found in great abundance in the Brazilian national territory, due to the favorable conditions for their cultivation and the exponential increase in their consumption in recent decades. However, due to the lack of incentive and interest, this raw material ends up being wasted, having as its final destination the disposal in landfills, aggravating already existing environmental problems, due to poor waste management in cities. To attest to the efficiency of this material, analyzes were made based on articles that address the theme related to the properties of coir, its form of processing and the stages of development and production of panels for the purpose of acoustic treatment in buildings. Simulations were carried out covering different scenarios, using the SONarchitect software, where samples of coir panels, glass wool, rock wool and PET wool were analyzed. These simulations aim to verify the behavior of materials based on NBR 15575/13, comparing the results in a comparative way.

Keywords: Coir, Acoustic, Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Avanço do cultivo de coqueiros nos estados brasileiros em 1990 e 2014	21
Figura 2: Descarte irregular de cascas de coco no Espírito Santo - ES	31
Figura 3: Acúmulo de cascas de coco na cidade de Salvador - BA	31
Figura 4: Recolhido de resíduos de praia- São Luís - MA.....	33
Figura 5: Mapa do avanço de casos de dengue registrados em 2018 e 2019.....	34
Figura 6: Descarte irregular e acúmulo de água parada.....	35
Figura 7: Situação em lixões (a) e diagrama de contaminação por chorume (b)	37
Figura 8: (a) Montagem de <i>Yurt</i> (b) vista externa	39
Figura 9: Aplicação de lã de rocha	40
Figura 10: Extração de minérios (a) e devastação devido à área de extração de minério (b)..	41
Figura 11: Camadas do coco	43
Figura 12: Fluxograma operacional da etapa de produção de substrato agrícola e fibra de coco verde.....	45
Figura 13: Descarga e triagem de cascas de coco.....	46
Figura 14: Alimentação da linha.....	46
Figura 15: Máquina trituradora de casca de coco verde	47
Figura 16: Máquina de prensagem de casca de coco verde	48
Figura 17: Descarga de pó da casca de coco verde.....	48
Figura 18: Desfibramento dos fardos de fibras	50
Figura 19: Processo de seleção manual das fibras.....	51
Figura 20: Alimentação de máquina de Encordoamento com fibras (a) produção de cordas de fibras (b).....	51
Figura 21: Processo de prensagem mecanizada	53
Figura 22: Autoclave para vulcanização dos painéis.....	53
Figura 23: Aplicação de agente antichamas (a) painel concluído (b).....	54
Figura 24: Painéis acústicos para parede e forro	55
Figura 25: Painéis acústicos “Acusticoco” produzidos na Escola Sesi Cambona em Maceió	57
Figura 26: Aplicação de painéis para jardins verticais de painéis da COCOVERDE	58
Figura 27: Diversidade de acabamentos para painéis acústicos produzidos pela QUINSOUND.	59

Figura 28: Diferentes aplicações para os painéis da <i>QUINSOUND</i>	60
Figura 29: Murais produzidos a partir dos painéis da <i>QUINSOUND</i>	60
Figura 30: Painéis produzidos pela 2M ENGINEERS, com base de fibra de coco e resina....	61
Figura 31: Painéis produzidos pela 2M ENGINEERS, com base de fibra de coco e resina....	62
Figura 32: Painéis produzidos pela 2M ENGINEERS, com base de fibra de coco e resina....	63
Figura 33: Espectro de frequências.....	66
Figura 34: Desenho esquemático do comportamento das ondas sonoras em contato com superfícies.....	67
Figura 35: Exemplo mapa axial.....	71
Figura 36: Mapa ilustrativo de fontes de ruídos.....	72
Figura 37: Influência da topografia na propagação do som.....	73
Figura 38: Efeito de barreira acústica com vegetação em diferentes alturas.....	75
Figura 39: Arborização de vias.....	75
Figura 40: Formas e disposições desejáveis para conforto acústico.....	77
Figura 41: Formas e disposições indesejáveis para conforto acústico.....	77
Figura 42: Efeitos dos edifícios na propagação sonora.....	78
Figura 43: Efeito da altura dos prédios para intensidade sonora.....	79
Figura 44: Efeito da distância dos prédios para intensidade sonora.....	79
Figura 45: Vista de prédios espelhados.....	80
Figura 46: Efeito de varandas na propagação do som.....	80
Figura 47: Fachada com aplicação de cobertura vegetal.....	82
Figura 48: Efeito do layout para o conforto acústico.....	83
Figura 49: Corte de <i>shaft</i> e instalações.....	84
Figura 50: Representação ilustrativa do programa <i>SONarchitect</i>	86
Figura 51: Planta baixa de Habitação Classe Média com área estudada.....	88
Figura 52: Imagem ilustrativa de diferença entre R_w e $D_{nt,w}$	90
Figura 53: Planta baixa de Habitação popular com área estudada.....	91
Figura 54: Planta baixa de Habitação popular com área estudada.....	92
Figura 55: Planta baixa de Ambiente de Escritório com área estudada.....	93
Figura 56: Amostra de painel de fibra de coco.....	95
Figura 57: Amostra de painel de lã de vidro.....	95
Figura 58: Amostra de painel de lã de rocha.....	96
Figura 59: Amostra de painel de lã de PET.....	96

Figura 60: Corte esquemático ilustrativo para padrões construtivos para simulações	97
Figura 61: Secção de composição (1 + 48 + 1)	98
Figura 62: Secção de composição (1 + 70 + 1)	98
Figura 63: Secção de composição (2 + 48 + 2)	98
Figura 64: Secção de composição (2 + 70 + 2)	99
Figura 65: Secção de composição (1 + 48 + P)	99
Figura 66: Secção de composição (1 + 70 + P)	100
Figura 67: Secção de composição (2 + 48 + P)	100
Figura 68: Secção de composição (2 + 70 + P)	100
Figura 69: Layout habitação classe média (a) visão esquemática do ambiente no <i>SONarchitect</i> (b)	107
Figura 70: Layout habitação classe baixa (a) visão esquemática do ambiente no <i>SONarchitect</i> (b)	110
Figura 71: Layout habitação classe baixa (a) visão esquemática do ambiente no <i>SONarchitect</i> (b)	113
Figura 72: Layout habitação classe baixa (a) visão esquemática do ambiente no <i>SONarchitect</i> (b)	117
Figura 73: Instalação de lã de rocha em fachada unitizada	120
Figura 74: Índice Rw amostra E1 (1 + 48 + 1)	133
Figura 75: Índice Rw amostra E2 (1 + 70 + 1)	133
Figura 76: Índice Rw amostra E3 (2 + 48 + 2)	134
Figura 77: Índice Rw amostra E4 (2 + 70 + 2)	134
Figura 78: Índice Rw amostra E5 (1 + 48 + P)	135
Figura 79: Índice Rw amostra E6 (1 + 70 + P)	135
Figura 80: Índice Rw amostra E7 (2 + 48 + P)	136
Figura 81: Índice Rw amostra E8 (2 + 70 + P)	136
Figura 82: Índice Rw amostra A1 (1 + 48 + 1)	137
Figura 83: Índice Rw amostra A2 (1 + 48 + 1)	137
Figura 84: Índice Rw amostra A3 (1 + 70 + 1)	138
Figura 85: Índice Rw amostra A4 (1 + 70 + 1)	138
Figura 86: Índice Rw amostra A5 (2 + 48 + 2)	139
Figura 87: Índice Rw amostra A6 (2 + 48 + 2)	139
Figura 88: Índice Rw amostra A7 (2 + 70 + 2)	140

Figura 89: Índice Rw amostra A8 (2 + 70 + 2)	140
Figura 90: Índice Rw amostra A9 (1 + 48 + P)	141
Figura 91: Índice Rw amostra A10 (1 + 48 + P)	141
Figura 92: Índice Rw amostra A11 (1 + 70 + P)	142
Figura 93: Índice Rw amostra A12 (1 + 70 + P)	142
Figura 94: Índice Rw amostra A13 (2 + 48 + P)	143
Figura 95: Índice Rw amostra A14 (2 + 48 + P)	143
Figura 96: Índice Rw amostra A15 (2 + 70 + P)	144
Figura 97: Índice Rw amostra A16 (2 + 70 + P)	144
Figura 98: Índice Rw amostra B1 (2 + 70 + P)	145
Figura 99: Índice Rw amostra B2 (2 + 70 + 2).....	145
Figura 100: Índice Rw amostra B3 (2 + 70 + P)	146
Figura 101: Índice Rw amostra B4 (2 + 70 + P)	146
Figura 102: Índice Rw amostra C1 (2 + 70 + 2).....	147
Figura 103: Índice Rw amostra C3 (2 + 70 + P)	148
Figura 104: Índice Rw amostra C4 (2 + 70 + P)	148
Figura 105: Índice Rw amostra D1 (2 + 70 + 2)	149
Figura 106: Índice Rw amostra D2 (2 + 70 + 2)	149
Figura 107: Índice Rw amostra D3 (2 + 70 + P)	150
Figura 108: Índice Rw amostra D4 (2 + 70 + P)	150
Figura 109: Índice Dnt,w amostra A1 – Sala - Classe Média	151
Figura 110: Índice Dnt,w amostra A2 – Sala - Classe Média	151
Figura 111: Índice Dnt,w amostra A3 – Sala - Classe Média	152
Figura 112: Índice Dnt,w amostra A4– Sala - Classe Média	152
Figura 113: Índice Dnt,w amostra A5– Sala - Classe Média	153
Figura 114: Índice Dnt,w amostra A6– Sala - Classe Média	153
Figura 115: Índice Dnt,w amostra A7– Sala - Classe Média	154
Figura 116: Índice Dnt,w amostra A8– Sala - Classe Média	154
Figura 117: Índice Dnt,w amostra B1– Sala - Classe Média	155
Figura 118: Índice Dnt,w amostra B2– Sala - Classe Média	155
Figura 119: Índice Dnt,w amostra C1– Sala - Classe Média	156
Figura 120: Índice Dnt,w amostra C2– Sala - Classe Média	156
Figura 121: Índice Dnt,w amostra D2– Sala - Classe Média	157

Figura 122: Índice Dnt,w amostra E1– Sala - Classe Média.....	157
Figura 123: Índice Dnt,w amostra E2– Sala - Classe Média.....	158
Figura 124: Índice Dnt,w amostra A1– Sala – Casa Popular.....	158
Figura 125: Índice Dnt,w amostra A2– Sala – Casa Popular.....	159
Figura 126: Índice Dnt,w amostra A3– Sala – Casa Popular.....	159
Figura 127: Índice Dnt,w amostra A4– Sala – Casa Popular.....	160
Figura 128: Índice Dnt,w amostra A5– Sala – Casa Popular.....	160
Figura 129: Índice Dnt,w amostra A6– Sala – Casa Popular.....	161
Figura 130: Índice Dnt,w amostra A7– Sala – Casa Popular.....	161
Figura 131: Índice Dnt,w amostra A8– Sala – Casa Popular.....	162
Figura 132: Índice Dnt,w amostra B1– Sala – Casa Popular.....	162
Figura 133: Índice Dnt,w amostra B2– Sala – Casa Popular.....	163
Figura 134: Índice Dnt,w amostra C1– Sala – Casa Popular.....	163
Figura 135: Índice Dnt,w amostra C2– Sala – Casa Popular.....	164
Figura 136: Índice Dnt,w amostra D1– Sala – Casa Popular.....	164
Figura 137: Índice Dnt,w amostra D2– Sala – Casa Popular.....	165
Figura 138: Índice Dnt,w amostra E1– Sala – Casa Popular.....	165
Figura 139: Índice Dnt,w amostra E2– Sala – Casa Popular.....	166
Figura 140: Índice Dnt,w amostra A1– Dormitório – Casa Popular.....	166
Figura 141: Índice Dnt,w amostra A2– Dormitório – Casa Popular.....	167
Figura 142: Índice Dnt,w amostra A3– Dormitório – Casa Popular.....	167
Figura 143: Índice Dnt,w amostra A4– Dormitório – Casa Popular.....	168
Figura 144: Índice Dnt,w amostra A5– Dormitório – Casa Popular.....	168
Figura 145: Índice Dnt,w amostra A6– Dormitório – Casa Popular.....	169
Figura 146: Índice Dnt,w amostra A7– Dormitório – Casa Popular.....	169
Figura 147: Índice Dnt,w amostra A8– Dormitório – Casa Popular.....	170
Figura 148: Índice Dnt,w amostra B1– Dormitório – Casa Popular.....	170
Figura 149: Índice Dnt,w amostra B2– Dormitório – Casa Popular.....	171
Figura 150: Índice Dnt,w amostra C1– Dormitório – Casa Popular.....	171
Figura 151: Índice Dnt,w amostra C2– Dormitório – Casa Popular.....	172
Figura 152: Índice Dnt,w amostra D1– Dormitório – Casa Popular.....	172
Figura 153: Índice Dnt,w amostra D2– Dormitório – Casa Popular.....	173
Figura 154: Índice Dnt,w amostra E1– Dormitório – Casa Popular.....	173

Figura 155: Índice Dnt,w amostra E2 – Dormitório – Casa Popular.....	174
Figura 156: Índice Dnt,w amostra A9 – Escritório.....	174
Figura 157: Índice Dnt,w amostra A10 – Escritório.....	175
Figura 158: Índice Dnt,w amostra A11 – Escritório.....	175
Figura 159: Índice Dnt,w amostra A12 – Escritório.....	176
Figura 160: Índice Dnt,w amostra A13 – Escritório.....	176
Figura 161: Índice Dnt,w amostra A14 – Escritório.....	177
Figura 162: Índice Dnt,w amostra A15 – Escritório.....	177
Figura 163: Índice Dnt,w amostra A16 – Escritório.....	178
Figura 164: Índice Dnt,w amostra B3 – Escritório.....	178
Figura 165: Índice Dnt,w amostra B4 – Escritório.....	179
Figura 166: Índice Dnt,w amostra C3 – Escritório.....	179
Figura 167: Índice Dnt,w amostra C4 – Escritório.....	180
Figura 168: Índice Dnt,w amostra D3 – Escritório.....	180
Figura 169: Índice Dnt,w amostra D3 – Escritório.....	181

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Produção mundial de coco, área colhida e rendimento nos anos de 2010, 2016, 2017 e projeção da produção para 2018.....	22
Quadro 2: Área plantada com coqueiro, produção e produtividade de coco nas regiões do Brasil, em 2012.....	23
Quadro 3: Principais características agronômicas dos grupos varietais de coqueiro	24
Quadro 4: Médias dos preços de coco verde nos entrepostos das capitais brasileiras.....	25
Quadro 5: Enfermidades relacionadas com os resíduos sólidos transmitidas pelos macros vetores	32
Quadro 6: Enfermidades relacionadas com os resíduos sólidos transmitidas pelos macros vetores	33
Quadro 7: Características gerais da fibra de coco	44
Quadro 8: Propriedades mecânicas de fibras naturais e de fibras convencionais usadas como reforço	44
Quadro 9: Intensidades sonoras características em dB(A).....	66
Quadro 10: Influência da isolamento acústica – DnT,w sobre a inteligibilidade da fala para ruído no ambiente interno em torno de 35dB a 40dB	89
Quadro 11: Índice de redução sonora ponderado, R_w , de componentes construtivos utilizados nas vedações entre ambientes	89
Quadro 12: Índice de redução sonora ponderado, $D_{nt,w}$, de componentes construtivos utilizados nas vedações entre ambientes	90
Quadro 13: Índice de sonoros em ambientes de escritórios – NBR 10152.....	94
Quadro 14: Características das amostras de painel de fibra de coco	95
Quadro 15: Características das amostras de painel de lã de vidro.....	95
Quadro 16: Características das amostras de painel de lã de rocha	96
Quadro 17: Características das amostras de painel de lã de PET	96
Quadro 18: Índices R_w para as amostras de controle	102
Quadro 19: Índices R_w para as amostras de painéis de fibra de coco	103
Quadro 20: Índices R_w para as amostras de painéis de fibra de coco	103
Quadro 21: Índices R_w para as amostras de painéis de lã de vidro.....	104
Quadro 22: Índices R_w para as amostras de painéis de lã de rocha	105

Quadro 23: Índices R_w para as amostras de painéis de lã de PET	105
Quadro 24: Índices $D_n T_w$ para as amostras de controle	107
Quadro 25: Índices $D_n T_w$ para as amostras de painéis de fibra de coco.....	108
Quadro 26: Índices $D_n T_w$ para as amostras de painéis de lã de vidro	109
Quadro 27: Índices $D_n T_w$ para as amostras de painéis de lã de rocha.....	109
Quadro 28: Índices $D_n T_w$ para as amostras de painéis de lã de PET	110
Quadro 29: Índices $D_n T_w$ para as amostras de controle	111
Quadro 30: Índices $D_n T_w$ para as amostras de painéis de fibra de coco.....	111
Quadro 31: Índices $D_n T_w$ para as amostras de painéis de lã de vidro	112
Quadro 32: Índices $D_n T_w$ para as amostras de painéis de lã de rocha.....	112
Quadro 33: Índices $D_n T_w$ para as amostras de painéis de lã de PET	113
Quadro 34: Índices $D_n T_w$ para as amostras de controle	114
Quadro 35: Índices $D_n T_w$ para as amostras de painéis de fibra de coco.....	114
Quadro 36: Índices $D_n T_w$ para as amostras de painéis de lã de vidro	115
Quadro 37: Índices $D_n T_w$ para as amostras de painéis de lã de rocha.....	115
Quadro 38: Índices $D_n T_w$ para as amostras de painéis de lã de PET	116
Quadro 39: Índices $D_n T_w$ para as amostras de controle	117
Quadro 40: Índices $D_n T_w$ para as amostras de painéis de fibra de coco.....	118
Quadro 41: Índices $D_n T_w$ para as amostras de painéis de lã de vidro	118
Quadro 42: Índices $D_n T_w$ para as amostras de painéis de lã de rocha.....	119
Quadro 43: Índices $D_n T_w$ para as amostras de painéis de lã de PET	119
Quadro 44: Tabela de condutividade térmica.....	121
Quadro 45: Condutividade térmica de alguns materiais “k”	121
Quadro 46: Tabela comparativa de resistência térmica	122
Quadro 47: Calor específico de alguns materiais (kJ/kg°C a 20 °C)	122

ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRIC - Associação Brasileira de Incentivo à Ciência
BNB – Banco do Nordeste
CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento
EBC - Empresa Brasil de Comunicação
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISO - International Organization for Standardization
MMA - Ministério do Meio Ambiente
NBR – Norma Brasileira Regulamentadora
OSHA - *Occupational Safety and Health Admini*
PET - Poli tereftalato de etila
PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos
USP – Universidade de São Paulo
B - Bel
c – Comprimento
ch4 – Metano
co2 – Dióxido de carbono
cm – Centímetro
cm² - Centímetro quadrado
cm³ - Centímetro cúbico
dB – Decibel
g – Grama
GPa – Giga pascais
h – Altura
ha – Hectare
Hz – Hertz
Kgf – Quilograma-força
kg – Quilograma
kPas – Quilo pascal
l - Litro
m – Metro
m² - Metro quadrado
m³- Metro cúbico
mi - Milhões
min – Minuto
ml – Mililitro
mm - Milímetro
Mpa - Mega pascal
Pa – Pascal
R\$ - Reais
s - Segundo
ton – Tonelada
V - Velocidade
°C – Grau celsius

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	JUSTIFICATIVA.....	17
1.2	OBJETIVOS	18
1.2.1	Objetivo Geral.....	18
1.2.2	Objetivos Específicos	18
1.3	METODOLOGIA	19
1.4	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	20
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
2.1	COCO NO TERRITÓRIO BRASILEIRO	21
2.1.1	O consumo de coco no Brasil	24
2.1.2	A Política Nacional de Resíduos Sólidos e os problemas causados pelos resíduos do coco.....	27
2.1.2.1	<i>Análise dos Estudos de Caso</i>	29
2.2	FIBRAS	38
2.2.1	Fibras animais	38
2.2.2	Fibras minerais.....	39
2.2.3	Fibras Vegetais.....	41
2.2.3.1	<i>Fibra de coco</i>	42
2.2.4	Obtenção da fibra de coco	45
2.2.5	Produção de placas a partir da fibra de coco	49
2.2.5.1	<i>Tratamentos das Fibras de Coco</i>	50
2.2.6	Ensaio experimentais	56
2.2.7	Aparência dos Painéis.....	56
2.3	ACÚSTICA	63
2.3.1	Conceitos Fundamentais.....	64

2.3.1.1	<i>Natureza do som</i>	65
2.3.2	Propriedades das ondas sonoras.....	66
2.4	ACÚSTICA E A SAÚDE PÚBLICA	68
2.5	SOLUÇÕES ACÚSTICAS PARA EDIFICAÇÕES	70
2.5.1	Definições e estudos de implantação.....	70
2.5.2	Forma, Layout e Materiais.....	76
3	PROCESSO EXPERIMENTAL	86
3.1	TIPOLOGIAS	88
3.2	ESPECIFICAÇÃO DOS MATERIAIS	94
3.3	DADOS CONSTRUTIVOS DOS CENÁRIOS E DEFINIÇÃO DE COMPOSIÇÕES	97
4	SIMULAÇÕES	101
4.1	SIMULAÇÃO – TESTE RW DAS AMOSTRAS.....	101
4.2	SIMULAÇÃO – HABITAÇÃO CLASSE MÉDIA – SALA.....	106
4.3	SIMULAÇÃO - HABITAÇÃO POPULAR – SALA.....	110
4.4	SIMULAÇÃO - HABITAÇÃO POPULAR – DORMITÓRIO	113
4.5	SIMULAÇÃO – ESCRITÓRIO	116
4.6	AVALIAÇÃO TÉRMICA DOS PAINÉIS DE FIBRA DE COCO	119
4.7	AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS.....	123
5	CONCLUSÃO	124
5.1	AGENDA FUTURA	126
	REFERÊNCIAS	127
	ANEXOS	133

1 INTRODUÇÃO

As fibras naturais vêm exercendo um importante papel na sociedade devido às suas diversas propriedades. Com os avanços tecnológicos, elas acabaram sendo gradativamente substituídas por fibras sintéticas que muitas vezes apresentam eficiência superior. Porém, a retomada de estudos envolvendo fibras naturais têm ganhado força proporcional ao aumento da preocupação com questões bioclimáticas e desenvolvimento sustentável, pois estas apresentam grandes vantagens em relação aos compostos sintéticos, sendo oriundas de fontes renováveis, biodegradáveis, de baixa abrasividade, baixo custo, recicláveis e de fácil processamento, gerando menores impactos ambientais e econômicos na sua produção. (L. NETO; PARDINI, 2006)

O Brasil apresenta a maior biodiversidade do planeta - mais de 20% das espécies da fauna e flora estão presentes em território nacional -, o que se traduz em diversas matérias-primas com grande potencial de utilização em vários campos da indústria. Porém, em muitos casos, esses materiais encontram-se subutilizados em seu total potencial por carecerem de estudos mais aprofundados de suas propriedades ou pela simples falta de interesse. (BRASIL. MMA, s/d)

Para objeto de estudo deste trabalho, foi escolhida como matéria-prima base a fibra do coco, pois apresenta como pontos positivos o fato de ser um produto sustentável, além de possuir grande disponibilidade. O Brasil é o quinto maior produtor de coco, sendo responsável por 5% da produção mundial, e é o maior produtor com finalidade exclusiva de consumo da água. Cerca de 15% da produção é consumida ainda verde para extração da água, que também é industrializada. (BRASIL. EMBRAPA, 2011)

Aproximadamente, 85% da produção nacional de cocos é comercializado como seco, sendo a metade utilizada para uso culinário e o restante é industrializado, obtendo uma série de produtos como leite, sabão, óleo, entre outros. Com o aumento do consumo e a industrialização da água de coco verde, são geradas aproximadamente 6,7 milhões de toneladas de casca por ano, colocando o país em um sério problema ambiental quanto à disposição final dos resíduos gerados nesse processo. (ROSA, 1998)

Para que o material deixe de ser considerado resíduo, precisa ser submetido a uma valoração para dar origem a novos produtos. A casca de coco, na situação em que se encontra atualmente no país, gera apenas custos e impactos ambientais para a sociedade, porém havendo

a sua valoração, deixará de ser considerada um problema, tornando-se oportunidade e consequentemente gerando benefício para todo o meio.

1.1 JUSTIFICATIVA

Inicialmente introduzido no Brasil anos após o seu descobrimento, como relata o “Tratado Descritivo do Brasil”, escrito por Gabriel Soares de Souza em 1587 (BONDAR, 1955), a produção de coco vem se expandindo no Brasil ao longo dos últimos anos de forma considerável, garantindo assim o aumento na disponibilidade desta matéria prima. Segundo estudos, a área destinada ao plantio do coco é de cerca de 280 mil hectares, distribuídos por todo o país, sendo encontrado principalmente na região Nordeste do país. (MARTINS, D. JÚNIOR, 2014)

O consumo do coco verde produz grande quantidade de resíduos, que correspondem a cerca de 70% de todo o lixo produzido somente nas praias (MATTOS, et al, s/d.). Em Fortaleza por exemplo, segundo a Ecofor (DIÁRIO DO NORDESTE, 2018), diariamente são recolhidas 20 toneladas de coco, o que corresponde a aproximadamente 5% de todo o resíduo que a capital cearense produz, e apenas uma pequena parte desse material é reaproveitado (JACQUES, 2013). Além disso, há uma deficiência no gerenciamento desses resíduos nos centros urbanos, o que resulta em problemas ambientais e de saúde pública.

Uma das vantagens que a fibra de coco possui, é a grande disponibilidade em todo território brasileiro, além de apresentar propriedades adequadas à confecção de diversos produtos a baixos custos e que não exigem altos níveis de aparelhamento (DUARTE; IMAI; NII, 2009). Outro fato relevante que torna a fibra de coco uma matéria-prima de interesse, é que ao longo dos anos, houve uma tendência crescente na busca por soluções sustentáveis no que se refere aos campos de estudo da arquitetura, e o tratamento acústico em edificações foi um deles.

Em 2013, surge a Norma de Desempenhos: NBR 15.575 (ABNT, 2013). A aplicação da norma tornou-se obrigatória nos edifícios residenciais construídos a partir desta data, onde seus requisitos estão relacionados à qualidade acústica das edificações para maior conforto e bem-estar dos usuários. Já em novembro de 2017, foi publicada uma nova edição da NBR 10.152 (ABNT, 2017), buscando padronizar os procedimentos a serem adotados na avaliação sonora de ambientes internos a edificações. (CBIC, 2013)

Com o objetivo de buscar soluções eficazes e sustentáveis no âmbito da arquitetura, este projeto tem por foco analisar a viabilidade do uso da fibra de coco como solução acústica para as edificações.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste projeto é a elaboração de estudo para avaliar a viabilidade do uso da fibra de coco e associações para soluções acústicas, com base na Norma de Desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013).

1.2.2 Objetivos Específicos

- Ampliar o conhecimento sobre a atual situação do país em relação ao impacto causado pelo mal gerenciamento dos resíduos de coco verde.
- Verificar a disponibilidade da fibra de coco com base em dados de produção e consumo nacional.
- Analisar as formas de beneficiamento das fibras de coco para a produção de painéis acústicos.
- Avaliar as possíveis interações entre a fibra de coco e outros materiais, assim como a eficiência desta matéria prima, com base nas normas de desempenho.
- Realizar breve estudo sobre os princípios fundamentais da acústica e sua aplicação em edificações para controle o de ruídos.

1.3 METODOLOGIA

Esta pesquisa possui uma fundamentação laboratorial, e objetiva a verificação do desempenho de painéis acústicos produzidos a partir de resíduos de fibra de coco para soluções termoacústicas em edificações.

Para verificar o desempenho desses painéis, foi utilizado o método experimental, que segundo Gil (2008, p. 16), consiste em “submeter os objetos de estudo à influência de certas variáveis, em condições controladas e conhecidas pelo investigador, para observar os resultados que a variável produz no objeto.”

Foi utilizado também o método comparativo, que como define Gil (2008, p. 16), “procede pela investigação de indivíduos, classes, fenômenos ou fatos, com vistas a ressaltar as diferenças e as similaridades entre eles”, baseado em dados concretos para a explicação de determinados fenômenos.

A ferramenta escolhida para análise a laboratorial dos painéis de fibra de coco foi o *software* de acústica *SONarchitect*. Por meio desse software foi possível testar e posteriormente comparar o resultado obtido de diferentes amostras de painéis de fibra de coco, lã de vidro, lã de rocha e lã de PET, quando aplicadas em diferentes composições de sistemas de fechamento e diferentes tipologias:

- Sala de estar em habitação de classe média;
- Sala de estar em habitação de classe popular
- Dormitório de habitação de classe popular
- Ambiente de escritório

Todos os testes foram realizados e seus resultados analisados com base na Norma de Desempenho NBR 15.575 (ABNT, 2013), NBR 10152 (ABNT, 2017).

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação foi desenvolvida em cinco capítulos, partindo da construção gradual de argumentos e reforçando a importância do tema até a apresentação dos resultados do estudo. Os capítulos foram estruturados da seguinte maneira:

Introdução: Introdução da pesquisa, onde serão apresentados o tema, a relevância do assunto tratado, o objetivo geral, os objetivos específicos, metodologia e a estrutura da dissertação.

Revisão Bibliográfica: Neste capítulo serão abordados o histórico, a produção e o consumo de coco no Brasil, para que se possa compreender a dimensão dos impactos ambientais causados pelo descarte e o mal gerenciamento de resíduos nas cidades brasileiras. Será realizado também um breve estudo acerca das diferentes naturezas de fibras, com maior enfoque nas propriedades da fibra de coco, justificando a sua escolha baseando-se também em suas propriedades físicas.

Posteriormente, será abordada a forma de se extrair as fibras de coco a partir das carcaças, para em seguida, apresentar o processo de produção de painéis provenientes das fibras e mostrar alguns exemplos de produtos já existentes tanto no Brasil como em outros países.

E para concluir a revisão bibliográfica, serão apresentados alguns temas relacionados à ondas sonoras e a acústica em geral, além de um estudo breve sobre as etapas que levam ao desenvolvimento de edificações de bom desempenho de conforto acústico, mostrando que para se atingir resultados satisfatórios, é necessário um conjunto de ações e não apenas a introdução de um novo material.

Processo Experimental: Constará uma explicação da metodologia que será utilizada para averiguar a eficiência acústica dos painéis escolhidos, além da apresentação dos cenários onde ocorrerão as simulações.

Simulações: Serão apresentados os resultados para todas as simulações realizadas em parceria com Prof. Arq. Felipe Paim e o escritório AUDIUM – Áudio e Acústica em Salvador - BA. Neste capítulo será realizada uma análise mais aprofundada dos resultados obtidos durante as simulações, além de um sucinto estudo sobre o desempenho térmico dos painéis de fibra de coco em edificações.

Conclusão: Será feita a conclusão do trabalho baseada nos dados obtidos durante a revisão bibliográfica e das simulações, além de sugerir temáticas para trabalhos futuros.

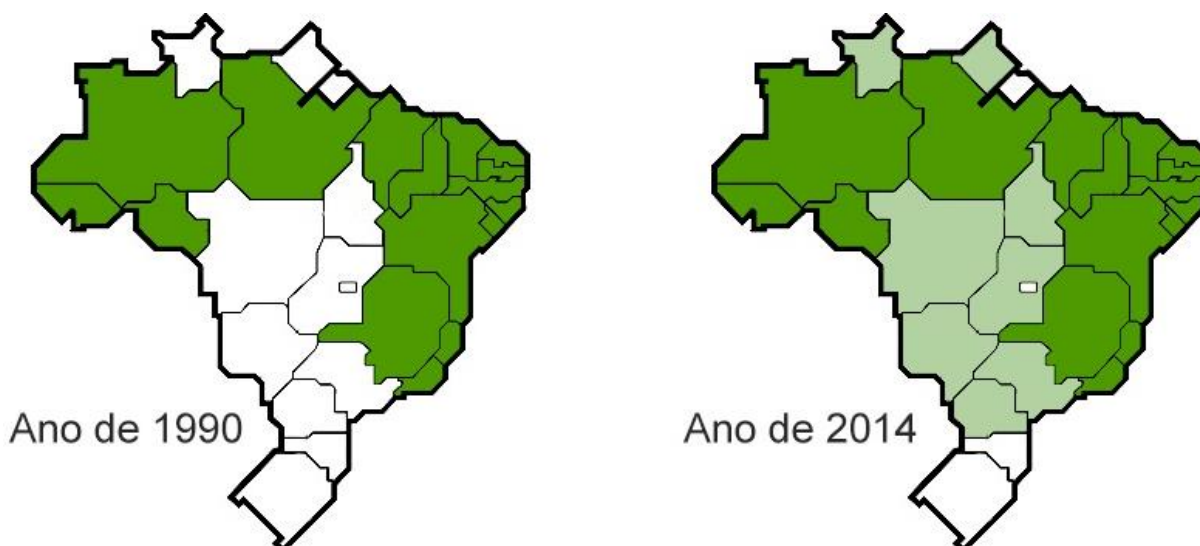
Por fim, serão apresentadas as Referências que foram utilizadas e anexos contendo os documentos desenvolvidos de forma integral pelo Prof. Arq. Felipe Paim.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 COCO NO TERRITÓRIO BRASILEIRO

O cultivo do coqueiro no Brasil, que foi iniciado na Bahia, primeiramente expandiu-se por todo o litoral nordestino, onde até hoje estão localizados os principais produtores de coco verde nacionais, devido às suas condições favoráveis de solo e clima das regiões litorâneas. A região nordeste na década de 90 representava 92,6% do total de coco produzido no Brasil, porém devido ao aumento da demanda, posteriormente passou a ser cultivado nas demais regiões do país, exceto em alguns estados da região sul, no Amapá e no Distrito Federal, como ilustra a figura 1. Segundo dados de 2017, a Região Nordeste é responsável por 82,9% de área colhida nacional. (BRAINER, 2018)

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



Fonte: Adaptado de Martins. D. Júnior (2014).

O quadro 1 a seguir mostra os índices de área colhida, produção e rendimento de coco-da-baía, por região e estados do território nacional.

Quadro 1: Produção mundial de coco, área colhida e rendimento nos anos de 2010, 2016, 2017 e projeção da produção para 2018

Área de Atuação do BNB	Área colhida (hectares)				Quantidade produzida (mil frutos)				Rendimento (frutos/ha)			
	2010	2016	2017	16-17 (%)	2010	2016	2017	16-17 (%)	2010	2016	2017	16-17 (%)
BRASIL	275,091	234,128	215,683	-7.9	1,895,635	1,766,866	1,561,961	-11.6	6,890	7,547	7,242	-4
NORDESTE	223,566	194,757	178,840	-8.2	1,297,528	1,355,893	1,155,783	-14.8	5,803	6,962	6,463	-7.2
SUDESTE	20,351	16,052	14,619	-8.9	300,517	189,690	200,618	5.8	14,766	11,817	13,723	16.1
NORTE	27,439	21,223	20,569	-3.1	255,048	195,378	186,528	-4.5	9,295	9,206	9,068	-1.5
CENTRO-OESTE	3,535	1,865	1,430	-23.3	40,260	24,542	17,528	-28.6	11,388	13,159	12,257	-6.9
SUL	200	231	225	-2.6	2,282	1,363	1,504	10.3	11,410	5,900	6,684	13.3
BAHIA	76,985	69,114	47,638	-31.1	502,364	542,217	350,868	-35.3	6,525	7,845	7,365	-6.1
SERGIPE	41,890	37,118	36,821	-0.8	253,621	230,646	234,332	1.6	6,054	6,214	6,364	2.4
CEARÁ	44,221	38,986	38,965	-0.1	266,263	262,226	186,732	-28.8	6,021	6,726	4,792	-28.8
PERNAMBUCO	10,059	6,708	7,685	14.6	71,346	130,491	158,879	21.8	7,092	19,453	20,674	6.3
NORTE DO ESPÍRITO SANTO	8,711	8,630	8,563	-0.8	134,977	81,703	109,110	33.5	15,495	9,467	12,742	34.6
ALAGOAS	12,576	17,906	23,338	30.3	55,320	75,136	102,159	36	4,398	4,196	4,377	4.3
RIO GRANDE DO NORTE	22,541	14,684	15,140	3.1	62,417	62,504	69,076	10.5	2,769	4,257	4,562	7.2
PARAÍBA	11,454	7,087	6,381	-10	63,267	34,566	36,547	5.7	5,523	4,877	5,727	17.4
PIAUI	1,268	714	635	-11.1	14,762	10,299	9,720	-5.6	11,641	14,424	15,307	6.1
NORTE DE MINAS GERAIS	1,062	797	486	-39	19,053	15,409	9,209	-40.2	17,941	19,334	18,949	-2
MARANHÃO	2,572	2,440	2,237	-8.3	8,168	7,808	7,470	-4.3	3,175	3,200	3,339	4.3
ÁREA DE ATUAÇÃO BNB	233,339	204,184	187,889	-8	1,451,558	1,453,005	1,274,102	-12.3	6,221	7,116	6,781	-4.7

Fonte: Adaptado de Brainer (2018).

Apesar da região nordeste se destacar com margem considerável das demais regiões em questão de área, produção de frutos e consequentemente maiores cifras em valores de produção, o seu rendimento em questão de produtividade é menor do que apresentado em outras regiões, fazendo com que esta relação seja inversamente proporcional se observado a conversão equivalente a área no valor de produção. Comparado à área plantada em hectares e o valor de produção em 2014 da região Sul e a região Nordeste, temos uma proporção de quase 4.7 em favor da região Sul, o que significa uma maior valorização do produto pelo mercado consumidor. (MARTINS, D. JÚNIOR, 2014)

Quadro 2: Área plantada com coqueiro, produção e produtividade de coco nas regiões do Brasil, em 2012.

Regiões do Brasil	Área Plantada (ha)	- Produção (mil frutos)
		- Valor da Produção (R\$)
Nordeste	208,977	1,345,962 579,899
Norte	27,314	252,406 104,676
Sudeste	20,471	315,714 182,714
Centro-Oeste	2,752	37,190 27,666
Sul	223	3,082 2,722

Fonte: Adaptado de BRASIL.IBGE (2019).

Outros fatores que explicam a grande diferença de valores apresentada no quadro 2 é o tipo de tecnologia utilizada para o cultivo, os tipos de coqueiros explorados e também a destinação desses frutos. Quando a cultura do coqueiro expandiu para o restante do país, o principal motivo foi a reestruturação produtiva do setor com a demanda crescente da indústria por água de coco. Para atendê-la, foi necessária uma mudança no modelo existente, visando o aumento da produtividade. Para isso, houve a modernização dos processos produtivos, implementação de inovações técnico-científicas e agrônomicas nas plantações e principalmente a utilização quase predominante das variedades coqueiros-anões e coqueiros híbridos, que são naturalmente mais produtivos que a variedade de coqueiros gigantes, amplamente utilizada na região nordeste, sendo esses mais voltados para a produção de coco seco. (FONTES; WANDERLEY, 2006)

As principais variedades de coqueiros utilizados no Brasil são os coqueiros gigantes (Gigante do Brasil da Praia do Forte), o coqueiro-anão (Anão Verde do Brasil de Jiqui) e a variedade híbrida que corresponde a uma fusão das duas anteriores. Cada variedade possui características próprias e por isso devem ser escolhidas conforme a aptidão de cada um e a demanda a ser suprida. Com relação à variedade Coqueiro Anão, existem também as variações Anão Amarela e Anão Vermelha, porém estas não são muito utilizadas devido à cor de seus frutos, amarelo e vermelho respectivamente, não serem muito atrativas tanto para os produtores como para os consumidores do produto *in natura*, pela aparência remeter a um fruto em um estágio mais avançado de maturação. (BRAINER, 2018)

No quadro 3 abaixo estão principais características agronômicas dos grupos de variedades de coqueiros cultivados no Brasil.

Quadro 3: Principais características agronômicas dos grupos varietais de coqueiro

Características	Variedades de coqueiros		
	Anão	Híbrido	Gigante
Início da floração (ano)	2 a 3	3 a 4	5 a 7
Vida útil	30 a 40	50 a 60	60 a 80
Tamanho do fruto	Pequeno	Intermediário	Grande
Crescimento	Lento	Intermediário	Rápido
Porte (m)	8 a 10	20	35
Espaçamento (m)	7,5 x 7,5 x 7,5	8,5 x 8,5 x 8,5	9 x 9 x 9
Número de plantas por hectare	205	160	142
Produção de frutos (frutos/planta/ano)	150 a 200	130 a 150	60 a 80
Produtividade de frutos (frutos/ha)	30 a 40 mil	20 a 24 mil	8 a 12 mil
Peso do fruto (g)	900	1200	1400
Peso médio albúmen sólido (g)	250	400	350
Produção de água (ml)	200 a 300	400 a 550	500 ou mais
Destino produção	In natura Agroindústria	In natura Agroindústria	In natura Agroindústria

Fonte: Adaptado de Brainer (2018).

2.1.1 O consumo de coco no Brasil

O coco é um fruto versátil que, como poucos, apresenta grande potencial econômico e de aproveitamento, já que todas as suas partes podem ser utilizadas para as mais diversas destinações.

O Brasil, um dos maiores produtores de coco no mundo, tem sua cocoicultura voltada quase que exclusivamente para alimento, sendo consumido tanto na condição *in natura* como em forma de produtos industrializados. Segundo dados do IBGE no ano de 2015, 70% dos cocos colhidos em território nacional eram verdes, que se destinam principalmente para o

consumo de água de coco, conferindo ao país o posto de primeiro lugar no ranking mundial na produção desse produto. (O TEMPO, 2018)

A água de coco é amplamente apreciada e possivelmente é a sua forma de consumo mais popular. É conhecida como uma bebida isotônica natural devido aos índices de sais minerais e açúcares em sua composição. Para se obter a melhor qualidade, são necessários cuidados específicos com o solo e a irrigação (NETO, et al, 2002) e que sua colheita seja feita durante o 5 e 7 mês após o aparecimento do fruto, onde seu índice de sacarose é máximo, já que estse tende a decair gradativamente conforme avança o seu processo de amadurecimento. (MATTOS, et al, s/d)

O consumo de água de coco verde ocorre em maior quantidade próximo a regiões litorâneas e locais de produção, devido à sua maior oferta e preços mais atrativos, como mostra o quadro 4:

Quadro 4: Médias dos preços de coco verde nos entrepostos das capitais brasileiras

Capitais	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
São Paulo	0.87	1.04	1.13	1.07	1.05	1.38	1.39	1.39	2.32	1.72	1.5
Rio Branco	NI	NI	1	0.97	1	0.95	0.52	0.5	1	1.17	1.85
Maceió	0.58	0.6	0.68	0.74	0.86	1.44	1.52	1.19	1.27	1.08	1.08
Salvador	0.47	0.54	0.62	0.65	0.69	1.12	1.06	1.01	1.16	1.1	1.05
Fortaleza	0.54	0.67	0.72	0.91	0.85	1.05	1.08	1.23	1.26	1.23	1.09
Brasília	0.92	0.94	1.22	1.17	1.23	1.54	1.54	1.32	1.47	1.69	1.57
Vitória	0.57	0.75	0.79	0.84	0.89	1.12	0.99	0.86	1.26	1.34	1.26
Goiânia	0.85	0.94	1.33	1.26	1.2	1.48	1.72	1.92	1.81	1.97	1.34
Belo Horizonte	0.75	0.88	1	0.97	1	1.25	1.3	1.46	1.63	1.54	1.34
Campo Grande	0.81	0.95	1.41	1.61	1.6	2	2.4	2.36	2.29	2.48	2.5
Belém	0.48	0.5	0.61	0.59	0.66	0.79	0.83	0.94	1.1	1.03	1.15
João Pessoa	0.39	0.45	0.4	0.49	0.63	0.84	0.84	1.16	0.98	1.17	1
Recife	0.58	0.64	0.8	0.85	0.86	1.27	1.23	1.23	1.26	1.24	1.07
Curitiba	1.22	1.53	1.62	1.67	1.57	1.93	2.06	1.85	2.6	2.53	2.07
Rio de Janeiro	0.73	0.81	0.93	2.22	1.28	1.55	1.64	1.56	1.97	1.55	1.48
Natal	0.49	0.56	0.71	0.83	0.66	0.73	0.8	0.78	0.96	1.48	1.32
Porto Alegre	1.6	1.65	2	2.28	2.48	2.8	3.05	2.98	3.4	3.91	3.66
Florianópolis	1.1	1.44	1.62	1.86	1.72	2	2.22	2.29	2.8	2.78	2.45
Médias	0.73	0.85	1	1.19	1.16	1.39	1.46	1.45	1.69	1.75	1.62

Fonte: Adaptado de Brasil.Conab (2018).

Pelo quadro 4 é possível verificar que o valor do coco verde em alguns dos entrepostos do Sul e Centro-Oeste do país, são mais elevados que a média das demais localidades. Esse fato pode ser explicado pela baixa quantidade produzida nestas regiões, fazendo com que fiquem

dependentes de outras regiões produtoras para o fornecimento desse produto, agregando o custo do frete ao valor final para o consumidor. (BRAINER, 2018)

Em decorrência do fato acima relatado e da logística envolvida nas questões do transporte e do acondicionamento dos cocos verdes *in natura*, (que devem ser mantidos em locais frescos, secos e devem ser consumidos em até 10 dias depois de colhidos), houve um aumento crescente no interesse na industrialização desse produto, principalmente por parte de das empresas ligadas a área de refrigerantes, que viu a possibilidade de oferecer novas opções para o público que busca um estilo de vida mais saudável. (ROSA, 2000)

O benefício advindo da industrialização é a garantia de uma maior padronização, tanto no sabor como na quantidade, além de proporcionar uma maior vida-de-prateleira do produto em decorrência dos processos de pasteurização e esterilização. A industrialização da água de coco verde possibilitou a expansão e popularização desse produto por todo país. (MATTOS, et al, s/d)

Outros usos do coco na área de alimentos podemos citar:

- Coco seco
- Coco ralado
- Farinha de coco
- Óleo de coco
- Leite de coco

Todos esses derivados do coco são amplamente utilizados na culinária brasileira, no preparo de diversos pratos tradicionais, tanto doces como salgados, em especial nos estados da região nordeste.

Além do uso para a alimentação, o óleo de coco extravirgem apresenta grande participação na indústria farmacêutica e de cosméticos, devido às suas propriedades e sua composição química rica em óleos saturados, tornando-o um componente cada vez mais presente na formulação de diversos produtos em substituição às alternativas sintéticas. (LUZ, 2018)

Todo esse aumento de popularidade e de consumo de coco no Brasil nas últimas décadas tem como consequência o aumento significativo de resíduos, que correspondem a 85% do peso bruto do fruto. Em parte, esses resíduos são utilizados como combustíveis para caldeiras,

substrato orgânico e a confecção de produtos artesanais como vasos, tapetes e vassouras. (ROSA, 2000)

Apesar das tentativas de reaproveitamento citadas e também da iniciativa de alguns municípios para a elaboração de estudos com o objetivo de oferecer uma destinação mais apropriada a esses resíduos, atualmente, o problema acaba se mostrando grande demais para ser contornado com tais medidas, fazendo com que o destino de bilhões de carcaças de coco acabe sendo os aterros sanitários ou o descarte irregular, desperdiçando potencial matéria prima e gerando uma série de problemáticas que serão abordadas no próximo tópico. (MATTOS, et al, s/d)

2.1.2 A Política Nacional de Resíduos Sólidos e os problemas causados pelos resíduos do coco

O gerenciamento de resíduos é um dos grandes desafios das administrações dos grandes centros urbanos. Atualmente no Brasil, mais de 165 milhões de brasileiros vivem em cidades que dependem de políticas públicas para exercerem os seus direitos fundamentais e consequentemente garantirem a sua qualidade de vida (BRASIL.IDEC; MMA; MEC. 2005).

São produzidas milhões de toneladas de lixo diariamente de origem doméstica, da indústria e do comércio, e esses necessitam de destinação e tratamentos adequados para que não afetem o bem-estar da população e o meio ambiente, já que a maioria dos problemas ambientais e de saúde pública das cidades tem como causa comum o mal gerenciamento desses resíduos.

Segundo a MMA, alguns avanços foram observados durante as últimas décadas nesse campo, devido à conscientização e as consequências com relação às mudanças climáticas, que tem causado cada vez mais desastres ambientais. Um exemplo disso no Brasil, foi a implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), aprovada por meio da Lei nº 12.305/10 após um período de duas décadas de tramitação no Congresso Nacional A PNRS (BRASIL.IDEC; MMA; MEC. 2005). Segundo a eCycle (2019), entre outros pontos, a PNRS determina os 15 seguintes objetivos diretrizes:

1. Proteção da saúde pública e da qualidade ambiental;
2. Não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;

3. Estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços;
4. Adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais;
5. Redução do volume e da periculosidade dos resíduos perigosos;
6. Incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados;
7. Gestão integrada de resíduos sólidos;
8. Articulação entre as diferentes esferas do poder público, e destas com o setor empresarial, com vistas à cooperação técnica e financeira para a gestão integrada de resíduos sólidos;
9. Capacitação técnica continuada na área de resíduos sólidos;
10. Regularidade, continuidade, funcionalidade e universalização da prestação dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, com adoção de mecanismos gerenciais e econômicos que assegurem a recuperação dos custos dos serviços prestados, como forma de garantir sua sustentabilidade operacional e financeira, observada a Lei nº 11.445, de 2007;
11. Prioridade, nas aquisições e contratações governamentais, para:
 - a) produtos reciclados e recicláveis;
 - b) bens, serviços e obras que considerem critérios compatíveis com padrões de consumo social e ambientalmente sustentáveis;
12. Integração dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis nas ações que envolvam a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;
13. Estímulo à implementação da avaliação do ciclo de vida do produto;
14. Incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético;
15. Estímulo à rotulagem ambiental e ao consumo sustentável.

Além dos pontos da PNRS acima descritos, ela também determina que haja a redução de resíduos e fim dos lixões, com o objetivo de incentivar reciclagem e reaproveitamento. Porém, mesmo havendo a exigência do cumprimento da lei, nem sempre o que foi determinado condiz com a realidade de muitas cidades brasileiras.

Um exemplo dessa realidade e, uma das principais justificativas deste documento, é a situação dos resíduos de coco nos centros urbanos, em especial nas regiões litorâneas do Brasil onde esse é amplamente consumido durante todo o ano, com destaque para o período de verão e de alta temporada, devido ao aumento considerável de turistas na região.

O coco, apesar de seu grande potencial de reaproveitamento em quase sua totalidade, acaba por ser, na maioria das vezes, descartado indevidamente e conseqüentemente causando

uma série de problemas para a cidade e seus habitantes. Esta situação poderá ser observada a seguir através da breve apresentação dos estudos de caso desenvolvido por Silveira (2008), na orla da cidade de Salvador – Bahia e Oliveira. et al. (2018) nas orlas do município de João Pessoa – Paraíba.

2.1.2.1 *Análise dos Estudos de Caso*

O coco nas regiões litorâneas, em especial nas áreas de praia, como observado nos estudos, é em grande parte comercializado em quiosques e por ambulantes, e caracteriza uma das principais fontes de renda para os comerciantes e Municípios.

O consumo do coco se dá na forma de coco verde *in natura* para consumo de seu albúmen líquido (água de coco verde), devido à sua propriedade isotônica natural e reidratante, como também em parte para consumo de seu albúmen sólido (polpa). Outra forma de comercialização é a envasada em embalagens plásticas, de 200 ml a 1 litro, onde são utilizados em média de 1 a até 5 cocos durante esse processo.

Após o consumo, deveria ser de responsabilidade do comerciante ou do consumidor final fazer o descarte dos resíduos em locais apropriados para esse material, que pode chegar a produzir até 1 kg de resíduo sólido por 200 ml de água de coco verde consumida. Porém uma situação comum nesses locais é o descarte das carcaças do coco em lixos comuns, misturadas com outros tipos de resíduos, abandonadas nos calçadões ou na areia das praias, como também descartadas na água do mar.

Segundo Oliveira, et al. (2018) foi possível constatar, por meio da aplicação de questionários e entrevistas, a falta de interesse dos comerciantes locais em fazer a separação apropriada dos resíduos do coco verde, como também para as consequências ao meio ambiente e para a cidade, decorrentes do mal gerenciamento desses resíduos, já que, segundo os comerciantes, a alteração no modelo de descarte por eles praticado atualmente apenas acarretaria em um aumento de obrigações e afazeres sem nenhum retorno imediato para o seu negócio. Outro dado constatado por Oliveira, et al. (2018), foi o modelo de descarte adotado pela administração local, que consiste apenas na retirada das carcaças e o seu depósito em aterros sanitários. Por consequência, a combinação dos fatores apresentados resulta em diversos problemas ambientais e de saúde pública, tais como:

- Poluição visual
- Proliferação de vetores doenças

- Necessidade de grandes áreas de descarte
- Produção de metano e chorume

Conceitualmente, o termo poluição visual faz parte de um grupo de outros tipos de poluição ambiental, como a poluição do ar, do solo, da água e acústica. A poluição visual consiste na resposta consciente ou subconsciente e subjetiva de um indivíduo a elementos que destoam de uma lógica espacial preestabelecida de algum ambiente físico.

O nível de reação a esta poluição varia de acordo com a intensidade e com o indivíduo a ela submetida, indo de a um simples desconforto até a um grande sentimento de repulsa, podendo impactar a saúde física e mental, enfatizar a sensação de insegurança e comprometer o desempenho das atividades sociais. Esse tipo de poluição pode ser tão prejudicial quanto às demais, impactando diretamente a cidade e a população em diversos aspectos. Com relação aos resíduos de coco, esses se tornam um dos principais protagonistas desse tipo de poluição nas regiões litorâneas, sendo facilmente encontrados em diversos pontos da orla e áreas adjacentes.

Como ilustrado por Oliveira, et al. (2018) em seus estudos de caso, é comum encontrar pilhas de resíduos de cocos verdes amontoados que são constantemente alimentadas por novas carcaças, muitas vezes devido à falta de identificação clara onde devem ser devidamente depositados, o que levam as pessoas a acreditar que esses locais sejam apropriados para o descarte.

Algo semelhante ocorre com resíduos gerados pelas atividades de ambulantes, quiosques e bares no perímetro das orlas, que oferecem o coco verde para consumo. Nesses estabelecimentos são geradas grandes somas de carcaças que, segundo relatos dos próprios comerciantes, não são devidamente descartadas devido à falta de políticas de incentivo ou pela simples falta de interesse (OLIVEIRA, ET AL., 2018), resultando muitas vezes em descartes em locais indevidos o que caracteriza crime ambiental, como ilustrado em um flagrante na figura 2 a seguir:

Figura 2: Descarte irregular de cascas de coco no Espírito Santo - ES



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

As consequências negativas dessas práticas são bastante evidentes no dia-a-dia das cidades. A grande concentração dessas carcaças, devido ao seu grande volume, acaba por interferir na circulação e acessibilidade das calçadas e vias públicas, prejudicando o direito de ir e vir da população (Figura 3).

Figura 3: Acúmulo de cascas de coco na cidade de Salvador - BA



Fonte: (a) (b) Silveira (2008).

Outra consequência relatada nos estudos, seria a mistura de classes de resíduos nos locais de depósito. Seja em contêineres, lixeiras ou nas areias das praias, as carcaças dos cocos são misturadas aos materiais listados no quadro 5:

Quadro 5: Enfermidades relacionadas com os resíduos sólidos transmitidas pelos macros vetores

Classe	Resíduos encontrados nas praias
Plástico	Copos descartáveis, embalagens de alimentos, garrafas pet, sacos, plásticos, tampas, canudos etc.
Papel	Papelão, papel, jornal, panfletos, embalagens diversas.
Vidro	Garrafas de vidro, vidraçarias.
Metal	Pedaços de ferro, latas diversas, resto de placas de sinalização.
Madeira	Palitos (picolé, espetinho), caixotes, madeira de construção.
Orgânicos	Fezes de animais, restos de alimentos, plantas, coco verde.
Outros tipos de resíduos	Sobras de materiais de construção, tecido, asfalto etc.

Fonte: Adaptado de Silveira (2008).

Essa prática dificulta o processo de coleta seletiva urbana tanto da carcaça do coco verde, como também dos demais materiais, prejudicando ainda mais o processo de reciclagem ou reaproveitamento desses resíduos, acarretando o desperdício de potenciais matérias-primas. Dependendo do local, a coleta desses materiais não ocorre diariamente, fazendo com que a matéria orgânica presente nos resíduos de coco verde inicie o seu processo natural de decomposição, produzindo mal cheiro e contribuindo para o agravamento da poluição visual e a consequente deterioração do espaço público, além de passar a atrair animais e insetos vetores de doenças que trazem graves problemas de saúde pública (Figura 4).

Figura 4: Recolhido de resíduos de praia- São Luís - MA



Fonte: G1 (2018).

O termo vetores corresponde a agentes (animais ou insetos) que são responsáveis pela transmissão de doenças a outros animais. Com a maior oferta de material orgânico em aterros sanitários ou depósitos irregulares nos centros urbanos, proveniente do descarte indevido das carcaças de coco verde, há um aumento da proliferação desses vetores, responsáveis pelas diversas doenças que têm acometido a população. A transmissão dessas doenças pode ocorrer de maneira ativa ou passiva. Ou seja, a forma ativa ocorre quando o agente é infectado e infecta outro organismo, e na forma passiva, onde o agente não é infectado, porém é responsável pela transmissão da infecção para outros animais, como é o caso de moscas e mosquitos, como o *Aedes aegypti*. (PETCARE, 2020).

O quadro 6 a seguir, apresenta alguns dos principais vetores que são atraídos pelos resíduos sólidos, e as respectivas enfermidades causadas por esses vetores:

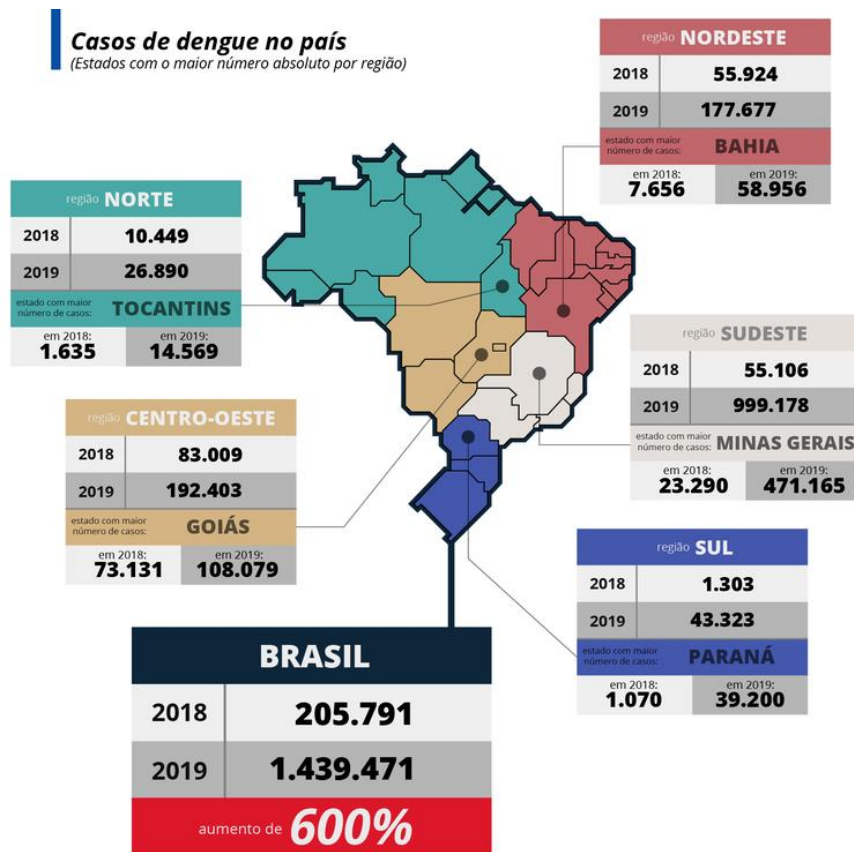
Quadro 6: Enfermidades relacionadas com os resíduos sólidos transmitidas pelos macros vetores

Macro vetores	Forma de transmissão	Enfermidades
Ratos	Mordida, urina, fezes	Leptospirose, peste bubônica, tifo murino
Moscas	Asas, patas, corpo, fezes e saliva	Febre tifoide, cólera, amebíase
Mosquito	Picada	Malária, febre amarela, dengue
Barata	Asas, patas, corpo, fezes e saliva	Febre tifoide, cólera, giardíase

Fonte: Silveira (2008).

Segundo relatórios do Ministério da Saúde, referentes ao período de 30 de dezembro de 2018 a 24 de agosto de 2019, o país teve um aumento exorbitante de casos de dengue em todo o seu território, chegando a alarmantes 599,5%. Foram 1.439.471 casos de dengue confirmados no país em 2019, contra 205.791 registrados no ano de 2018, além dos 110.627 casos de febre *chikungunya*, contra 76.742 casos no mesmo período (Figura 5). (EBC, 2019)

Figura 5: Mapa do avanço de casos de dengue registrados em 2018 e 2019



Fonte: EBC (2019).

Não é possível precisar a contribuição do descarte indevido das carcaças de coco para o aumento de casos registrados no período relatado acima. Porém, apesar do mosquito *Aedes aegypti* ser considerado uma espécie semidoméstica, já que utiliza criadouros artificiais, esse também utiliza criadouros naturais, como é o caso das cascas de cocos, como mostra a figura 6. Por esse motivo, a Agência Nacional de Saúde inclui esse item na lista de focos a serem eliminados para ajudar na prevenção e combate dessas doenças, já que proporciona um ambiente propício para criadouros do mosquito, como é o caso de pneus, latas etc. (SILVA, 2006)

Figura 6: Descarte irregular e acúmulo de água parada



(a)

(b)

Fonte: (a) O Popular (2010), (b) Portal27 (2020).

Para se eliminar esses potenciais criadouros do mosquito *Aedes aegypti*, a melhor opção a ser realizada seria o beneficiamento dessas cascas e dar uma nova destinação a essa matéria prima, já que o seu depósito em aterros sanitários, como acontece normalmente, acaba gerando outros impactos além dos listados acima.

Um dos problemas é em relação às dimensões do fruto. O coco verde é um fruto grande, de formatos variados (em geral ovóide ou globoso), e tamanho médio de cerca de 25 cm de comprimento e 15 cm de diâmetro com 1.2kg de peso em média. Dependendo do tipo do consumo, a sua parte fibrosa mantém o seu formato original (consumo somente da água) ou dividido em duas metades no caso do consumo também da polpa. Mas independentemente do tipo de consumo, os resíduos resultantes são similares em questão de peso e volume, o que dificulta o transporte desses resíduos e também o seu acondicionamento.

Segundo BRASIL.IDEC, MMA, MEC, (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.

Apesar da existência de leis como a PNRS que busca coibir esse tipo de prática atualmente, como descrito no trecho acima, a prática de descarte de resíduos sólidos em lixões ou vazadouros continua sendo algo muito comum nas cidades brasileiras, e acaba sendo também o destino de muitas das carcaças de coco, colaborando para a expansão e a consequente a perpetuação desses locais

Os lixões, são responsáveis por diversos problemas nos centros urbanos, oferecendo graves riscos à saúde pública e ao meio ambiente. Segundo Brasil.IDEC, MMA, MEC (2005, p. 119) lixões:

[...] oferecem alimentação abundante e facilidade de abrigo, os lixões atraem insetos, cachorros, cavalos, aves, ratos e outros animais, que, podem disseminar, direta ou indiretamente, várias doenças [...]. Do ponto de vista imobiliário, os lixões também se tornaram um transtorno, pois depreciam os imóveis vizinhos. Em relação, à questão social o problema ainda é mais grave: os lixões se tornaram um meio de vida para alguns segmentos excluídos da população brasileira. Atualmente, apesar do empenho do governo e das organizações sociais em promover ações e campanhas contra esta forma degradante de trabalho, muitas famílias brasileiras ainda tiram seu sustento da catação do lixo, trabalhando em condições indignas e totalmente insalubres [...]

As carcaças de cocos verde levam em média 8 anos para desaparecerem totalmente na natureza, porém ao iniciar o processo de decomposição da sua massa orgânica por microrganismos através de processos aeróbicos (com a presença de oxigênio) e anaeróbicos (sem a presença de oxigênio) nesses locais, esse tipo de resíduo sólido começa a produzir gases como o metano (CH₄) e o dióxido de carbono (CO₂). Esses gases são conhecidos por contribuírem para o efeito estufa, responsável pelo aquecimento global, além de oferecer riscos ao homem e a natureza por serem inflamáveis, como é o caso do metano. (BRASIL.IDEC, MMA, MEC, 2005)

Outro risco decorrente da decomposição desse material orgânico em conjunto com as águas da chuva, é a produção de chorume, que pode ter um potencial de contaminação até 200

vezes pior que o esgoto doméstico. O chorume, segundo descreve o BRASIL.IDEC; MMA; MEC (2005) é “um líquido de coloração escura, com odor desagradável, altamente tóxico, com elevado poder de contaminação que pode se infiltrar no solo, contaminando-o e podendo até mesmo contaminar as águas subterrâneas e superficiais”.

Figura 7: Situação em lixões (a) e diagrama de contaminação por chorume (b)



Fonte: (a) Vinaec (2020), (b) Iasb (2020).

Esses locais são impróprios para o descarte desse e de outros tipos de materiais, pois os riscos de contaminação são potencializados em decorrência da configuração inapropriadas desses locais, já que carecem de qualquer planejamento e fiscalização (Figura 7).

Como visto, apesar do coco ser um fruto muito apreciado no Brasil, chegando a serem consumidos aproximadamente 600 milhões de litros de água de coco por ano, esse consumo acaba resultando na geração de quase 2 bilhões de cascas (BRAINER, 2018), que muitas vezes não possuem um destino apropriado, contribuindo para diversos problemas para a população e para o meio ambiente como os que foram relatados anteriormente.

Ao invés de gerar problemas, esses resíduos poderiam criar novas soluções para um desenvolvimento mais sustentável, reforçando a tendência atual de reciclagem e reaproveitamento, estimulando assim a criatividade e possibilitando a introdução de novas opções em mercados já consolidados, como é o caso desse estudo de viabilidade, que tem como objetivo utilizar a fibras do coco verde para soluções acústicas em edificações, melhorando a qualidade de vida da população, além da possibilidade de gerar novos postos de trabalho e renda.

2.2 FIBRAS

As fibras são materiais de geometria aproximadamente uniforme, compostas por tramas minúsculas se comparadas ao seu comprimento, e apresentam diferentes propriedades como: capacidade de alongamento, resistência à temperatura, resistência mecânica e densidade. Nenhuma fibra atende à todas as expectativas, cabendo uma avaliação de cada caso, a fim de escolher qual a que melhor atende a função exigida. As fibras são classificadas como naturais e sintéticas. As fibras naturais podem ser subdivididas de acordo com a sua origem na natureza, podendo ser de origem animal, vegetal ou mineral (FRANCO, 2010).

As fibras vegetais são compostas à base de celulose e são formadas por células vegetais alongadas. As fibras de origem animal incluem diversos tipos de pelos de animais e são formadas a partir da queratina, sendo obtidas, por exemplo, a partir da tosquia de animais como as ovelhas. Já em relação às fibras de origem mineral, podem-se citar como exemplos o amianto e a lã de rocha, que é obtida a partir de processos de aquecimento de rochas brutas a temperaturas superiores a 1.600°C, que posteriormente são convertidas em fibras por meio de centrifugação. (IARC, 2002)

2.2.1 Fibras animais

Segundo Lessa (1978) as fibras animais sempre estiveram vinculadas à história da sociedade, garantindo ao homem o seu sustento e a sua sobrevivência.

As fibras animais são estruturadas quimicamente por aminoácidos, sendo assim conhecidas por fibras protéicas. Devido à sua variedade de combinações de elementos, as fibras animais tendem a apresentar uma grande diversidade de propriedades físicas e químicas como também de aparência (SILVA, 2015). Exemplos de fibras animais são:

- Couro
- Lã e pelos finos e pelos grossos
- Seda

As fibras animais são geralmente utilizadas para vestimentas, mas também podem ser utilizadas para a estruturação de células de sobrevivência tradicionais, como é o caso das

pequenas e portáteis tendas mongóis chamadas *Yurt*.(Figura 8) Em construções desse tipo, as fibras animais que revestem a tenda, que pode ser de couro e lã, criam um ambiente protegido de intempéries e variações climáticas (*NATIONALGEOGRAPHIC*, 2019).

Figura 8: (a) Montagem de *Yurt* (b) vista externa



Fonte: (a) (b) Nationalgeographic (2019).

Utilizações como esta, apesar de ser uma prática extremamente rudimentar, mostram a o potencial de utilização das fibras animais como isolantes termoacústicos. Porém, a origem de grande parte das fibras animais é proveniente da atividade agropecuária e por isso pode-se citar algumas desvantagens na sua obtenção (*UNIVASF*, 2018):

- Devastação de áreas verdes para criação de pastos
- Alto consumo de água (cerca de 150 litros de água para cada quilo de lã)
- Alto consumo de energia elétrica na produção da lã
- Ovelhas e outros mamíferos emitem uma alta quantidade de gás metano

2.2.2 Fibras minerais

Fibras minerais ou lãs minerais, correspondem a um grupo de fibras produzidas pelo homem a partir de elementos como rochas, areia, vidro reciclado ou outros minerais naturais ou já processados.

O surgimento dos primeiros registros de produção de fibra minerais a partir de rochas ou escórias ocorreu em 1840 por meio de produções locais em pequena escala, sendo apenas no ano de 1920, na Europa, onde esta atingiu a escala de produção industrial para suprir a demanda

mundial por isolamentos termoacústicos. Já a produção de lã produzidas a partir de vidro, ocorrer vinte anos depois, no ano de 1940, sendo a sua principal destinação a produção de um grande número de moradias durante a Segunda Guerra Mundial (IARC, 2002).

Segundo IARC (2002), o processo de produção de lãs minerais ocorre em três etapas. Inicialmente, os materiais minerais são colocados em fornalhas e aquecidos a altas temperaturas até que atinjam o seu estado de fusão. Os minerais já em estado líquido são então centrifugados ou recebem jatos pressurizados de gases aquecidos, promovendo a produção de fios devido à ductibilidade dos minerais, que então são unidos por meio de agente colantes ou aglutinantes, promovendo uma maior coesão das fibras emaranhadas, lhe conferido flexibilidade ou rigidez.

As lãs minerais como lã de rocha e lã de vidro são atualmente uma das principais alternativas para se fazer o controle termo acústico de uma edificação, apresentando uma grande variedade de dimensões e densidades, que lhes permitem uma grande gama de aplicações, conforme ilustra a figura 9:

Figura 9: Aplicação de lã de rocha



Fonte: Aecweb (2019).

Como todo material, as lãs minerais apresentam uma série de vantagens, porém também é preciso se considerar as desvantagens, principalmente devido ao processo de obtenção de matéria prima, produção das fibras e a sua aplicação, como aponta o Ministério do Meio Ambiente da Dinamarca (NIELSEN, et al. 2013).

Vantagens:

- Apresenta bom desempenho termoacústico
- Resistência ao fogo
- Quimicamente neutra

- Leves e maleáveis
- Produto não cancerígeno

Desvantagens:

- A exposição direta aos painéis pode provocar irritações na pele, mucosas e no sistema respiratório
- Utiliza matérias primas não renováveis, no caso das rochas
- A extração de rochas causa danos ambientais irreparáveis (Figura 10)

Figura 10: Extração de minérios (a) e devastação devido à área de extração de minério (b)



Fonte: (a) Liebherr (2019), (b) Embusa (2019).

2.2.3 Fibras Vegetais

Segundo Morassi (1994) as fibras vegetais consistem, basicamente, em carboidratos – celulose e hemicelulose – lignina e outros componentes, e são classificadas de acordo com a sua origem na estrutura da planta:

- Fibras de semente - algodão
- Fibras de caule - linho
- Fibras de folha - bananeira, sisal, piaçava
- Fibras de fruto - coco e açaí

Cada fibra apresenta propriedades específicas próprias, dependendo basicamente da sua composição química e estrutura celular. Mesmo fibras oriundas de uma mesma origem, podem

apresentar diferentes propriedades devido à fatores externos, como sua localização geográfica, clima, condições do solo e de que forma é feita a sua colheita e o seu processamento, gerando variáveis em sua composição química, cristalinidade, propriedades de superfície, diâmetro transversal, forma, tamanho, força e rigidez (SPĀRNIŅŠ, 2006).

Segundo L. Neto e Pardini (2006), apesar de apresentarem variações quanto a origem da fibra vegetal, pode-se observar as seguintes vantagens e desvantagens gerais entre elas:

Vantagens:

- Conservação de energia devido ao seu fácil processamento;
- Grande abundância;
- Baixo custo;
- Não prejudicial à saúde;
- Incentivo para a produção no meio agrícola;
- Baixa densidade;
- Biodegradáveis.

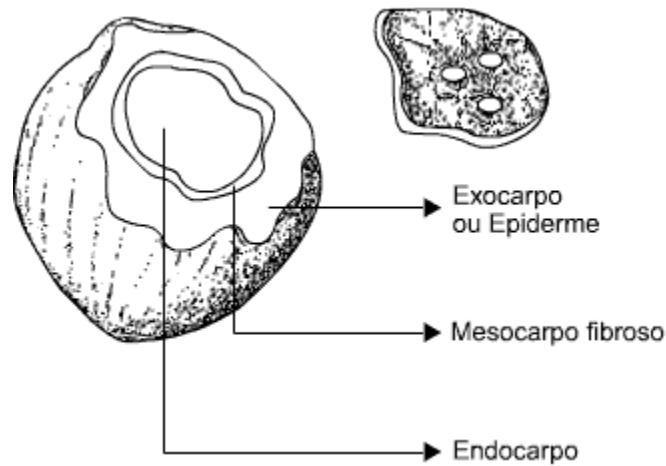
Desvantagens:

- Apresentam menor resistência à tração se comparadas às fibras sintéticas
- Baixa temperatura de processamento;
- Suscetíveis às condições ambientais;
- Variabilidade de propriedades das fibras devido à fatores como clima e solo;
- Fraca adesão em seu estado natural a inúmeras matrizes, fazendo-se necessários tratamentos adicionais para alterações químicas da fibra.

2.2.3.1 *Fibra de coco*

O coco possui peso médio de 900g a 1,5 Kg, proveniente de coqueiros de diferentes espécies e sendo classificado como drupa – fruto carnoso com apenas uma semente – e, de acordo com Ferri, Menezes e Monteiro (1981) é composto por camadas bem definidas denominadas epicarpo, mesocarpo, endocarpo, tegumentos e albúmen, conforme a figura 11:

Figura 11: 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 fibra de coco extraída do mesocarpo é pertencente à família das fibras duras, sendo basicamente composta por lignina, hemicelulose e celulose. Possui um grande percentual de lignina, cerca de duas a quatro vezes maior se comparado aos valores existentes nas fibras de juta e sisal, proporcionando-lhe uma grande vantagem perante às demais fibras vegetais, já que a lignina tem a função de unir os tecidos vegetais, reforçando a parede celular da fibra, protegendo-a de danos físicos e químicos. A percentagem de lignina nas fibras de coco apresenta variações de acordo com a idade do fruto; 20% nas fibras de coco jovem e de aproximadamente 35% no fruto maduro (PASSOS, 2005), conforme os quadros 7 e 8.

Quadro 7: 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).

Quadro 8: Propriedades mecânicas de fibras naturais e de fibras convencionais usadas como reforço

Fibras	Densidade (g/cm³)	Alongamento (%)	Resistência à tração (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)
Coco	1.2	30	175	4,0-6,0
Algodão	1,5-1,6	7,0-8,0	287-597	5,5-12,6
Juta	1.3	1,5-1,8	393-773	26.5
Linho	1.5	2,7-3,2	345-1035	27.6
Cânhamo	-	1.6	690	-
Rami	-	3,6-3,8	400-938	61,4-128
Sisal	1.5	2,0-2,5	511-635	9,4-22,0
Krafta	1.5	-	1000	40
E-vidrob	2.5	2.5	2000-3500	70
Carbono (padrão)	1.4	3,3-3,7	3000-3150	63,0-67,0

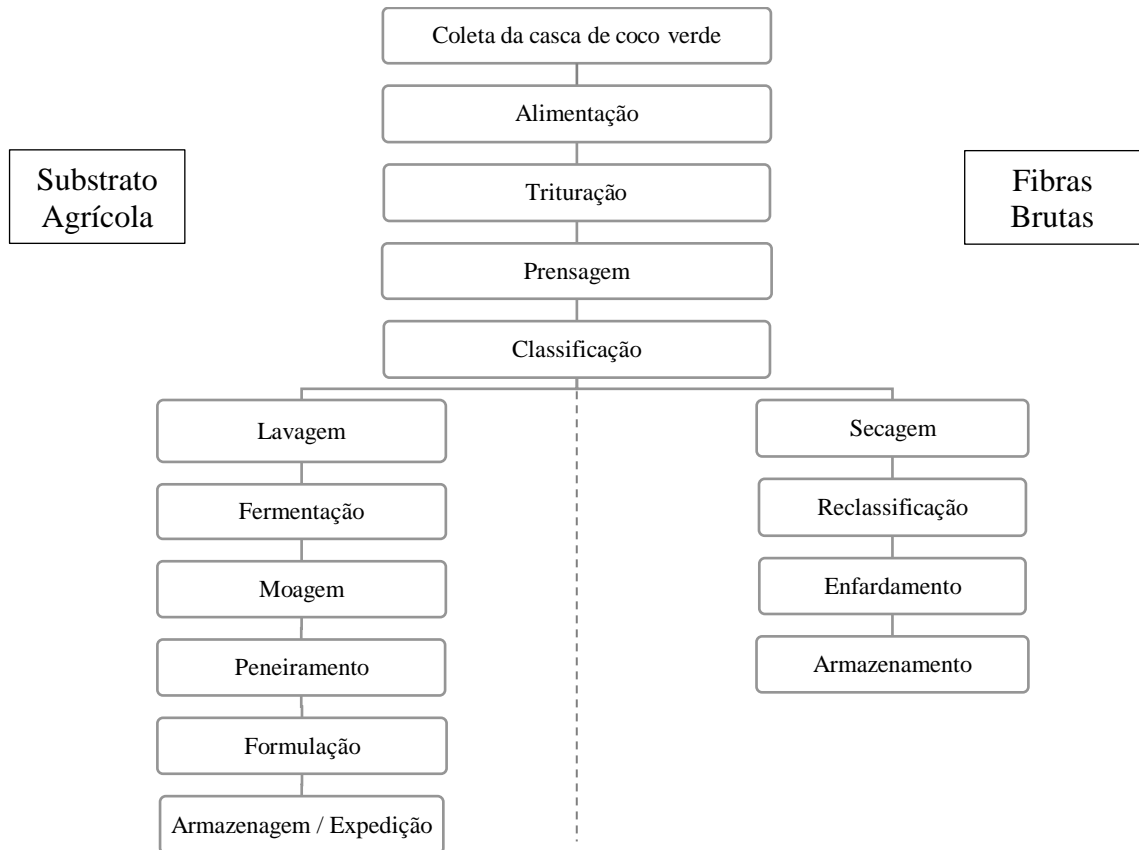
Fonte: Adaptado de Bledzki; Gassan (1999).

Analisando-se as propriedades mecânicas da fibra de coco descritas nos quadros, verifica-se que ela possui uma densidade menor se comparada com as demais fibras, o que resultaria em produtos finais mais leves. Apresenta alongamento muito superior às demais, porém tem a desvantagem de possuir baixa resistência à tração e baixa elasticidade, apesar que tais limitações podem ser contornadas a partir da incorporação de compósitos específicos às fibras durante o processo de fabricação.

2.2.4 Obtenção da fibra de coco

Segundo Mattos, et al., s/d. o de beneficiamento da fibra de coco verde pode ser descrito pelos seguintes processos (Figura 12):

Figura 12: Fluxograma operacional da etapa de produção de substrato agrícola e fibra de coco verde.



Fonte: Adaptado de Mattos, et al. s/d.

Nas unidades de tratamento, os carregamentos contendo as carcaças de coco verde provenientes dos resíduos sólidos produzidos, devem preferencialmente ser recolhidos até três dias após a extração da água, para que o produto final seja de melhor qualidade, já que o processo de desidratação prejudica as propriedades das fibras de coco verde, reduzindo a sua eficiência (Figura 13). Após o recebimento, é feita uma seleção dos materiais, para que sejam retirados materiais estranhos ao processo, tais como, canudos, plásticos, pedras, cascas ressecadas e podres, entre outros. (MATTOS, ET AL. s/d.)

Figura 13: Descarga e triagem de cascas de coco



Fonte: Adaptado de Mattos, et al. s/d.

Após os processos de seleção, as carcaças são colocadas nas esteiras de produção (Figura 14), para que haja um volume uniforme e constante, a fim de evitar travamentos ou excesso de material a ser tratado nas etapas seguintes. (MATTOS, ET AL. s/d.)

Figura 14: Alimentação da linha



Fonte: Adaptado de Mattos, et al. s/d.

Posteriormente as cascas de coco verde passam pelo processo de trituração (Figura 15). A máquina trituradora é composta por rolos de facas fixas que desintegram o material. A escolha desta alternativa é feita devido à possibilidade de otimizar a separação e o

aproveitamento de fibras longas que compõem o exocarpo, já que isso minimiza o corte das fibras, viabilizando a produção de placas acústicas. (MATTOS, ET AL. s/d.)

Figura 15: Máquina trituradora de casca de coco verde



Fonte: Adaptado de Mattos, et al, s/d.

Após o processo de trituração, o material desintegrado ainda possui aproximadamente 80% de sua massa total composta por água, que precisa ser removida por meio de prensagem mecânica com rolos horizontais (Figura 16), resultando em cascas desintegradas com umidade reduzida, pó e líquido de casca de coco verde, o que representa aproximadamente 30% do peso inicial de cascas processadas e deve ser tratado para seu posterior descarte. (MATTOS, ET AL. s/d.)

Figura 16: Máquina de prensagem de casca de coco verde



Fonte: Adaptado de Mattos, et al s/d.

Para se separar as fibras do pó resultantes do processo de prensagem, ocorre a classificação mecânica, onde o pó passa por chapas perfuradas ao longo do eixo da máquina e as fibras longas saem ao fim do percurso (figura 17). A partir dessa etapa, os dois subprodutos serão tratados por procedimentos distintos, de acordo com sua finalidade. (MATTOS, ET AL. s/d.)

Figura 17: Descarga de pó da casca de coco verde



Fonte: Adaptado de Mattos, et al, s/d.

São necessários entre 13 a 15 cocos para obtenção de cerca de um quilo de fibras, já que após os processos de desfibramento, ocorre a separação das fibras e pó, resultando em cerca de 25% de fibras aproveitáveis a partir do material inicial, que posteriormente passará por processos de secagem e peneiramento, para que ocorra a separação das fibras longas e curtas. (SANTOS, 2007)

2.2.5 Produção de placas a partir da fibra de coco

A produção dos painéis acústicos a partir da utilização de fibras de coco, como descrito no capítulo anterior, tem como objetivo dar uma nova destinação a essa matéria-prima, introduzindo uma alternativa que tenha viés sustentável e possibilite a adequação de imóveis já construídos ou de novas edificações, proporcionando um maior conforto acústicos aos seus usuários.

Para que sejam definidas as especificações e quais materiais serão utilizados para a produção desses compósitos, primeiramente é necessário definir a função para qual as placas ou mantas de fibra de coco se destinarão na edificação. Devido às suas propriedades térmicas e acústicas, essas podem ser utilizadas para confecção de produtos para piso, parede, teto e até mesmo como revestimento externo de fachadas, desde que receba os devidos tratamentos para tal.

Na categoria do piso, a fibra de coco pode ser utilizada de duas formas. A primeira refere-se à manta acústica aplicada entre lajes, localizada abaixo do contrapiso, e a segunda à manta aplicada abaixo do piso laminado dos ambientes. Ambas possuem função semelhante, que seria a de evitar a transmissão mecânica de ondas sonoras produzidas pela fonte emissora por meio de impacto direto com o piso.

Esse tipo de isolamento mostra-se de grande importância principalmente quando aplicado em habitações multifamiliares e prédios comerciais, pois as reverberações produzidas pelo impacto direto tendem a se alastrar pelas demais unidades habitacionais adjacentes, não se limitando apenas à unidade diretamente abaixo da fonte emissora.

Apesar das mantas de piso e painéis a partir da fibra de coco possuírem etapas de produção similares, para o objetivo deste estudo, a descrição dos processos focará principalmente nos desenvolvimentos dos painéis acústicos, como também a descrição das suas propriedades e ensaios experimentais utilizados para averiguar a sua eficiência. Para isso, serão utilizados os estudos realizados por Bastos (2009) E serão definidos a seguir.

2.2.5.1 *Tratamentos das Fibras de Coco*

Para que as fibras de coco selecionadas e obtidas por meio do processo de extração (como o descrito por Mattos, et al, s/d, sejam transformadas em painéis acústicos, estas precisam passar por uma série de processos. Cada processo visa a melhoria das propriedades das fibras, para que atendam à função a que são destinadas e às normas vigentes referentes ao produto.

Os processos industriais necessários para o tratamento dessas fibras, definidos por Bastos (2009), são:

- Desfibramento
- Seleção
- Encordamento
- Cozimento
- Desencordoamento
- Aplicação de Látex
- Prensagem
- Vulcanização
- Agente antichamas

Desfibramento: A indústria ou cooperativa, recebe os fardos de fibra de coco, onde passam por processo de desfibramento mecânico e manual, para que seja feita uma pré-seleção, a fim de se retirar impurezas, como restante de cascas e pó, da etapa anterior ou durante o transporte, que pode comprometer o produto final (Figura 18). (BASTOS, 2009)

Figura 18: Desfibramento dos fardos de fibras



Fonte: Bastos (2009).

Seleção: Após o processo de desfibramento, o material resultante é selecionado de acordo com o comprimento das fibras (Figura 19). Para as placas acústicas, são utilizadas as fibras longas, que geralmente não ultrapassam 200 mm, para que haja uma coesão destas. As demais fibras que não atendem os parâmetros para a produção das placas, são separadas e destinadas a outras finalidades. (BASTOS, 2009)

Figura 19: Processo de seleção manual das fibras



Fonte: Bastos (2009).

Encordoamento: As fibras longas selecionadas na etapa anterior são então colocadas em uma máquina especializada onde as fibras separadas se transformam em cordas (Figura 20). Esse processo é necessário para que ocorra uma maior coesão das fibras de coco, além de facilitar o manuseio e o processamento destas nas etapas seguintes. (BASTOS, 2009)

Figura 20: Alimentação de máquina de Encordoamento com fibras (a) produção de cordas de fibras (b)



Fonte: Bastos (2009).

Cozimento: As fibras de coco em forma de corda passam por um processo de pré-cozimento em autoclave. A alta temperatura e pressão da autoclave visa a alteração das propriedades físicas das fibras, promovendo um aumento considerável da elasticidade e da porosidade destas. (BASTOS, 2009)

Desencordoamento: Conforme descreve Bastos (2009), depois do processo de cozimento, as fibras, ainda em forma de cordas, devem ser estocadas para descansarem por um período de 15 dias. Após esse período, os rolos de fibra são então triturados e misturados a restos de fibras provenientes de retalhos obtidos na produção de placas anteriores.

Aplicação de látex: Para a produção de placas utilizando as fibras de coco é necessária a utilização de resinas com função de agentes aglutinantes, como poliéster, poliuretano, látex natural e resina acrílica, para manter a coesão das fibras e conferir características específicas para as placas (SANTOS, 2007; HOMERO, 2012). No procedimento descrito, foi utilizado o látex como agente aglutinante. O látex é pulverizado sob pressão sobre as fibras, agora entrelaçadas, por agulhamento. Esta forma de aplicação é utilizada para que ocorra uma maior penetração do agente em todas as camadas de fibras, proporcionando uma distribuição mais uniforme no material. (BASTOS, 2009)

Prensagem: Segundo Bastos (2009), após a aplicação do látex, as mantas passam por diferentes níveis de prensagem nessa etapa (Figura 21). As de menor intensidade, servem para dar a forma inicial, produzindo rolos contínuos da mistura de fibra com látex, enquanto as de maior intensidade são aplicadas para definir a espessura e densidade desejada para os painéis finais. Terminada a prensagem, os rolos são então cortados em painéis com dimensões estabelecidas pela fábrica. Os retalhos gerados nessa operação são recolhidos e reaproveitados na etapa de desencordoamento.

Figura 21: Processo de prensagem mecanizada



Fonte: Bastos (2009).

Vulcanização: A fibra de coco, já cortada em painéis, é então organizada para que seja submetida ao processo de vulcanização, como mostra a figura 22. Esse é um processo que consiste em submeter o material a altas temperaturas e grande pressão para que ocorra a reação dos seus componentes, alterando as suas propriedades iniciais. O resultado dessa operação é um produto com resistência elevada e grande coesão entre as fibras. (BASTOS, 2009)

Figura 22: Autoclave para vulcanização dos painéis



Fonte: BASTOS, (2009).

Agente antichamas: Após a vulcanização, os painéis são pulverizados com agente antichamas para conferir ao produto maior resistência a chamas, como ilustrado na figura 23. Por fim, os painéis serão então embalados e estocados, aguardando a sua comercialização. Esta é a etapa final do processo industrial para a produção de painéis de fibra de coco. (BASTOS, 2009)

Figura 23: Aplicação de agente antichamas (a) painel concluído (b)



Fonte: Bastos (2009).

O processo descrito se refere ao processo industrial, com utilização de maquinário especializado para a realização de cada etapa. Em caso de produção por cooperativa com menor poder de aparelhamento, esse processo de confecção poderá ser simplificado, obtendo os painéis de forma mais “artesanal”, como descrito por Bastos (2009) em seu estudo:

- Desfibramento
- Formação de camadas de fibras
- Aplicação de agente aglomerante
- Prensagem
- Secagem

Apesar de se tratar de uma forma simplificada, os painéis produzidos dessa forma devem possuir propriedades similares aos produzidos na forma industrializada, porém podem apresentar certas desvantagens. As desvantagens da forma simplificada são comuns a outros produtos feitos de forma artesanal, ou seja, devido à ausência de maquinário especializado, que confere maior controle e precisão durante a produção, o produto pode apresentar diferenças

significativas em relação às dimensões, densidades e conseqüentemente, ao seu desempenho esperado.

Mas independentemente do método utilizado, o resultado esperado desses processos é um painel composto basicamente por fibra de coco verde rústica, tratada para oferecer resistência à umidade, como também propriedades antichamas. A sua densidade é variável, dependendo das especificações adotadas pelo fabricante e a função a que esse painel irá se destinar.

Durante o desenvolvimento de diferentes configurações de painéis, outro ponto a ser observado com relação à densidade, deverá ser de que forma esse material se comportará quando for manuseado, pois a integridade física do painel e a sua praticidade ao ser aplicado estão diretamente relacionadas à sua eficiência como isolamento acústico e quanto à produtividade desempenhada pela mão-de-obra responsável pela sua instalação. Dependendo da densidade escolhida, a aplicação de uma lâmina superficial de material adverso pode ser necessária para se atender às essas exigências, pois contribuirá para se manter a coesão das fibras de coco.

Esses painéis são soluções acústicas destinadas às paredes e tetos da edificação, como mostra a figura 24. O objetivo é fazer a avaliação se esses painéis podem fazer a substituição direta do isolamento termo acústico de edificações à base de lã de rocha e de vidro. Porém é necessário ressaltar que esse tipo de isolamento se dá de forma complementar, trabalhando em conjunto com forros e divisórias de gesso acartonado para proporcionar um melhor conforto térmico e acústico para o usuário dentro do ambiente.

Figura 24: Painéis acústicos para parede e forro



Fonte: Amorim Isolamentos (2020).

Com os painéis de fibra de coco, espera-se obter uma boa performance em questão de isolamento, resistência mecânica e redução do peso total devido à configuração de suas fibras, além de ser uma alternativa mais sustentável e saudável para os usuários e instaladores desse material se comparado com os concorrentes.

2.2.6 Ensaios experimentais

Antes que sejam considerados próprios para o tratamento acústico em edificações, os painéis de fibra de coco produzidos, precisam ser submetidos a uma série de ensaios laboratoriais para que sejam verificadas as suas propriedades. Porém esses testes não devem se limitar apenas ao desempenho desse material em relação à acústica, já que antes de serem utilizados, também necessitam serem considerados seguros tanto para o manuseio como também para as pessoas que, ao longo do tempo, porventura irão utilizar o espaço onde foram instalados.

Dentre os testes a serem realizados, Vieira (2008) define que os principais são:

- Flamabilidade
- Odor
- Envelhecimento
- Suscetibilidade a fungos
- Densidade
- Resistividade ao Fluxo
- Módulo de Elasticidade Dinâmica

2.2.7 Aparência dos Painéis

Painéis ou mantas acústicas geralmente são instalados em conjunto com outros materiais isolantes para que possam exercer a sua função de absorver as ondas sonoras de um ambiente. Os locais mais comuns para a sua utilização são em divisórias de ambientes, preenchendo as câmaras internas do sistema de paredes em *drywall*. Nesses sistemas os painéis ou mantas se encontram isolados, não sendo possível a sua visualização em um ambiente acabado, fazendo com que a sua aparência seja um fator irrelevante, interessando apenas o seu desempenho acústico dentro do sistema.

Nesse sentido, os painéis acústicos produzidos nos processos descritos, apesar da sua aparência mais rústica, atenderiam a sua função pré-estabelecida sem qualquer prejuízo, desde que apresentem desempenho satisfatório. Porém, diferentemente das lãs minerais, painéis produzidos com fibra de coco podem apresentar diferentes funções dependendo da forma que forem produzidos, abrindo uma gama maior de aplicações.

A possibilidade de diferentes aplicações desses painéis em uma edificação está diretamente ligada à sua estrutura física. Painéis com menor densidade geralmente apresentam características mais frágeis e menor capacidade autoportante, sendo necessário que haja proteção adicional para que a sua estrutura física seja preservada, sendo esse um dos motivos para que mantas com esse tipo de característica se encontrem confinadas, como é o caso dos sistemas de parede *drywall*. Nesse sentido pode-se citar iniciativas como o projeto “Acusticoco” (figura 25).

Figura 25: Painéis acústicos “Acusticoco” produzidos na Escola Sesi Cambona em Maceió



Fonte: TNH1 (2020).

O “Acusticoco” é o resultado de um projeto de iniciação científica realizado na Escola Sesi Cambona em Maceió, Alagoas. Este projeto, que foi vencedor do Prêmio ABRIC (Associação Brasileira de Incentivo à Ciência) de Excelência em Iniciação Científica, promovido pela Universidade de São Paulo (USP), teve a participação de alunos e professores cujo objetivo inicial era tentar controlar os níveis de ruídos dentro de sala de aula e melhorar o desempenho escolar, a baixo custo. A redução chegou a 4dB. (TNH1, 2020)

Os painéis foram produzidos de forma artesanal pelos estudantes e apresentam acabamentos diferenciados, como pode ser visto na figura 25 Uma das variedades seria o painel

de fibra de coco na sua forma mais tradicional, que devido à sua baixa densidade está montado de forma que lhe confere mais estrutura. E a outra variedade seria onde esses painéis são revestidos por tecidos, podendo receber formas diferentes (no caso circular) das que normalmente se espera de revestimentos acústicos.

Abordagens como esta, criam a possibilidade de produção de painéis acústicos que ofereçam um nível maior de customização e que se adaptariam a diferentes concepções arquitetônicas, além de proteger a integridades das fibras de coco que compõem o painel, evitando esgarçamentos.

Outro exemplo de aplicação onde os painéis são visíveis e agregam valor estético ao conjunto arquitetônico são os painéis produzidos pela COCOVERDE no Rio de Janeiro.

Estes painéis são classificados para a destinação de tratamento acústico como também para a montagem de jardins verticais, como mostrado na figura 26, e serão objeto de estudo na etapa de testes deste trabalho.

Figura 26: Aplicação de painéis para jardins verticais de painéis da COCOVERDE



Fonte: Cocoverde (2020).

A principal diferença desses painéis se comparados aos do exemplo anterior é a estrutura física. São painéis com dimensões que variam de 200 x 200 x 10mm até 400 x 800 x 40mm e peso de 100g para as placas menores e mais finas a até 2.250g por unidade nas peças com maior dimensão, o que lhes confere uma densidade bastante elevada e uma estrutura mais rígida. (COCOVERDE, 2020)

Em questão de acabamento, esses painéis têm aparência bastante rústica, apresentando pouca diferença se comparados às fibras de coco em seu estado anterior ao processo de confecção dos painéis. Nos ensaios que serão realizados, eles se encontrarão confinados nas câmaras internas do sistema *drywall*, porém, devido à sua elevada resistência e dependendo da linguagem que se deseja seguir, também podem ser utilizados de forma sobreposta em paredes tanto em sua forma natural ou em conjunto com adornos vegetais para composições paisagísticas. Seria necessário a realização de testes específicos para se atestar a eficiência do material nessa configuração, mas é possível supor que apresentem um desempenho no mínimo moderado em questão de absorção e difração de ondas sonoras.

Seguindo a linha de painéis rígidos de aparência rústica, pode-se citar os painéis de fibra de coco produzidos pela empresa chinesa *QUINSOUND*, que oferecem mais versatilidade e possibilidades de customização, se comparados aos exemplos anteriores.

Figura 27: Diversidade de acabamentos para painéis acústicos produzidos pela QUINSOUND.



Fonte: *Quinsound* (2020).

A figura 28 mostram algumas aplicações desses produtos:

Figura 28: Diferentes aplicações para os painéis da *QUINSOUND*



Fonte: *Quinsound* (2020).

Como pode ser visto nas figuras 27 e 28, esses produtos já possuem um apelo estético muito superior aos demais, o que lhes confere uma vocação quase que exclusivamente para uso externo, ou seja, não confinada em sistemas *drywall* ou similares, como acontece com as demais lãs minerais. A sua variedade de cores e formas permite modulações, criando murais decorados que ainda possuem propriedades de atenuação sonora para ambientes internos (Figura 29).

Figura 29: Murais produzidos a partir dos painéis da *QUINSOUND*



Fonte: *Quinsound* (2020).

A superfície dos painéis é bastante rústica, deixando evidente as formas das fibras, algo similar aos produzidos pela empresa COCOVERDE. Mas apesar da similaridade, esses painéis não são feitos com aglomerantes naturais como látex, mas sim com cimento, o que os deixa mais próximos de placas cimentícias e placas de gesso. Com espessuras que variam de 9mm a 20mm, dimensões e formas variáveis, esses painéis podem ser aplicados tanto em paredes como tetos, podendo ser até mesmo uma substituição direta para placas de gesso em sistemas de teto removível, como ilustra a figura 28. (*QUINSOUND*, 2020)

Segundo o fabricante, os painéis apresentam excelentes níveis de absorção sonora e aliados à sua durabilidade e demais características estéticas, estes seriam ótimos elementos a serem trabalhados em projetos de design de interiores.

Outro exemplo de painéis de fibra de coco que tem função de tratamento termo acústico, mas que também seguem uma linha mais voltada para a questão estética, como os da *QUINSOUND* da China, são os painéis 3D de fibra de coco apresentados na *Coir Kerala Expo 2016* em Alappuzha, Índia, produzidos pela *2M ENGINEERS*. (figura 30 e 31):

Figura 30: Painéis produzidos pela 2M ENGINEERS, com base de fibra de coco e resina



Fonte: (a) Issuu (2020), (b) S.T.M Exports (2020).

Figura 31: Painéis produzidos pela 2M ENGINEERS, com base de fibra de coco e resina



Fonte: S.T.M Exports (2020).

A Índia é atualmente o terceiro maior produtor de coco no mundo, bem à frente do Brasil, com uma quantidade de produção quase 5 vezes maior (BRAINER, 2018). As consequências do seu alto consumo de coco são similares aos que ocorrem no Brasil, como apresentados em capítulos anteriores, mas de forma potencializada.

Porém na Índia, a utilização da fibra de coco já é comum em sua história, com registros de utilização na forma de cordas e outros utensílios por navegadores indianos em períodos antigos. O que faz a cultura de produção de fibras de coco e seu beneficiamento algo tradicional, sendo a primeira fábrica reconhecida em Alleppey no ano de 1859. (COIRBOARD, 2020)

A partir desse breve histórico, vemos que não é surpresa que também se desenvolvam painéis acústicos. Os painéis apresentados em Kerala apresentam características similares aos do exemplo anterior, mas vão um passo além na questão da forma. São produzidos a partir de uma combinação de fibras de coco e resina fenólica sintética que então são aquecidas a temperaturas de 120 °C em formas com formatos customizados. (ISSUU, 2020)

Este procedimento confere ao painel uma grande resistência física, e uma superfície mais uniforme, quase lisa, diferentemente dos exemplos anteriores, o que pode ser possível na questão de durabilidade e manutenção.

Segundo o autor do projeto, os painéis possuem a porosidade característica das fibras de coco, o que os classifica como uma alternativa viável para isolamento térmico e acústico de ambientes. Além da vantagem de serem resistentes a fogo e a prova d'água. (ISSUU, 2020)

Os painéis de Kerala são bastante interessantes se consideradas as questões de desempenho em geral e principalmente as questões estéticas, já que o seu modo de produção, baseado na prensagem em moldes customizáveis e utilização de resinas sintéticas, possibilita a criação de inúmeras combinações de cores e formas para atender o mercado consumidor (Figura 22). Na arquitetura, seriam opções interessantes para o desenvolvimento de paginações nas áreas internas ou nas fachadas externas, já que são resistentes a intempéries.

Figura 32: Painéis produzidos pela 2M ENGINEERS, com base de fibra de coco e resina



Fonte: S.T.M Exports (2020).

Os exemplos apresentados mostram que o desenvolvimento de painéis a partir da fibra de coco reciclada não é algo novo, é apenas uma opção já existente que tem grande potencial, mas que não possui uma ampla divulgação, o que acarreta a sua subutilização ou até o seu total desconhecimento.

Apesar do pressuposto de que estes painéis possuem bom desempenho térmico e acústico, é necessário que sejam feitos testes laboratoriais e em campo baseados nas normas de desempenho nacionais vigentes, como a NBR 15575 (ABNT, 2013), para atestar a real eficiência desse material que se apresenta de formas distintas. Mas do ponto de vista estético da arquitetura, é uma opção sustentável com potencial e que poderia contribuir positivamente para o design arquitetônico.

2.3 ACÚSTICA

A forma dos materiais absorvedores e suas interações têm despertado o interesse de pesquisadores há muito tempo. Segundo Bistafa (2006), a propriedade acústica de um material

é definida pelo comportamento de uma superfície quando submetida a uma onda sonora, seja ela de alta ou baixa frequência. A onda sonora que incide na superfície irá em parte ser refletida enquanto outra será absorvida e transmitida pelo material.

No campo da arquitetura e da construção civil, é necessária a elaboração de estudos específicos para fazer o controle de ruídos em edificações. Como o nome sugere, este envolve um conjunto de técnicas e escolhas de materiais com o objetivo de minimizar o efeito de sons indesejáveis e otimizar o conforto dos usuários dentro da edificação. Para se obter um melhor conforto acústico, é preciso atentar tanto para o controle de ruídos em ambientes fechados como também a redução de ruídos entre cômodos, além dos gerados pelo meio externo da edificação para o seu interior, e vice-versa.

Para fazer o controle dos ruídos em edificações, um dos principais fatores é a escolha dos materiais a serem utilizados. Diferentes materiais apresentam diferentes propriedades acústicas, sendo estas influenciadas por sua densidade e configuração de superfície.

2.3.1 Conceitos Fundamentais

Para que se possa estudar a acústica e todas as suas implicações em questões relativas ao conforto acústico em edificações, primeiramente é necessário entender os conceitos básicos que compõem essa matéria, a começar pelo som.

O som consiste na sensação percebida resultante de um estímulo externo no sistema auditivo de um indivíduo. Para que esse fenômeno ocorra, é necessária a presença de três elementos básicos nesse sistema:

EMISSOR > MEIO > RECEPTOR

O estímulo tem sua origem no emissor, que é o responsável por gerar distúrbios que são transmitidos através da vibração das moléculas do meio até serem recebidas pelo sistema auditivo do receptor.

Entende-se meio como o local onde ocorre a propagação dos distribuídos, sendo este diretamente responsável pela qualidade do distúrbio. O distúrbio gerado pelo emissor se propaga de forma mecânica, criando uma série de pequenas variações de pressão devido ao movimento das moléculas presentes no meio. Essas variações de pressão são compostas por

processos de descompressão e expansão, caracterizando uma onda de pressão. As ondas de pressão que definem a propagação do som, são conhecidas como ondas sonoras.

Apesar do distúrbio ser originado de um mesmo emissor, as ondas sonoras podem sofrer diversas alterações durante a sua transmissão através do meio e por esse motivo serem detectadas de diferentes maneiras por receptores distintos. Essas ondas sonoras são então interpretadas de forma subjetiva pelo receptor, que as classifica como som ou ruído, que pode ser entendido como uma forma negativa e indesejável do som.

2.3.1.1 *Natureza do som*

Segundo Bistafa (2006), o som corresponde a uma variação de pressão cíclica no meio que é possível de ser detectada, sensibilizando o sistema auditivo. Para que seja ouvido, o som precisa exercer uma variação de pressão mínima de 2×10^{-5} Pa ou $0,000002 \text{ kgf/m}^2$, o que corresponde ao limite detectável pelo ouvido de um ser humano jovem saudável, chegando até aos valores máximos de pressão de 20 Pa, denominado limiar da dor.

Porém, para que esse parâmetro se tornasse mais acessível para base de referência e comparativos, estabeleceu-se o Bel e o Decibel (dB) que corresponde ao valor de 10 Bels, a fim de se quantificar a intensidade sonora através de numerais inteiros, eliminando as casas decimais (CBIC, 2013).

A quantificação das intensidades sonoras pode ser obtida por meio da expressão logarítmica abaixo:

$$dB = 10 \cdot \log \frac{p^2}{p_0^2}$$

Onde:

P = pressão acústica da onda em Pascais

P_0 = é a pressão de referência (2×10^{-5} Pa)

A partir dessa equação é possível ter uma melhor compreensão dos valores correspondentes às intensidades sonoras dos objetos e situações do cotidiano, como ilustra a quadro 9 elaborada pela CBIC (2013):

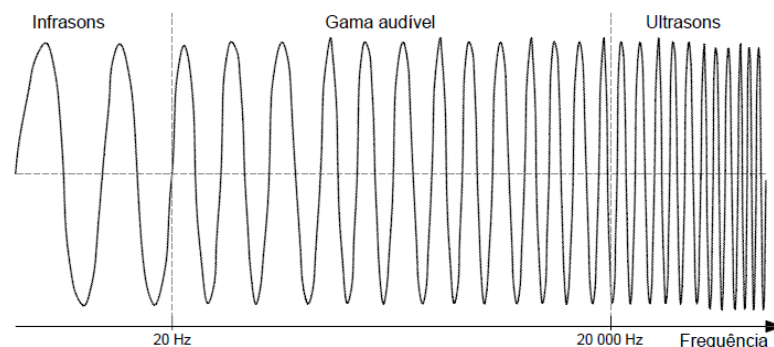
Quadro 9: Intensidades sonoras características em dB(A)

Nível de desempenho		Correspondência aproximada
Pa	dB (A)	
20	120	Martelete pneumático, turbina de avião
2	100	Veículos com escapamento aberto (motos, autos)
0,2	80	Avenidas com trânsito intenso, gritos de pessoas
0,02	60	Rádio em volume normal, rua com pequeno trânsito de veículos
0,0002	20	Limite para o repouso tranquilo
0,00002	0	Limite de audição para jovens, frequência 1.000 a 4.000Hz

Fonte: Adaptado CBIC (2013).

Além da variação de pressão, o sistema auditivo humano apresenta também um espectro audível de frequências que variam de 20 Hz e 20 kHz (20.000 Hz). Valores abaixo de 20Hz são classificados de infrassons e acima de 20 kHz como ultrassons, como ilustra a figura 33:

Figura 33: Espectro de frequências



Fonte: MATEUS, (2008).

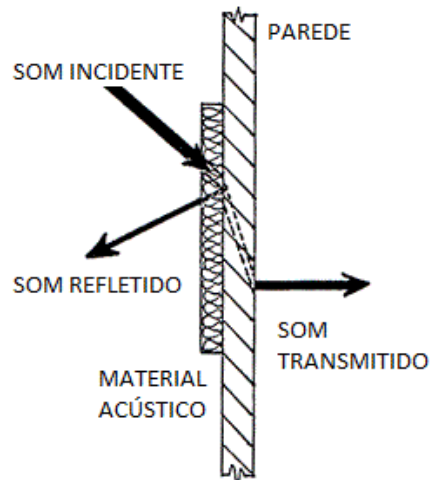
2.3.2 Propriedades das ondas sonoras

Na arquitetura, geralmente o ruído é controlado utilizando materiais acústicos. Estes podem ser de baixa e média densidade, fibrosos ou porosos, o que influencia na sua capacidade de absorção sonora. Para se escolher soluções que atendam às expectativas de conforto acústico, é necessário se compreender a forma que o som se comporta e interage com o ambiente.

Dependendo da situação, as ondas sonoras podem reagir de diferentes maneiras o que pode acarretar a alteração de suas propriedades e alterar a forma que é recebida pelo receptor.

A figura 34, apresenta uma situação onde o som incide em uma superfície com material acústico e as reações a essa interação:

Figura 34: Desenho esquemático do comportamento das ondas sonoras em contato com superfícies



Fonte: Adaptado de Acousticalsurfaces,, (2020).

Segundo Bistafa (2006), a capacidade de uma superfície absorver o som é dada pelo coeficiente de absorção sonora (α), sendo definido pela expressão:

$$\alpha = I_{\text{absorvida}} / I_{\text{incidente}} = (I_{\text{incidente}} - I_{\text{refletida}}) / I_{\text{incidente}}$$

Onde:

$I_{\text{absorvida}}$ = Intensidade sonora absorvida, por unidade de tempo e por unidade de área.

$I_{\text{incidente}}$ = Intensidade sonora incidente.

$I_{\text{refletida}}$ = Intensidade de som refletido.

Como ilustrado na figura 34 e definido por Bistafa (2006) nesse tipo de interação ocorrem os seguintes fenômenos:

Reflexão: A reflexão ocorre quando uma onda sonora atinge uma superfície e é refletida com o mesmo ângulo de incidência. A intensidade que essa onda será refletida é proporcional a rigidez do material e a configuração de superfície deste. Materiais mais rígidos e lisos tendem a refletir melhor o som indecente, enquanto materiais mais flexíveis e rugosos tendem a dispersar e absorver com mais facilidade as ondas sonoras. Dependendo da tipologia aplicada

e da intensidade, o som refletido pode ser indesejável, já que o resultado é uma sobreposição do som direto e do som refletido, resultando no fenômeno da reverberação e do eco.

Se o tempo de reverberação for muito longo, o ruído se manterá ativo por mais tempo, o conhecido “eco”, o que poderá gerar desconforto para qualquer atividade que se desenvolva naquele ambiente. Agora se o tempo de reverberação for muito curto, o ruído irá se dissipar de forma muito rápida, o que também pode trazer problemas dependendo da finalidade do ambiente, como salas de conferência e locais destinados à concertos, pois o som ficará “abafado” e perderá alcance, prejudicando a recepção deste pelos usuários. (BISTAFA, 2006)

Transmissão e refração: O som ao atingir uma superfície, é transmitido de uma face a outra. Porém, dependendo da configuração do material, essa transmissão entre dois meios de propagação diferentes pode alterar a velocidade e a direção das ondas, porém mantém-se a sua frequência original. (BISTAFA, 2006)

Difração: Segundo Bistafa (2006), a difração é a capacidade do som de transposição ou desvio de obstáculo. A capacidade de difração de uma onda sonora depende do tamanho de sua onda. Sons mais graves, de baixa frequência e que apresentam ondas mais longas, possuem uma maior capacidade de difração se comparados à sons mais agudos que são de maior frequência e ondas mais curtas.

Absorção: A absorção sonora ocorre no momento em que a onda sonora incide em um material e este não impede que seja refletido total ou parcialmente. Essa é uma das principais propriedade dos materiais acústicos utilizados em edificações, servindo tanto para o controle das reverberações presentes no ambiente como também ao dificultar a transmissão de um meio para o outro. (BISTAFA, 2006)

2.4 ACÚSTICA E A SAÚDE PÚBLICA

Devido ao ritmo acelerado a que as pessoas estão submetidas atualmente na sociedade, seja nos locais de trabalho, no trânsito ou em suas residências, essas acabam sendo diariamente bombardeadas por estímulos sensoriais de toda natureza. Porém, como acontece no caso da acústica, existem evidências científicas suficientes que atestam que essa exposição prolongada pode acarretar graves problemas de saúde no indivíduo.

Durante a década de 60, muitos dos efeitos da relação ruído/saúde já eram conhecidos ou estavam em processo de estudo, e serviram para expor a gravidade dos fatos, configurando a poluição sonora como um problema de Saúde Pública (PASSCHIER-VERMEER E W. PASSCHIER, 2000).

Como apontadas nos estudos desenvolvidos pelo *Occupational Safety and Health Admini* (OSHA.SBCTC, LOHP, 2015), e Passchier-Vermeer e W. Passchier (2000), as consequências desta exposição constante a ruídos são:

- Perda auditiva
- Acufeno
- Estresse
- Ansiedade
- Aumento da pressão sanguínea
- Problemas gástricos
- Distúrbios do sono
- Fadiga crônica

Tendo em vista a ocorrência dos problemas citados acima, a acústica tem um papel fundamental no âmbito da arquitetura, pois viabiliza soluções voltadas para o conforto e sobretudo para evitar ou amenizar os efeitos causados pela exposição aos ruídos. Para isso, foi necessária a elaboração de normativas que visem padronizar os métodos avaliativos de medição e estabelecer níveis mínimos de desempenho acústico em edificações. Entre outras, pode-se citar as:

- 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 e outras surgem como uma ferramenta importante no combate a esse tipo de poluição cada vez mais comum na vida da população e por esse motivo, serão utilizadas como base para avaliação dos resultados obtidos a partir deste estudo.

2.5 SOLUÇÕES ACÚSTICAS PARA EDIFICAÇÕES

Como foi possível verificar em tópicos anteriores, o conforto acústico está diretamente relacionado com o bem-estar do indivíduo, já que a poluição sonora pode impactar irreversivelmente a sua saúde, agindo gradualmente e muitas vezes de forma imperceptível. Por esse motivo, é fundamental um maior aprofundamento nas questões referentes a soluções acústicas em edificações.

Apesar do tema base deste trabalho ser voltado para os painéis acústicos produzidos a partir das fibras de coco recicladas, é necessário salientar que os painéis acústicos possuem ação limitada, sendo apenas mais um componente a ser observado dentro de um sistema que necessite receber tratamento acústico.

Toda edificação, independentemente de sua patologia, tem a possibilidade de ser recondicionada, desde que sejam empregados os recursos necessários para tal. Uma edificação que apresente um desempenho acústico abaixo do esperado, pode ter seu desempenho melhorado através da adoção de soluções pontuais para corrigir ou remediar o problema. Porém como qualquer intervenção corretiva, essas tendem a ser mais onerosas que soluções preventivas, além do risco de o resultado da intervenção não atingir as expectativas, seja por fatores externos, por questões estruturais ou pela concepção do projeto.

Para que um ambiente apresente valores satisfatórios no quesito desempenho acústico, é necessário que seja seguida uma série de etapas que começam antes mesmo da concepção do projeto. Tudo começa com um bom planejamento.

2.5.1 Definições e estudos de implantação

Um bom planejamento tem como ponto de partida a definição das atividades que serão exercidas no espaço a ser construído. Isso é necessário pois cada atividade produz níveis específicos de ruídos e possuem legislações próprias para determinar padrões para seu desempenho acústico, como é o caso da NBR 10151 (ABNT, 2019), NBR 10152 (ABNT, 2017) e em especial a NBR 15575 (ABNT, 2013), que é objeto de estudo deste trabalho.

Outro ponto importante para se obter um desempenho acústico satisfatório, é a análise do entorno onde será implantada a nova edificação. Este ponto está diretamente ligado a questões urbanísticas e à organização espacial da cidade.

Para se analisar o entorno do local de implantação visando as questões acústicas, algumas formas de abordagem seriam:

- Identificar os núcleos integradores
- Mapear as atividades locais
- Analisar a topografia e elementos urbanísticos

Identificar os núcleos integradores: Com a Teoria da Sintaxe Espacial, pode-se gerar mapas axiais e identificar nas malhas urbanas os locais onde ocorrem a maior convergência, como ilustra a figura 35:

Figura 35: Exemplo mapa axial



Fonte: UFMG (2020).

O objetivo dos mapas axiais é hierarquizar as vias que compõem a malha urbana e com isso, identificar as vias que apresentam o maior número de integrações. A figura 35 está representando os eixos de vias na escala de cidade, mas o mesmo método pode ser utilizado em locais de menor escala.

Vias mais integradas são aquelas que apresentam o maior número de integrações no espaço convexo. Estas geralmente concentram um número maior de atividades de interação social, como comércio ou lazer, o que acarreta um fluxo maior de pessoas e veículos, aumentando consideravelmente os níveis de ruído se comparadas a vias menos integradas.

Nestas regiões, o fluxo de veículos e pessoas apresenta grande variação de acordo com o horário, porém dependendo das atividades presentes no local, mesmo em horários onde esse fluxo deveria estar em seu patamar mínimo, este ainda é considerável e de intensidade suficiente para gerar incômodos.

Mapear as atividades locais: Apesar dos mapas axiais proporcionarem dados de grande importância para entender o funcionamento da malha urbana através do ponto de vista das vias e fluxos, também é necessário que seja feito um estudo mais aprofundado a partir da escala humana, a fim de se entender a real situação de um contexto urbano dadas as suas inúmeras peculiaridades.

Cidades mais recentes, tendem a apresentar um nível maior de planejamento, refletindo em um grau mais elevado de setorização de atividades, como é o caso do Plano Piloto de Brasília. Algo que geralmente não acontece com centros urbanos mais antigos, conhecidos como cidades espontâneas ou naturais, que se desenvolveram ao longo do tempo conforme as necessidades da população e que muitas vezes ocorre sem planejamento, como é o caso, por exemplo, do Rio de Janeiro. Nesses locais é comum que as atividades convirjam e gerem alguns resultados indesejáveis.

Figura 36: Mapa ilustrativo de fontes de ruídos



Fonte: Serrano, et al. 2016.

As figuras 36, onde cores vermelhas representam fontes mais ruidosas, enquanto as verdes representariam fontes de menor intensidade, ilustram essas situações que são facilmente encontradas no cotidiano de qualquer centro urbano. Em muitas regiões, temos a presença de edificações que apresentam atividades ruidosas muito próximas a áreas residenciais, como é o caso de mercados, escolas, igrejas, bares, boates etc.

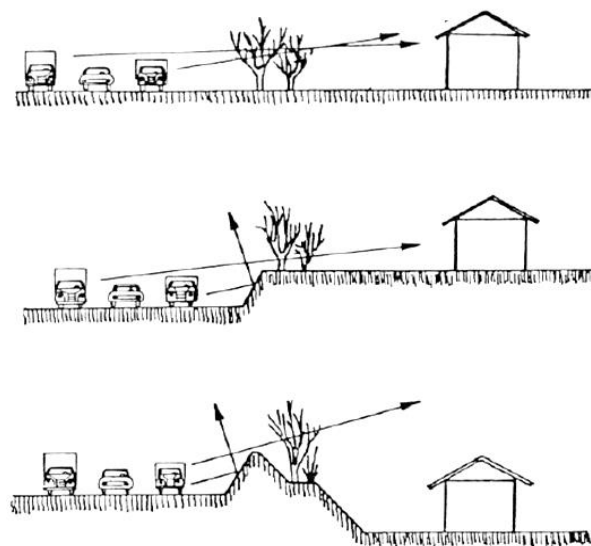
Apesar da existência de leis que restringem os níveis máximos de ruído produzidos de acordo com o local e o horário, as atividades citadas ainda são as principais responsáveis por gerarem incômodos nas regiões adjacentes.

Como estes locais operam em horários específicos, é necessário que além do mapeamento das atividades, seja feita também a medição dos níveis de ruídos em diferentes períodos do dia para se ter um conhecimento mais amplo da região e de que forma isso impactará a vida dos seus residentes.

Analisar a topografia e elementos urbanísticos: Outros fatores que devem ser observados em uma implantação é a configuração do terreno natural e os elementos urbanísticos presentes nas imediações.

Os desníveis do terreno e a vegetação podem ser considerados como barreiras acústicas naturais e ajudam a amenizar os ruídos nas cidades. Essas barreiras agem como obstáculos na propagação do som, como ilustra as três situações nas figuras 37:

Figura 37: Influência da topografia na propagação do som



Fonte: Reina (2013).

Na primeira onde as fontes de ruídos se encontram no mesmo nível que o receptor, representado pela figura da casa, o ruído tende a se propagar com maior facilidade pelo meio. Nesta configuração, as ondas sonoras ficam sujeitas apenas a atenuação por meio de fatores como a distância entre a fonte e o receptor, além dos condicionantes ambientais, como ventos, temperatura, umidade. Esta configuração tende a gerar um nível maior de incômodo.

Já no segundo e terceiro exemplo, a presença de desníveis no terreno cria uma barreira para a propagação do som entre a fonte do ruído e o receptor. A eficiência dessas barreiras, que podem ser naturais ou construídas, depende diretamente da sua altura e os tipos de ruído presentes no local. A atenuação sonora se dá por meio da difração, criando sombras acústicas, proporcionando um nível maior de conforto. (SERRANO, et al. 2016)

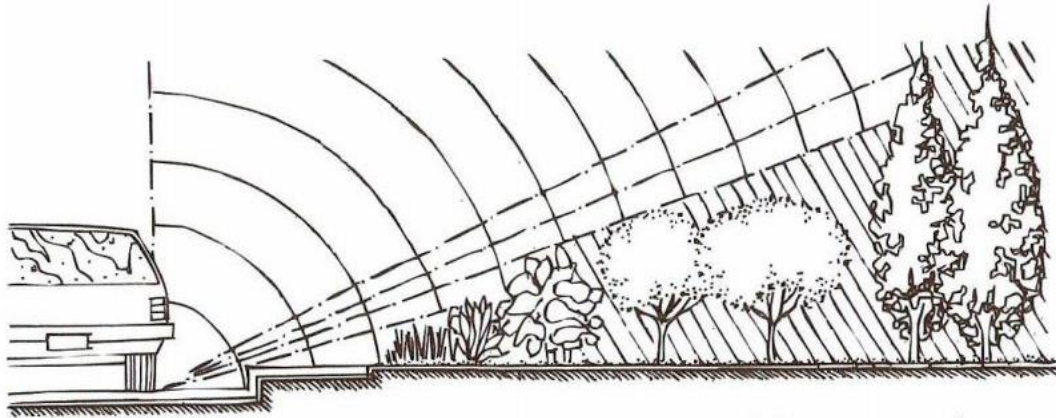
Quanto à vegetação urbana, a sua eficiência na atenuação sonora apresenta limitações, dependendo de fatores como:

- Densidade da área verde
- Configuração do paisagismo
- Espécies

A vegetação, como acontece com o terreno, também age na difração e reflexão do som incidente e não como agentes absorvedores, já que tanto a folhagem como troncos e galhos apresentam baixos índices nesse quesito, reduzindo aproximadamente 1dB a cada 10m de vegetação densa. As ondas de alta frequência são mais dispersadas pelas folhas enquanto as de baixa frequência são mais atenuadas pelo solo. (DUARTE, 2018)

É aconselhável a utilização de uma mancha verde densa e em diferentes níveis de escalonamento para se obter melhores resultados na dispersão de ondas sonoras, como ilustrado na figura 38. (MASCARÓ; MASCARÓ, 2010)

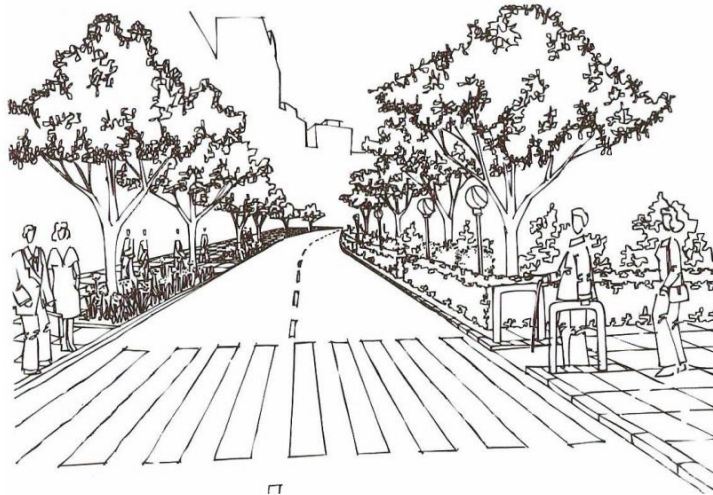
Figura 38: Efeito de barreira acústica com vegetação em diferentes alturas



Fonte: Mascaró; Mascaró (2010).

Além da eventual dispersão de ondas sonoras, as massas arbóreas também atuam proporcionando um ambiente subjetivamente mais agradável para as cidades, ao introduzirem sons da natureza, como o canto de pássaros e o som do vento nas folhagens, em meios as fontes de ruídos desagradáveis e as formas severas das edificações (Figura 39).

Figura 39: Arborização de vias



Fonte: Mascaró; Mascaró (2010).

Diferentes contextos urbanos exigem diferentes tipos de soluções acústicas, mostrando como o conhecimento do entorno de uma edificação é fundamental para que esta apresente um desempenho acústico satisfatório.

2.5.2 Forma, Layout e Materiais

A arquitetura é uma expressão artística em constante evolução. Tem acompanhado o desenvolvimento da humanidade, agregando valores e tecnologias à sua forma, refletindo a personalidade de seu autor e as características culturais de um povo.

Foi na Revolução Industrial, com desenvolvimento de novas tecnologias e o surgimento de novos materiais, que a arquitetura começou a tomar proporções como nunca visto. Porém juntamente com essa evolução, também surgiram novos problemas, em especial nas áreas de conforto termo acústico, que ainda se perpetuam na arquitetura atualmente.

A partir da etapa inicial com os estudos sobre o contexto urbano de uma edificação, é preciso atenção a certos pontos durante o desenvolvimento de um projeto, tais como:

- Análise da geometria do edifício
- Estudo de fachada
- Layout interno e instalações prediais
- Materiais

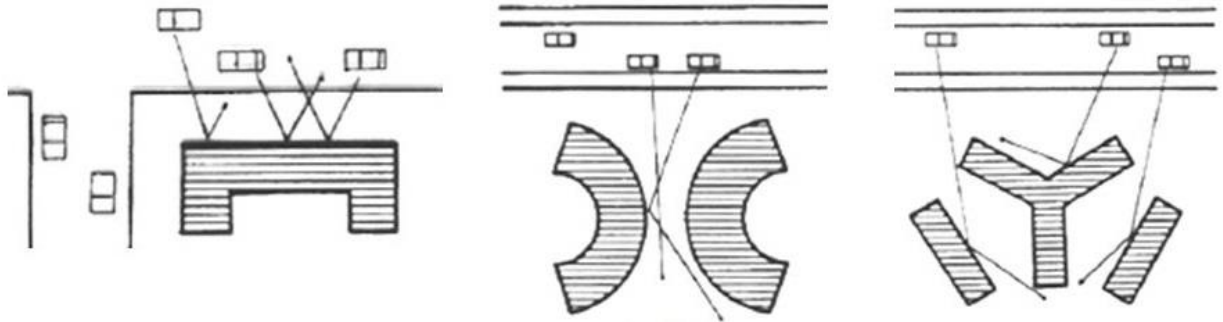
Análise da geometria do edifício: Com os adventos da tecnologia, houve um aumento exponencial de edifícios nos centros urbanos. Estes assumiram o lugar das antigas construções, alterando de forma indelével a paisagem das cidades ao conferir a elas um perfil de maior verticalidade.

É possível para os projetistas a criação de edifícios com as mais diversas formas e linguagens arquitetônicas. Mas além da buscar a beleza, essas formas devem ser projetadas visando atender as questões bioclimáticas e do conforto termoacústico.

Dependendo da forma, da relação de proximidade dos edifícios e da orientação do conjunto em um determinado espaço, algumas implantações podem apresentar comportamentos acústicos particulares que devem ser observadas durante a etapa de projeto.

A figura 40 ilustra algumas situações, onde a interação entre prédios e fontes sonoras apresenta resultados **desejáveis**:

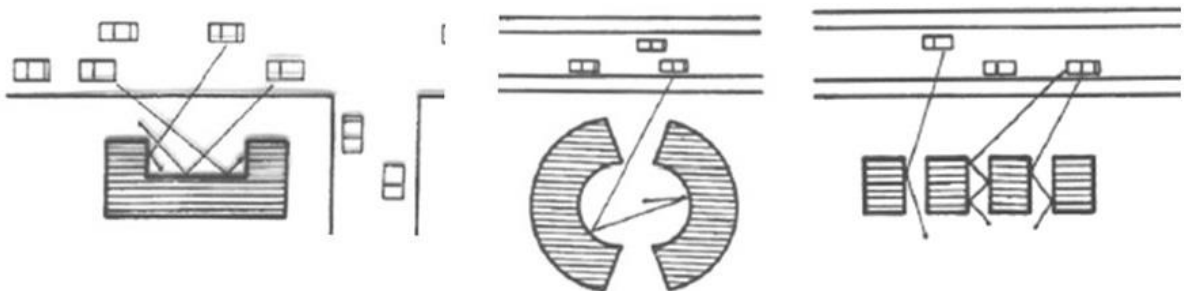
Figura 40: Formas e disposições desejáveis para conforto acústico



Fonte: Reina (2013).

A figura 41, ilustram algumas situações onde a interação entre prédios e fontes sonoras apresenta resultados **indesejáveis**

Figura 41: Formas e disposições indesejáveis para conforto acústico



Fonte: Reina (2013).

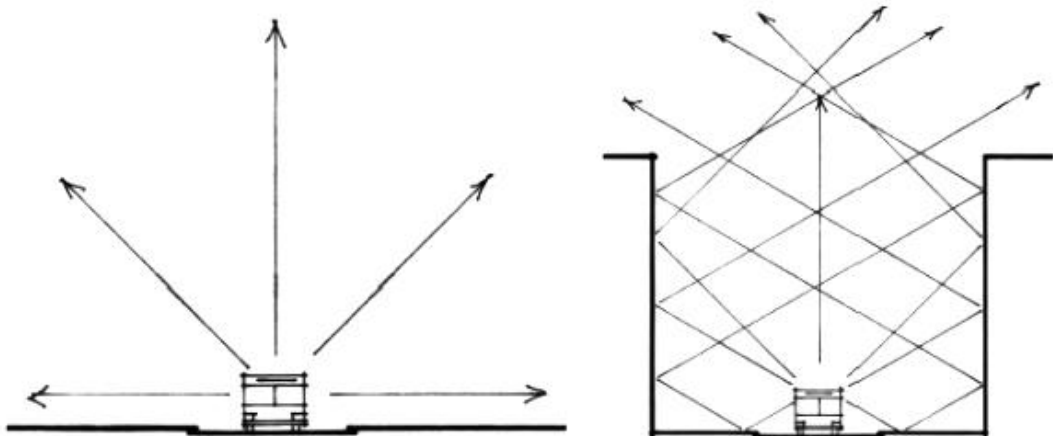
Nas figuras nota-se que nos exemplos desejáveis e indesejáveis, algumas formas dos edifícios são comuns aos dois casos, porém aparecem em diferentes disposições, fazendo com que os ruídos produzidos na avenida próxima interajam de diferentes maneiras com cada agrupamento.

Nesses casos a interação representada é o fenômeno da reflexão. Nos exemplos desejáveis, a forma e a disposição dos edifícios favorecem a dispersão das ondas sonoras, já que o número de interações entre as ondas e a superfície do edifício são menores, diferentemente do que ocorre nos casos indesejáveis.

Nos casos indesejáveis, itens A e B da figura 41 a geometria convexa das edificações faz com que as ondas sonoras incidentes produzidas pelas fontes de ruído sejam refletidas nas suas fachadas de forma contínua até que estas se dispersem devido à perda de energia ou encontrem uma abertura para fuga. Estas configurações tendem a amplificar as ondas sonoras criando campos reverberantes, gerando incômodo.

Apesar das figuras apresentarem exemplos em formato de planta, é preciso lembrar que as ondas sonoras se propagam em todas as direções a partir do emissor, fazendo com que o mesmo fenômeno também ocorra quando observamos essas configurações em corte, como ilustra a figura 42:

Figura 42: Efeitos dos edifícios na propagação sonora

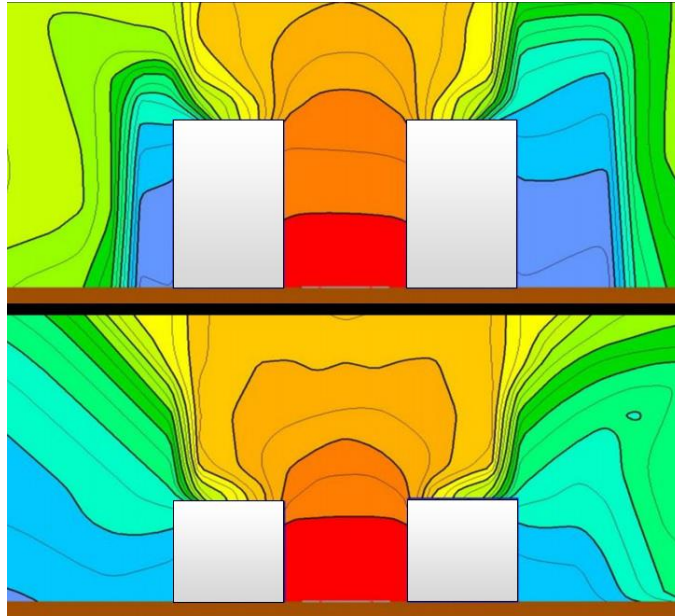


Fonte: Adaptado Reina (2013).

Na primeira situação da figura 42, o som está se propagando em todas as direções, mas devido à ausência de obstáculos, este se propaga livremente pelo meio, fazendo a sua intensidade sonora decair gradativamente conforme se afasta da sua origem.

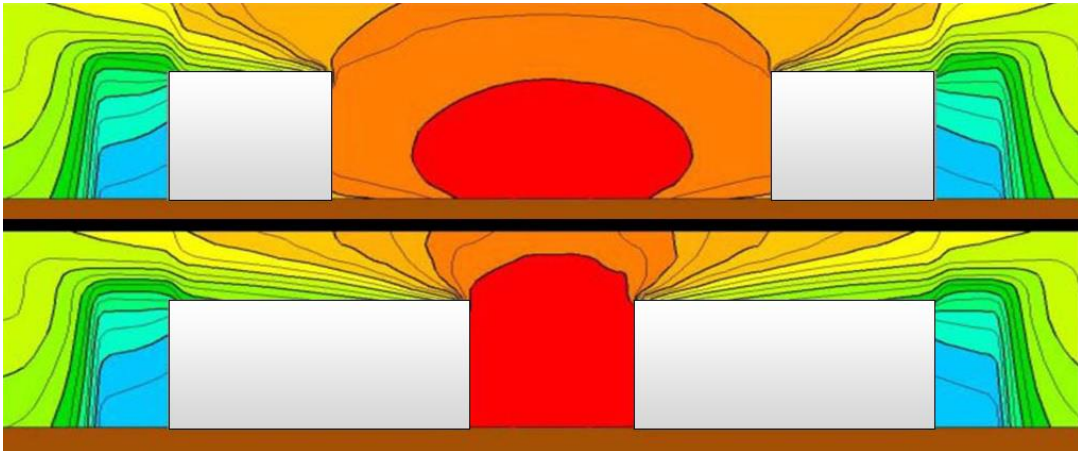
Já na segunda situação, temos uma configuração que remete a um cânion, composta por duas barreiras (prédios) e a fonte de ruído ao centro (avenida). Nesta os ruídos produzidos pela avenida são refletidos inúmeras vezes, reverberando nas fachadas dos edifícios até que escapem pelo vão na parte superior. O ruído é potencializado devido à relação de altura (figura 43) e proximidade dos edifícios (figura 44), gerando incômodos em praticamente toda a extensão do prédio.

Figura 43: Efeito da altura dos prédios para intensidade sonora



Fonte: Adaptado Niemeyer (2020).

Figura 44: Efeito da distância dos prédios para intensidade sonora



Fonte: Adaptado Niemeyer (2020).

A configuração das fachadas dos edifícios nos centros urbanos atuais tende a enfatizar ainda mais esses problemas acústicos, já que existe uma tendência crescente para o aumento da verticalidade ininterrupta das edificações e a utilização de materiais como vidros e outros materiais lisos, como granitos, mármore, revestimentos de alumínio etc.

Materiais lisos e rígidos, como os citados acima, proporcionam uma superfície favorável para que as ondas sonoras sejam refletidas e se propaguem com maior liberdade, sem que

ocorram perdas mais significativas durante percurso, criando diversos campos reverberantes pelas cidades, como mostra a (figura 45).

Figura 45: Vista de prédios espelhados

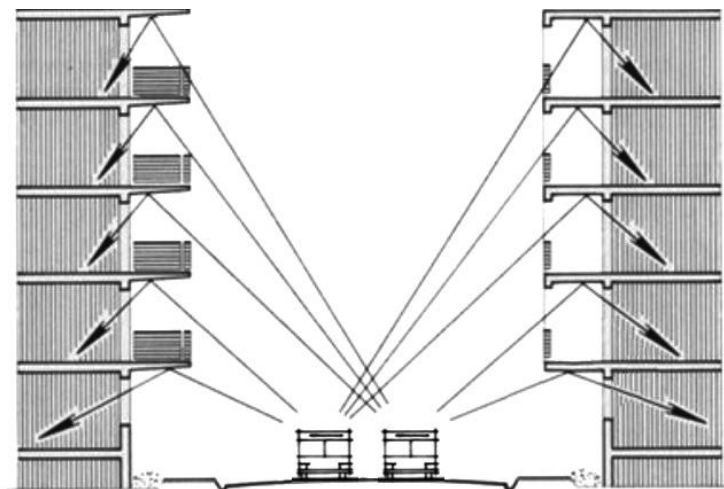


Fonte: *Wallpaper* (2020).

Estudo de fachada: Para amenizar os problemas apontados no item anterior e melhorar o desempenho acústico no interior dos edifícios, é preciso atenção para concepção das fachadas.

A utilização de elementos nas fachadas como sacadas, composições com volumes e aplicação de diferentes materiais são alguns exemplos de intervenções que podem melhorar o conforto acústico dos usuários da edificação, já que servem como barreiras para a propagação das ondas sonoras.

Figura 46: Efeito de varandas na propagação do som



Fonte: Adaptado Reina (2013).

A figura 46, ilustra o comportamento das ondas sonoras quando são utilizadas sacadas, porém é preciso atenção para alguns pontos.

Ao se inserir este elemento na fachada, parte das ondas sonoras agora é refletida em direção a área interna da edificação, o que pode gerar desconfortos para os seus usuários. Baseado nos ensaios apresentados pelo Portal da Acústica (2020a), a configuração e o posicionamento vertical das varandas estão diretamente vinculados a sua eficiência acústica. Alguns dos resultados seriam:

1. A profundidade da sacada tem efeito positivo no desempenho acústico apenas nos pavimentos mais elevados
2. No nível térreo a profundidade da sacada não é relevante quanto ao desempenho acústico,
3. Sacadas com largura maior do que 4 metros não alteram significativamente a performance acústica,
4. Sacadas com guarda-corpos resultam em uma maior redução sonora (até 3 dB) quando comparados com guarda-corpos vazados (este efeito é maior nos pavimentos mais elevados),
5. Uma inclinação de 10° dos guarda-corpos da fachada tem influência positiva na atenuação sonora em todos os pavimentos (aproximadamente 1dB) devido à difração das ondas nas bordas do guarda-corpo,
6. A inclinação do teto da sacada não produz nenhum efeito relevante no desempenho acústico,
7. Fachadas com sacadas escalonadas produzem efeito positivo no desempenho acústico. (PORTAL DA ACÚSTICA, 2020a)

Outro ponto a ser acrescentado, e que também poderia configurar mais uma utilização para as placas acústica de fibra de coco, é a inserção destes materiais absorvedores nos tetos das sacadas e nas faces interna dos guarda-corpos. Isso influenciaria a dispersão das ondas sonoras com incidência direta no forro e as resultantes da difração que ocorre ao colidirem com o guarda-corpo da sacada. As placas acústicas podem ser instaladas em conjunto com painéis vazados, que além de ajudarem acusticamente, conferem valor estético ao conjunto.

Seguindo a tendência crescente do urbanismo voltado para a sustentabilidade, pode-se citar também a adoção das fachadas e telhados verdes em edifícios. Essa solução visa o condicionamento dos centros urbanos, melhorando a qualidade de vida da população. Como cita o Portal da Acústica (2020b), alguns benefícios da sua aplicação seriam:

- Capacidade de absorção sonora
- Conforto térmico no interior da edificação

- Coleta da água da chuva para fins não potáveis
- Melhoria da qualidade do ar
- Diminuição dos efeitos das ilhas de calor
- Redução do consumo de energia
- Melhoria estética subjetiva

Estudos como o realizado no ano de 2019 pela bióloga Milla Araújo de Almeida com a orientação da prof. Renata Colombo da USP, tinha como tema a utilização do bagaço de cana-de-açúcar e fibra de coco para a produção de substrato para telhados verdes (EACH, 2020), que também podem ser utilizados nos nichos que estruturam as paredes verdes nos edifícios (Figura 47). O bagaço de fibra de coco pode ser obtido através do subproduto resultante do processo de extração documentado pela MATTOS, et al, s/d e descrito no capítulo 2.2.4. deste documento.

Estudos como este, corroboram a justificativa inicial do presente trabalho, que seria o reaproveitamento do resíduo do coco para a melhoria da qualidade das cidades em várias vertentes.

Figura 47: Fachada com aplicação de cobertura vegetal



Fonte: Ecotelhado (2020).

Segundo o Portal da Acústica (2020b), o resultado de pesquisas realizadas com paredes verdes apresentou reduções mensuráveis nos níveis totais de ruídos nas edificações, chegando a valores próximos a 3dB. Com destaque para reduções mais significativas das altas

frequências, devido à absorção e refração das folhas e uma redução mais atenuada que pode ser atribuída aos substratos, enquanto os telhados verdes apresentaram uma redução máxima próximo a 10dB.

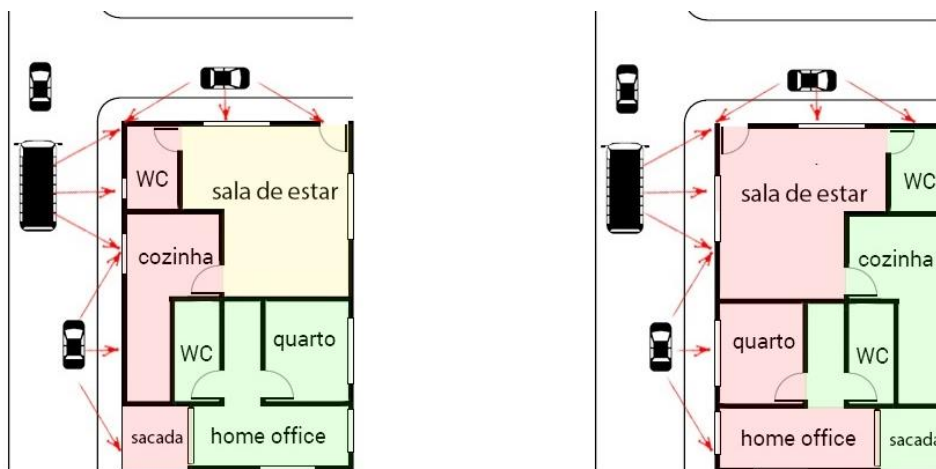
Layout interno e instalações prediais: Após os estudos do entorno e a avaliação das características da implantação e configuração das fachadas, pode-se dar início ao projeto do interior da edificação. Para se obter um desempenho acústico, o desenvolvimento do layout interno deve se adaptar às condicionantes externas e seguir os preceitos acústicos já abordados nos itens anteriores.

Como pode ser observado no dia-a-dia e definem as normas de desempenho vigentes, as atividades desenvolvidas dentro de uma edificação exigem níveis diferenciado com relação à ruídos.

Em ambientes mais íntimos como dormitórios, salas e escritórios, é desejável que estes apresentem níveis mais baixos de ruído (maior isolamento acústico), criando um ambiente mais confortável para o usuário durante o seu período de permanência e para o desenvolvimento de suas atividades. É aconselhável que estes ambientes estejam protegidos, sendo posicionados longe de fachadas ou áreas internas onde o ruído é mais intenso.

Uma estratégia para isso é configurar o layout (figura 48) onde ambientes de serviço como cozinhas, lavanderia e sanitários sejam posicionados de forma a oferecer uma barreira acústica para os ambientes mais sensíveis, já que ambientes de serviço não necessitam de tratamentos acústicos mais robustos.

Figura 48: Efeito do layout para o conforto acústico

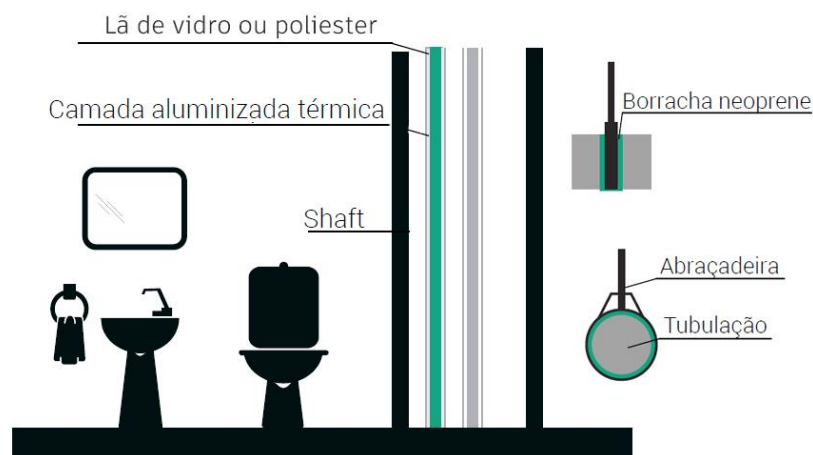


Fonte: Adaptado Serrano, et al. 2016.

Outro ponto importante para que uma edificação tenha um bom desempenho acústico é atenção para o local de passagem das instalações hidrossanitárias, dutos de ar-condicionado e casas de máquinas.

Esses sistemas prediais são capazes de transmitir ruídos tanto na forma aérea como também por impacto, através de vibrações nos pontos de conexão com a estrutura quando ocorre a sua utilização. Para que estes sistemas causem o menor incômodo possível, uma das soluções é o planejamento.

Figura 49: Corte de *shaft* e instalações



Fonte: Adaptado Serrano, et al. 2016.

Tubulações e dutos devem preferencialmente estar confinados em *shafts* (figura 49). Essa prática facilita a manutenção em caso de problemas com os sistemas, além de possibilitar uma melhor organização das instalações, fazendo com que haja espaçamento suficiente entre cada passagem, evitando contatos entre si, além de desacoplá-las o possível da estrutura da edificação, evitando vibrações.

Para minimizar a possibilidade de vibrações, é aconselhável otimizar a quantidade de materiais utilizados nas instalações, simplificando os sistemas. Sistemas mais simples proporcionam uma redução nos impactos dos materiais transportados nas paredes da tubulação quando o sistema é acionado, que podem ser transmitidos para as unidades do edifício e gerar incômodos.

Outra opção é a de recobrir as tubulações ou dutos com materiais isolantes, como ilustra a figura 49. Geralmente os materiais usados para esse procedimento são as lãs minerais em forma de manta com revestimento externo ou espuma elastomérica. O objetivo é proporcionar

um maior isolamento acústico, mas também isolamento térmico, como acontece com as tubulações de ar-condicionado. Nesse quesito, as fibras de coco também poderiam ser utilizadas para tal finalidade, desde que sigam as mesmas especificações e tenha desempenho compatível para a aplicação.

Mesmo tomadas todas providências para se evitar a transmissão de ruídos das instalações prediais, sejam por aéreas ou por impacto, o mais aconselhado é evitar que essas passagens fiquem próximas de cômodos mais sensíveis a ruídos, como escritórios e dormitórios.

Como visto para se obter um bom desempenho acústico é necessário que seja seguida uma série de etapas. A última seria a escolha de materiais e soluções acústicas adequadas para se tratar ruídos indesejáveis dentro de uma edificação. Dentre outros, pode-se citar soluções como:

- Espumas acústicas
- Forros acústicos
- Pisos acústicos
- Difusores acústicos
- Pisos acústicos
- Janelas acústicas
- Mantas acústicas

Cada solução citada apresentar uma grande variedade de configurações que devem ser observadas a fim de se obter o desempenho desejado. Para se escolher a solução mais eficaz, é necessário a realização de medições no local que se deseja tratar e que também sejam realizadas simulações que permitem o comparativo rápido e preciso entre diferentes opções.

Por esse motivo, para que seja possível atestar a eficiência acústica dos painéis de fibra de coco, objeto de estudo deste documento, serão realizadas simulações em *software* que permitirão o seu comparativo com outros materiais da mesma categoria. As diretrizes e resultados dos testes estão descritos nos capítulos que se seguem.

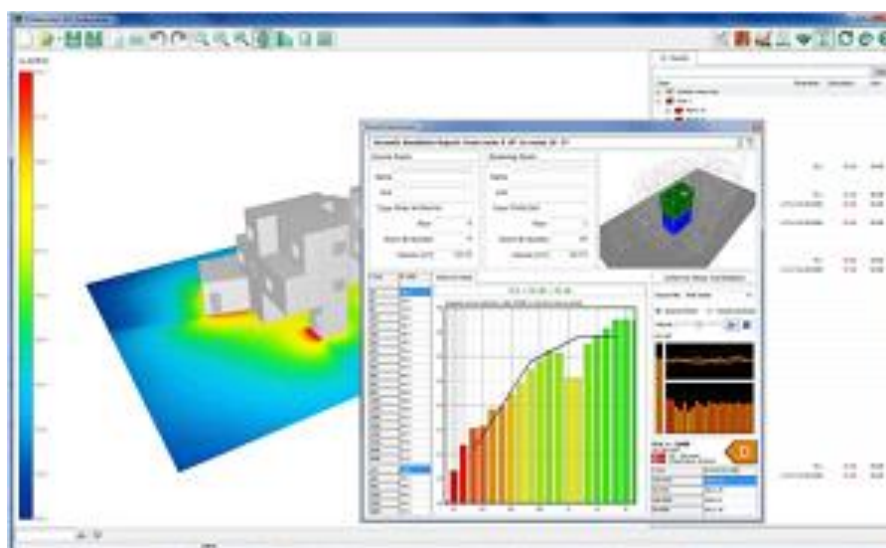
3 PROCESSO EXPERIMENTAL

Para a análise dos painéis acústicos produzidos a partir da reciclagem e reaproveitamento dos resíduos de fibra de coco provenientes de descartes urbanos e da indústria, faz-se necessário a aplicação de metodologia experimental para averiguar a eficiência acústica deste material e se este atende as exigências contidas na norma de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013), que estabelece os novos padrões para a construção civil brasileira, visando a melhoria da qualidade da habitação. Para isso, serão realizadas simulações em parceria com o Prof. Arq. Felipe Paim do escritório AUDIUM – Áudio e Acústica em Salvador – BA, utilizando a ferramenta *SONarchitect*

O *SONarchitect* é um *software* de acústica desenvolvido pela empresa *Sound of Numbers S.L.*, que possibilita o cálculo de transmissão de ruídos aéreos, ruídos de impacto e isolamentos acústicos tanto de cômodos individuais, entre unidades adjacentes, como também edificações completas por meio de modelos 3D dos mesmos. (*Soundofnumbers, 2020*)

Para que o software realize os cálculos acústicos, é necessário que se reproduza a tipologia desejada em seu espaço virtual e que se definam as propriedades físicas específicas de cada uma das superfícies que representam os fechamentos dos ambientes no modelo, de acordo com os materiais especificados pelo projetista, para posteriormente realizar as simulações das fontes de ruído e de sua eventual transmissão. A figura 50 ilustra a interfase básica do programa e a simulação a partir do modelo aplicado.

Figura 50: Representação ilustrativa do programa *SONarchitect*



Fonte: *Soundofnumbers (2020)*.

Os resultados das simulações, realizados por meio do método de auralização, podem ser visualizados em registros detalhados para as bandas de um terço de oitava e também apresentada por gráficos, podendo ser realizado por toda a estrutura.

Todos os cálculos realizados pelo *SONarchitect* estão de acordo com a norma internacional ISO 12354 (*Soundofnumbers*, 2020):

- EN 12354-1 – Isolamento de som aéreo
- EN 12354-2 – Isolamento de som de impacto
- EN 12354-3 – Isolamento de som aéreo de fonte externa
- EN 12354-4 – Níveis de transmissão de sons de ambiente fechado para o exterior
- EN 12354-6 – Tempo de reverberação em cômodos

Por este trabalho possuir como objetivo a produção de um estudo direcionado para a aplicação prática da fibra de coco para a solução de problemas específicos relacionados à acústica, optou-se pela realização das simulações em quatro cenários distintos. Estes cenários tentam representar de forma sintética algumas tipologias de projeto e situações cotidianas que corresponderiam à realidade vivida por grande parte da população brasileira atualmente, em destaque para a faixa composta pela população de classe baixa e classe média.

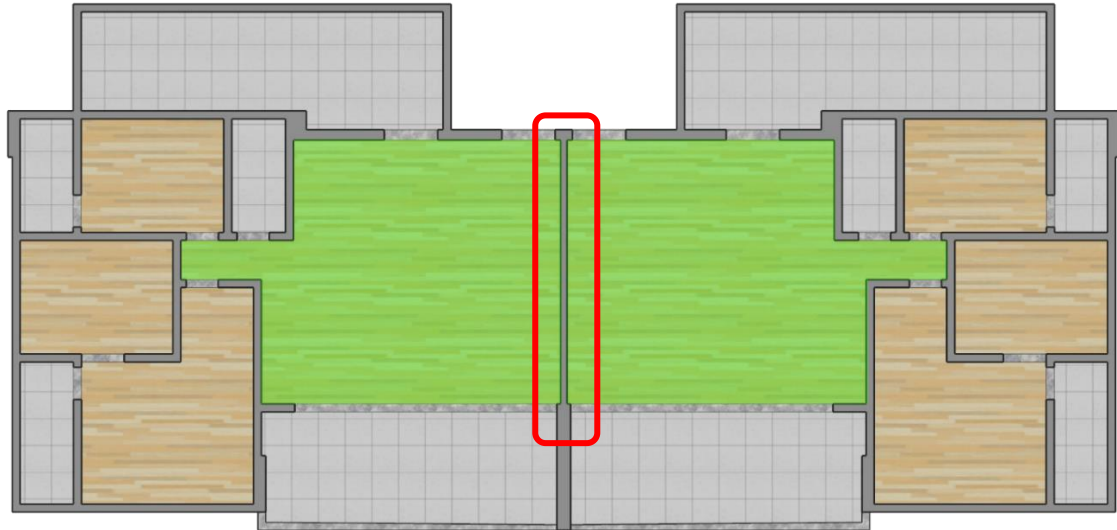
Foram escolhidas as seguintes tipologias para a realização das simulações:

- Habitação classe média – Sala - 28 m²- Som Aéreo
- Habitação popular – Sala - 15 m² – Som Aéreo
- Habitação popular – Quarto - 8 m² – Som Aéreo
- Casa de máquinas - Ambiente de escritório - 360 m² - Som Aéreo

3.1 TIPOLOGIAS

- Habitação classe média – Sala -28 m² - Som Aéreo

Figura 51: Planta baixa de Habitação Classe Média com área estudada



Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

Neste cenário o principal foco será a análise da propagação do som aéreo entre unidades geminadas. A parede que receberá o tratamento com a fibra de coco e os demais concorrentes será a que liga as duas unidades adjacentes, como mostrado na figura 51.

Ao longo da parede em questão, temos uma configuração de layout que nos permitirá fazer a análise do desempenho das fibras em casos onde existem as salas dos apartamentos interligados, que se encaixam no item “Parede entre unidades habitacionais autônomas onde não haja ambiente dormitório”.

Os níveis de ruídos gerados na simulação serão correspondentes aos níveis de ruídos gerados em situações cotidianas de um ambiente residencial, como choro de bebê, som de aparelho televisivo ou musical, e principalmente o de conversação.

Com relação à conversação, é preciso atentar para outro fator, além do simples isolamento, que é o da inteligibilidade, ou seja, a capacidade de se entender o que se fala. Segundo o Guia CBIC, a NBR 15575 (ABNT, 2013) estima o grau de capacidade de se compreender o que se fala no ambiente adjacente, mesmo este com um ruído interno em torno de 35dB a 40dB. A inteligibilidade está diretamente ligada tanto ao conforto acústico de quem ouve, como também ao direito de privacidade de quem fala (Quadro 10).

Quadro 10: Influência da isolamento acústica – $D_{nT,w}$ sobre a inteligibilidade da fala para ruído no ambiente interno em torno de 35dB a 40dB

Inteligibilidade/capacidade de entendimento do que se está falando em voz alta no recinto adjacente	Isolamento sonoro, $D_{nT,w}$dB
Claramente audível: ouve e entende	35
Audível: ouve, entende com dificuldade	40
Audível: não entende	45
Não audível	≥ 50

Fonte: Adaptado CBIC (2013).

Inicialmente será feita a simulação das amostras para obter os valores R_w em cada composição. O índice R_w é o índice de redução sonora ponderada de uma parede ou qualquer sistema construtivo feita em laboratório. A partir destas medições, é possível verificar o desempenho acústico global de algum sistema, permitindo que diferentes materiais sejam testados e comparados de forma mais direta, cujo valores base estão representados no quadro 11 a seguir:

Quadro 11: Índice de redução sonora ponderado, R_w , de componentes construtivos utilizados nas vedações entre ambientes

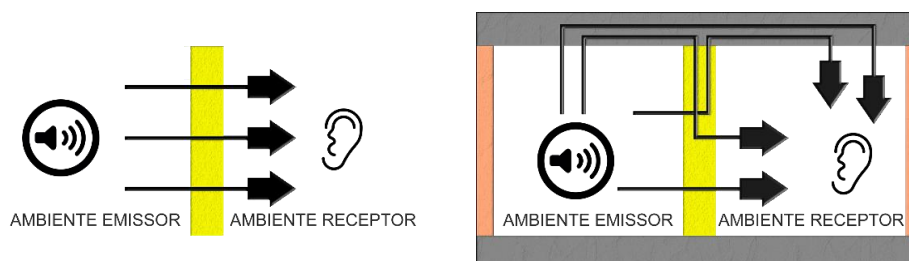
Elemento	R_w^* dB	Nível de desempenho
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório	50 a 54	M
	55 a 59	I
	≥ 60	S
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, tais como corredores e escadaria nos pavimentos	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, tais como corredores e escadaria dos pavimentos	35 a 39	M
	40 a 44	I
	≥ 45	S
Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, tais como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	50 a 54	M
	55 a 59	I
	≥ 60	S
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo hall	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S
(*) valores aproximados / ordem de grandeza para potencial atendimento na situação real de campo		

Fonte: Adaptado CBIC (2013).

Para a análise desta tipologia de habitação de classe média, como também para a de habitação de classe baixa dos experimentos seguintes, será utilizado o quadro 12 que

corresponde ao método de precisão ensaio de campo – Método de engenharia $D_{nt,w}$ - índice de redução sonora ponderado. O índice $D_{nT,w}$ é o índice de redução sonora ponderada de uma parede ou qualquer sistema construtivo feita em campo. Diferentemente do R_w , o $D_{nt,w}$ considera, além das propriedades de redução sonora da composição estudada, também todas as demais transmissões laterais e as condicionantes dos ambientes que a composição interage, como ilustra a figura 52.

Figura 52: Imagem ilustrativa de diferença entre R_w e $D_{nt,w}$



Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

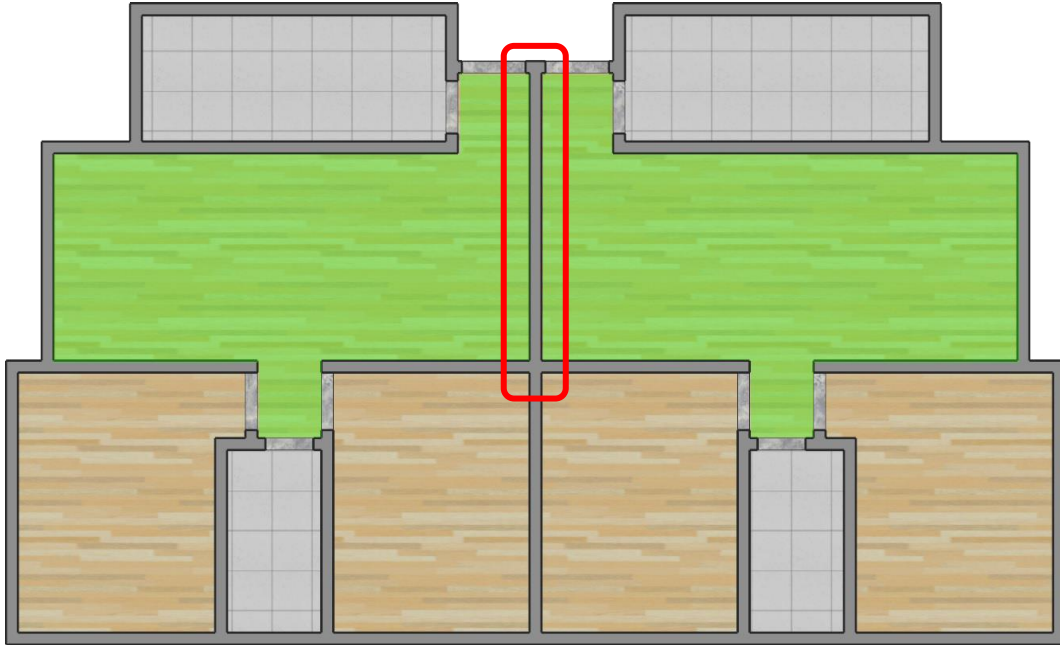
Quadro 12: Índice de redução sonora ponderado, $D_{nt,w}$, de componentes construtivos utilizados nas vedações entre ambientes

Elemento	$D_{nt,w}$ dB	Nível de desempenho
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≥ 50	S
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório	45 a 49	M
	50 a 55	I
	≥ 55	S
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, tais como corredores e escadaria nos pavimentos	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≥ 50	S
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, tais como corredores e escadaria dos pavimentos	30 a 34	M
	35 a 39	I
	≥ 40	S
Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, tais como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo hall	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≥ 50	S

Fonte: Adaptado CBIC (2013).

- Habitação popular – Sala 15 m² – Som Aéreo

Figura 53: Planta baixa de Habitação popular com área estudada



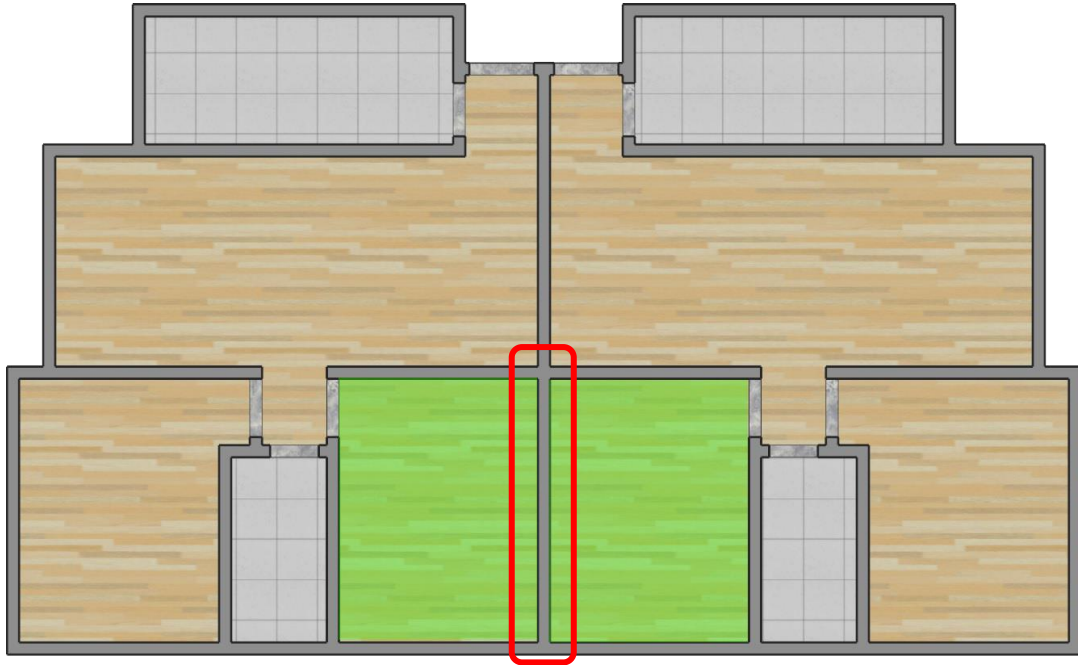
Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

Este cenário mostrado na figura 53, apresentará uma metodologia semelhante à utilizada na habitação de classe média do item anterior para a realização das simulações, sendo as únicas alterações, a redução na área de parede a receber o isolamento acústico e o volume das áreas adjacentes. Ambientes com volumes distintos, tendem a apresentar níveis igualmente distintos quanto aos níveis de isolamento

Para a análise desta tipologia, também será utilizado o quadro 12 que corresponde ao método de precisão ensaio de campo – Método de engenharia $D_{nt,w}$ - índice de redução sonora ponderado:

- Habitação popular – Quarto - 8 m² – Som Aéreo

Figura 54: Planta baixa de Habitação popular com área estudada

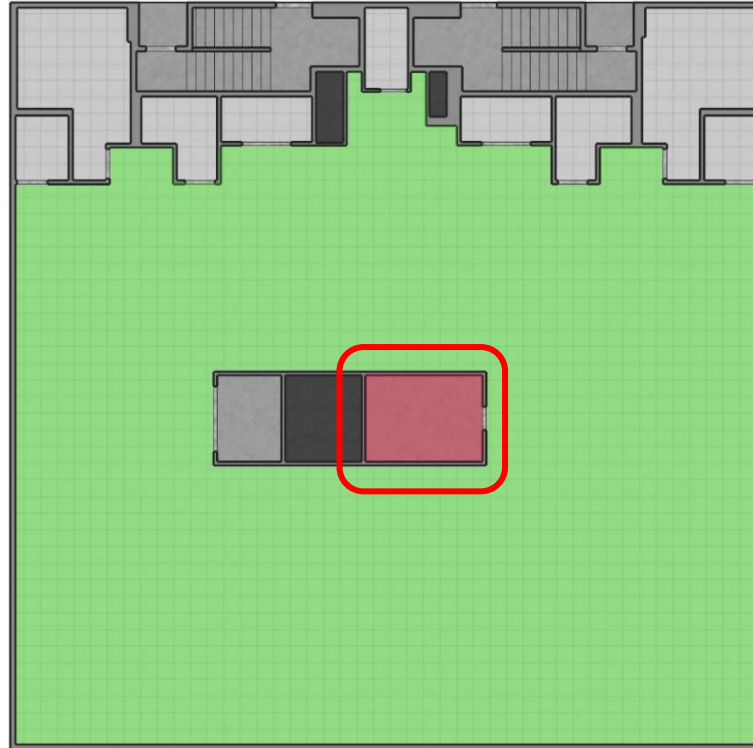


Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

Esta configuração de layout ilustrada pela figura 54, nos permitirá fazer a análise do desempenho das fibras em casos onde existe “parede entre unidades habitacionais autônomas, onde pelo menos um dos ambientes ser dormitório” (mais rigoroso), como é o caso dos dois dormitórios vizinhos. Além do maior nível de exigência com o nível de isolamento acústico, esta situação permitirá atestar a eficiência dos materiais em questão quando utilizado em um ambiente com dimensões bastante reduzidas, que são ambientes mais difíceis de se tratar acusticamente devido ao seu volume menor.

- Casa de máquinas com 373 m² - Ambiente de escritório - Som Aéreo

Figura 55: Planta baixa de Ambiente de Escritório com área estudada



Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

Apesar da tipologia de escritórios não estar contemplada na NBR 15575 (ABNT, 2013), que é o foco para a realização deste trabalho, a aplicação deste cenário servirá para verificar a eficiência das fibras a serem testadas em ambientes com grandes dimensões.

A planta adotada para este estudo pertence ao pavimento tipo do complexo CADF - Centro Administrativo, Taguatinga, DF, cuja autoria do projeto é a Zimbres Arquitetos Associados (Figura 55), e foi escolhida por apresentar um layout particular para o ambiente de escritório, onde no centro de cada pavimento está localizada a casa de máquinas, que acomoda um equipamento de Fan Coil responsável pela climatização do local, por meio de insuflamento pelo piso elevado. No entanto, esta configuração tende a gerar problemas acústicos ao inserir mais uma fonte de ruído elevado e constante em um local que já necessita de tratamentos para se criar um ambiente e que proporcione conforto ao usuário durante as suas atividades.

Para a análise dos resultados deste cenário, será utilizado o quadro 13 que corresponde aos níveis de ruído para conforto acústico estabelecidos pela NBR 10152 (ABNT, 2017).

Quadro 13: Índice de sonoros em ambientes de escritórios – NBR 10152

Escritórios	dB(A)	NC
Salas de reunião	30 - 40	25 - 35
Salas de gerência, Salas de projetos e de administração	35 - 45	30 - 40
Salas de computadores	45 - 65	40 - 60
Salas de mecanografia	50 - 60	45 - 55

Fonte: Adaptado CBIC (2013).

3.2 ESPECIFICAÇÃO DOS MATERIAIS

Para o comparativo, foram escolhidos 4 materiais e suas variações:

- Painel de Fibra de Coco
- Painel de Lã de Vidro
- Painel de Lã de Rocha
- Painel de Lã de PET

Para cada material deste comparativo, foram escolhidas duas amostras que serão descritas abaixo:

Painel de Fibra de Coco: Objeto principal deste estudo, os painéis de fibra de coco das simulações terão como referência os produzidos pela empresa COCOVERDE do Rio de Janeiro (Figura 56 e Quadro 14). O motivo para essa escolha específica foi o fato dessa empresa desenvolver painéis de fibra de coco e comercializá-los com finalidade especificada para tratamento acústico.

Outro ponto em relação à escolha é o fato de que esses painéis já foram previamente testados pelo Instituto Nacional de Tecnologia (INT) do Ministério da Ciência e Tecnologia, o que proporciona um ponto de referência para os dados deste comparativo. (ALIPRANDINI, FIGUEIREDO, 2005)

É preciso ressaltar que alguns dados tiveram de ser aproximados para que a eficiência das placas reproduzidas no software SONarchitect atingissem o mesmo patamar dos resultados obtidos pelo INT. Isso se deu devida a ausência de dados como o *air flow resistivity* (Resistividade ao Fluxo de Ar.), tanto na documentação fornecida pelo INT como também no site da empresa. Porém a aproximação de dados não deve trazer prejuízos para o comparativo,

já que os resultados obtidos em software, foram similares aos registrados pelo INT, e como o próprio site da COCOVERDE deixa claro, esses painéis são produzidos de forma 100% artesanal, o que pode acarretar em variações significativas de peso e medidas, ou seja, pequenas variações estão dentro do nível aceitável e esperado.

Figura 56: Amostra de painel de fibra de coco



Fonte: Cocoverde (2020).

Quadro 14: Características das amostras de painel de fibra de coco

Material	Espessura (mm)	Densidade (Kg/m ³)	$\alpha(500\text{Hz})$	Air Flow Resistivity (kPas/m ²)
Painel Fibra de Coco	20,00	117,00	0,29	70
	40,00	156,00	0,45	150

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

Painel de Lã de Vidro: Representando uma das concorrentes já consolidada no mercado de isolamento termoacústico, os painéis de lã de vidro utilizados são (Figura 57 e Quadro 15):

Figura 57: Amostra de painel de lã de vidro



Fonte: Megatherm (2020).

Quadro 15: Características das amostras de painel de lã de vidro

Material	Espessura (mm)	Densidade (Kg/m ³)	$\alpha(500\text{Hz})$	Air Flow Resistivity (kPas/m ²)
Painel Lã de Vidro	25,00	20,00	0,54	9
	50,00	40,00	0,95	23

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

Painel de Lã de Rocha: Representando outra concorrente já consolidada no mercado de isolamento termoacústico, os painéis de lã de rocha utilizados são (Figura 58 e Quadro 16):

Figura 58: Amostra de painel de lã de rocha



Fonte: Biola (2020).

Quadro 16: Características das amostras de painel de lã de rocha

Material	Espessura (mm)	Densidade (Kg/m ³)	$\alpha(500\text{Hz})$	Air Flow Resistivity (kPas/m ²)
Painel Lã de Rocha	25,00	48	0,50	18
	50,00	48	0,91	18

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

Painel de Lã de PET: Como último material escolhido, são os painéis de lã de PET, que tal como a fibra de coco, surgem como mais uma opção sustentável no mercado de isolamento termoacústico. Os painéis de lã de PET utilizados são (Figura 59 e Quadro 17):

Figura 59: Amostra de painel de lã de PET



Fonte: ISOPLAST, (2020).

Quadro 17: Características das amostras de painel de lã de PET

Material	Espessura (mm)	Densidade (Kg/m ³)	$\alpha(500\text{Hz})$	Air Flow Resistivity (kPas/m ²)
Painel Lã de Rocha	25,00	32	0,54	12
	50,00	26	0,83	5

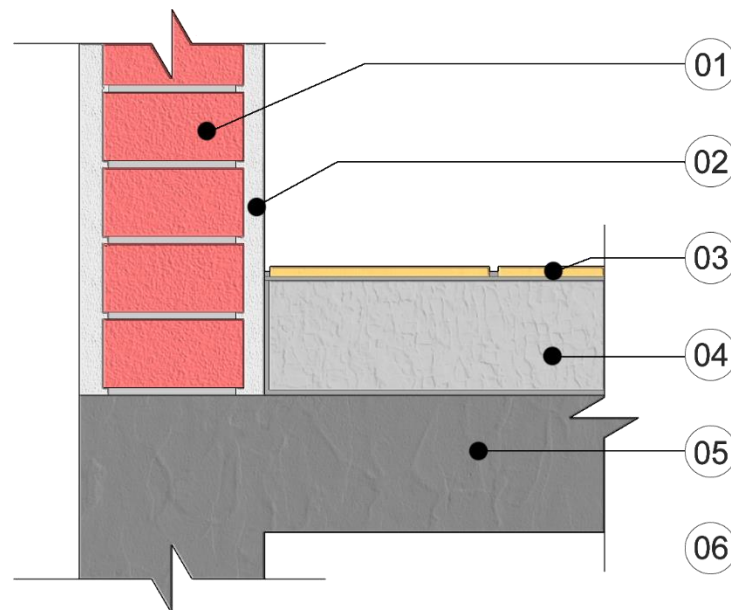
Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

3.3 DADOS CONSTRUTIVOS DOS CENÁRIOS E DEFINIÇÃO DE COMPOSIÇÕES

Para que os resultados obtidos a partir das simulações fossem claros e objetivos para fins comparativos entre os diferentes materiais, foi necessária a eliminação de possíveis variáveis nos modelos. Por isso, todos os modelos foram padronizados considerando os seguintes dados construtivos (figura 60):

- 01) Paredes em Bloco de Concreto 140,00mm e 1100,00Kg/m³
- 02) Revestimento em Argamassa 10,00mm e 1600,00Kg/m³
- 03) Piso em Cerâmica 10,00mm e 2400,00Kg/m³
- 04) Contrapiso 30,00mm e 1900,00Kg/m³
- 05) Laje maciça 120,00mm e 2500,00Kg/m³
- 06) Pé-direito de 2,70m

Figura 60: Corte esquemático ilustrativo para padrões construtivos para simulações

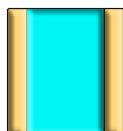


Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

Já com relação às paredes de geminação entre as unidades habitacionais de classe baixa e classe média, foram adotadas as seguintes composições:

- $(1 + 48 + 1)$ = Chapa Simples de Gesso Acartonado 12,50mm e $650,00\text{Kg/m}^3$ + Câmara de 48,00mm com Pannel de Lã + Chapa Simples de Gesso Acartonado 12,50mm e $650,00\text{Kg/m}^3$ (Figura 61).

Figura 61: Secção de composição $(1 + 48 + 1)$



Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

- $(1 + 70 + 1)$ = Chapa Simples de Gesso Acartonado 12,50mm e $650,00\text{Kg/m}^3$ + Câmara de 70,00mm com Pannel de Lã + Chapa Simples de Gesso Acartonado 12,50mm e $650,00\text{Kg/m}^3$ (Figura 62).

Figura 62: Secção de composição $(1 + 70 + 1)$



Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

- $(2 + 48 + 2)$ = Chapa Dupla de Gesso Acartonado 25,00mm e $650,00\text{Kg/m}^3$ + Câmara de 48,00mm com Pannel de Lã + Chapa Dupla de Gesso Acartonado 25,00mm e $650,00\text{Kg/m}^3$ (Figura 63).

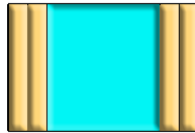
Figura 63: Secção de composição $(2 + 48 + 2)$



Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

- $(2 + 70 + 2) =$ Chapa Dupla de Gesso Acartonado 25,00mm e $650,00\text{Kg/m}^3$ + Câmara de 70,00mm com Pannel de Lã + Chapa Dupla de Gesso Acartonado 25,00mm e $650,00\text{Kg/m}^3$ (Figura 64).

Figura 64: Secção de composição $(2 + 70 + 2)$



Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

No caso dos painéis de fibra de coco, tanto a amostra de 20mm como a de 40mm, serão submetidas a testes em todas as composições acima, para que seja possível coletar um número maior de dados e verificar o seu comportamento tanto em estruturas mais simples como também nas mais robustas.

Os demais materiais serão testados apenas na composição mais robusta D - chapa dupla de gesso acartonado em ambos os lados e câmara de 70mm -, já que se supõe que esta composição seja a opção mais favorável para que as amostras atinjam o seu nível mais alto em questão de desempenho acústico.

Nas simulações do escritório, as condições dos testes serão similares as descritas acima, mudando apenas a composição da estrutura, que serão:

- $(1 + 48 + P) =$ Chapa Simples de Gesso Acartonado 12,50mm e $650,00\text{Kg/m}^3$ + Câmara de 48,00mm com Pannel de Lã + Bloco de Concreto de 140,00mm (Figura 65).

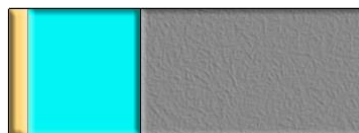
Figura 65: Secção de composição $(1 + 48 + P)$



Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

- $(1 + 70 + P)$ = Chapa Simples de Gesso Acartonado 12,50mm e $650,00\text{Kg/m}^3$ + Câmara de 70,00mm com Pannel de Lã + Bloco de Concreto de 140,00mm (Figura 66).

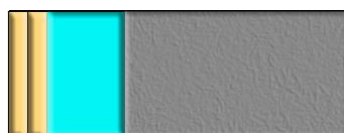
Figura 66: Secção de composição $(1 + 70 + P)$



Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

- $(2 + 48 + P)$ = Chapa Dupla de Gesso Acartonado 25,00mm e $650,00\text{Kg/m}^3$ + Câmara de 48,00mm com Pannel de Lã + Bloco de Concreto de 140,00mm (Figura 67).

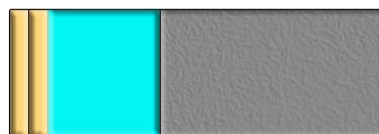
Figura 67: Secção de composição $(2 + 48 + P)$



Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

- $(2 + 70 + P)$ = Chapa Dupla de Gesso Acartonado 25,00mm e $650,00\text{Kg/m}^3$ + Câmara de 70,00mm com Pannel de Lã + Bloco de Concreto de 140,00mm (Figura 68).

Figura 68: Secção de composição $(2 + 70 + P)$



Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

Neste caso, com exceção dos painéis de fibra de coco, os demais materiais serão testados apenas na composição D - Chapa Dupla de Gesso Acartonado 25,00mm e $650,00\text{Kg/m}^3$ + Câmara de 70,00mm com Pannel de Lã + Bloco de Concreto de 140,00mm -, se supondo que esta também seja a composição mais favorável.

Os cenários escolhidos visam criar ambientes onde será possível realizar a análise da fibra de coco e de seus concorrentes, em situações onde atuam em conjunto com outros elementos construtivos, para proporcionar o isolamento acústico em edificações.

A partir dos dados quantitativos obtidos por meio das simulações realizadas pelo software *SONarchitect*, será então inicialmente feito um levantamento para averiguar se todos os materiais testados e todas as suas diferentes configurações atendem aos padrões mínimos (M) de desempenho estabelecidos pela NBR 15575 (ABNT, 2013) para cada situação.

Caso alguma amostra não atenda ao mínimo (M) exigido, está receberá a classificação de reprovada (R) e as demais amostras serão classificadas conforme o seu nível de desempenho, que são definidos por padrões como mínimo (M), intermediário (I) e superior (S), conforme o quadro 12.

Após os estudos, as amostras então serão submetidas a um processo comparativo que englobará pontos específicos de cada material, desde a forma de obtenção da matéria prima, modos e custo de produção, até o desempenho acústico dos produtos finais. Este comparativo mais abrangente é necessário para responder à questão levantada pelo trabalho sobre a viável utilização de fibra de coco como solução acústica.

4 SIMULAÇÕES

4.1 SIMULAÇÃO – TESTE RW DAS AMOSTRAS

Os primeiros testes realizados foram para verificar os índices R_w das amostras nas composições previamente definidas. Os testes servirão para obter os valores absolutos de redução sonora em cada configuração levando-se em conta apenas a superfície tratada acusticamente por cada amostra. Gráficos e dados mais detalhados de cada amostra, obtidos a partir das simulações, estão presentes nos Anexos (Figura 74 a 108).

Além do comparativo entre as amostras dos diferentes materiais, também foi realizada a simulação de Controle para cada composição, onde o núcleo (câmara interna) se encontra vazio, sendo este denominado “AR” e representado pelas amostras E1 a E8. Assim, foi possível analisar de forma mais direta os ganhos em desempenho acústico quando utilizada cada amostra.

O valor obtido pelo comparativo das demais amostras e o controle está representado pelo item Δ Controle (variação em relação ao controle) de cada quadro (Quadro 18 a 23). As

simulações e os resultados detalhados podem ser visualizados nos anexos através de gráficos em bandas de oitavas.

Controle / Ar:

Quadro 18: Índices R_w para as amostras de controle

Amostra	Composição	Núcleo	R_w
E1	1 + 48 + 1	AR	34dB
E2	1 + 70 + 1	AR	35dB
E3	2 + 48 + 2	AR	35dB
E4	2 + 70 + 2	AR	36dB
E5	1 + 48 + P	AR	50dB
E6	1 + 70 + P	AR	51dB
E7	2 + 48 + P	AR	51dB
E8	2 + 70 + P	AR	52dB

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

As amostras E1 a E4 (Quadro 18), onde as composições são estruturadas apenas por chapas de *drywall*, a variação da configuração mais simples (1 + 48 + 1) e a mais robusta (2 + 70 + 2) foi de apenas 2dB, sendo a E4 a que obteve o melhor desempenho neste tipo de configuração, como já esperado. Porém o valor obtido de 36dB é relativamente baixo se comparado aos padrões da NBR 15575 (ABNT, 2013).

No caso das amostras E5 a E8, onde a composição é estruturada por uma face de *drywall* e a face oposta em bloco de concreto de 140mm, a variação foi similar às amostras compostas apenas por *drywall*, ou seja, apenas 2dB, onde a configuração mais robusta teve o melhor desempenho. Porém é possível ver um ganho significativo entre a amostra E4 e E8 de 16dB, mostrando a grande influência que a parede de bloco de concreto tem nos resultados de desempenho acústico neste tipo de configuração.

Os resultados obtidos pelas amostras E1 a E8 (Quadro 18) agora servirão de base comparativa para as demais soluções, iniciando pelos painéis de fibra de coco, principal objeto de estudo deste documento.

Painéis de Fibra de Coco:

Quadro 19: Índices R_w para as amostras de painéis de fibra de coco

Amostra	Composição	Núcleo	R_w	Δ Controle
A1	1 + 48 + 1	Coco 20mm	35dB	+1dB
A2	1 + 48 + 1	Coco 40mm	38dB	+4dB
A3	1 + 70 + 1	Coco 20mm	36dB	+1dB
A4	1 + 70 + 1	Coco 40mm	39dB	+4dB
A5	2 + 48 + 2	Coco 20mm	40dB	+5dB
A6	2 + 48 + 2	Coco 40mm	46dB	+11dB
A7	2 + 70 + 2	Coco 20mm	41dB	+5dB
A8	2 + 70 + 2	Coco 40mm	47dB	+11dB

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

Quadro 20: Índices R_w para as amostras de painéis de fibra de coco

Amostra	Composição	Núcleo	R_w	Δ Controle
A9	1 + 48 + P	Coco 20mm	50dB	0dB
A10	1 + 48 + P	Coco 40mm	56dB	+6dB
A11	1 + 70 + P	Coco 20mm	52dB	+1dB
A12	1 + 70 + P	Coco 40mm	58dB	+7dB
A13	2 + 48 + P	Coco 20mm	53dB	+2dB
A14	2 + 48 + P	Coco 40mm	62dB	+11dB
A15	2 + 70 + P	Coco 20mm	54dB	+2dB
A16	2 + 70 + P	Coco 40mm	63dB	+11dB

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

Para as amostras A1 a A8 do quadro 19, onde a composição é de ambas faces em *drywall*, é possível ver uma grande variação entre os valores obtidos, chegando a 12dB entre a composição mais simples e a mais robusta.

Os painéis de fibra de coco de 20mm das amostras A1 e A3 obtiveram ganhos ínfimos de apenas 1dB nas composições com chapas simples de *drywall*, enquanto as amostras A2 e A4, com os painéis de 40mm, obtiveram ganhos mais consideráveis de Δ Controle +4dB na mesma composição. Porém nas configurações com chapas duplas de *drywall*, os painéis de 20mm (A5 e A7) já passam a apresentar um melhor desempenho de Δ Controle +5dB, porém ainda baixos se comparados às placas de 40mm, que obtiveram Δ Controle +11dB. O que leva a concluir que o painel de 20mm apresenta baixo desempenho em redução sonora, mesmo em situações mais favoráveis, como é o caso da composição (2 + 70 + 2), se comparado com à alternativa de

40mm, e sendo totalmente desaconselhável a sua utilização quando a composição for de chapa simples de *drywall*, independente da dimensão da câmara interna.

Nas composições onde uma das faces é composta por blocos de concreto (A9 a A16 do Quadro 20), a situação é bastante similar à visto no quadro 19, mas torna ainda mais evidente a ineficiência dos painéis de 20mm nesta composição com um ganho de apenas $\Delta_{\text{Controle}} +2\text{dB}$ e no pior caso, A9, o painel de 20mm não obteve qualquer ganho, sendo praticamente irrelevante no sistema. Já os painéis de 40mm obtiveram valores mais expressivos de até $\Delta_{\text{Controle}} +11\text{dB}$ na amostra A14 e A16, conferindo um ganho considerável de desempenho para o sistema, assim como as amostras A10 e A12, que apesar da composição possuir uma chapa a menos de *drywall*, também apresentaram bons desempenhos.

Lã de vidro:

Quadro 21: Índices R_w para as amostras de painéis de lã de vidro

Amostra	Composição	Núcleo	R_w	Δ_{Controle}
B1	2 + 70 + 2	Vidro 25mm	40dB	+4dB
B2	2 + 70 + 2	Vidro 50mm	46dB	+10dB
B3	2 + 70 + P	Vidro 25mm	54dB	+2dB
B4	2 + 70 + P	Vidro 50mm	60dB	+8dB

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

Iniciando as simulações com as concorrentes dos painéis de fibra de coco, os painéis de lã de vidro (Quadro 21).

Como definido durante a metodologia, as duas variantes de cada concorrente seriam testadas apenas na situação mais favorável (2 + 70 + 2) e (2 + 70 + P) para fins comparativos, já que o foco principal deste documento é fazer o estudo de viabilidade da fibra de coco para tratamento acústico. Os painéis concorrentes já são produtos consolidados no mercado, com eficiência já atestada, o que torna irrelevante e redundante a realização de simulações mais minuciosas, como ocorreu com os painéis de fibra de coco. Por esse motivo, as amostras tanto dos painéis de lã de vidro, como as demais, devem ser comparadas apenas com as amostras E4 e E8 do Controle / AR e A7 e A8 para as composições com apenas *drywall* e A15 e A16 para composições com parede de bloco de concreto dos painéis de fibra de coco.

Com relação aos resultados obtidos, tanto a B1 como a B2 tiveram um desempenho marginalmente inferior (-1dB) se comparado à A7 e A8, respectivas concorrentes em questão de espessura. Já na composição com blocos de concreto, a B3 e A15 tiveram desempenho idêntico, enquanto entre a B4 e A16, a A16 apresentou um ganho relevante de +3dB em redução sonora. Concluindo assim que, os painéis de fibra de coco são iguais ou superiores se comparados aos de lã de vidro em questão de desempenho nestas composições.

Lã de Rocha:

Quadro 22: Índices R_w para as amostras de painéis de lã de rocha

Amostra	Composição	Núcleo	R_w	Δ Controle
C1	2 + 70 + 2	Rocha 25mm	41dB	+5dB
C2	2 + 70 + 2	Rocha 50mm	45dB	+9dB
C3	2 + 70 + P	Rocha 25mm	54dB	+2dB
C4	2 + 70 + P	Rocha 50mm	60dB	+8dB

Fonte: Elaborado pelo Autor, (2020).

Com os painéis de lã de rocha (Quadro 22), as conclusões são similares às da lã de vidro. A amostra C1 teve o mesmo desempenho da A7 como 41dB, enquanto a A8 teve um ganho de +2dB se comparado com a C2.

Na composição com blocos, o desempenho de C3 e A15 foram iguais enquanto a A16 teve um ganho de +3dB, da mesma forma que ocorreu no caso dos painéis de lã de vidro, levando a concluir que os painéis de fibra de coco são iguais ou superiores se comparados aos de lã de rocha em questão de desempenho nestas composições.

Lã de PET:

Quadro 23: Índices R_w para as amostras de painéis de lã de PET

Amostra	Composição	Núcleo	R_w	Δ Controle
D1	2 + 70 + 2	PET 25mm	40dB	+4dB
D2	2 + 70 + 2	PET 50mm	42dB	+5dB
D3	2 + 70 + P	PET 25mm	54dB	+2dB
D4	2 + 70 + P	PET 50mm	60dB	+8dB

Fonte: Elaborado pelo Autor, (2020).

Os painéis de lã de PET (Quadro 23) apresentaram resultados similares às demais concorrentes. Sendo D1 igual a B1 da lã de vidro, porém a D2 foi o painel que apresentou o pior resultado na composição mais favorável, ficando 5dB abaixo, se comparado à A8.

Já na composição com blocos, o desempenho foi igual ao dos painéis de lã de rocha do tópico anterior, onde D3 teve desempenho igual a A15 e A16 apresentou ganho de +3dB se comparado com D4, permitindo concluir que os painéis de fibra de coco são iguais ou superiores se comparados aos de lã de PET na espessura de 20-25mm e consideravelmente superiores na espessura de 40-50mm em questão de desempenho nestas composições.

4.2 SIMULAÇÃO – HABITAÇÃO CLASSE MÉDIA – SALA

Após a realização das simulações para definir o índice R_w das amostras, foram realizadas simulações para encontrar os índices D_nT_w das amostras quando aplicados em layouts ilustrativos, mas que representariam situações do cotidiano da população. As definições e parâmetros serão semelhantes aos adotados durante as simulações do R_w , sendo acrescentado apenas o campo Rank nos quadros, que consiste na classificação do desempenho de cada amostra baseado no quadro 12, com os valores determinados pela NBR 15575 (ABNT, 2013).

No campo Rank cada amostra será classificada como mínimo (M), intermediário (I) e superior (S), de acordo com o desempenho obtido. Caso a amostra não atinja o valor (M) estabelecido pela NBR 15575 (ABNT, 2013), esta receberá a classificação de reprovada (R) definida pelo autor. Além da classificação nominal, no mesmo campo, também estará presente o valor indicativo do desempenho da amostra de acordo com o nível em que se classifica dentro de sua categoria, com o objetivo de facilitar a visualização e o comparativo dos resultados. Esses valores serão positivos quando a amostra atingir o mínimo de algum nível de desempenho (Seja (M), (I) ou (S)), já que, por exemplo, nível (M) para parede divisórias onde não haja dormitório é definido como sendo de 40dB a 44dB, caso uma amostra obtenha 42dB como resultado, essa será classificada como “M (+2dB)” por ter atingido 2dB a mais que o valor mínimo exigido da categoria, podendo chegar até (+4dB) onde acima desse valor, a amostra será classificada um nível acima em nível de desempenho, como define o quadro 12. Caso a amostra não atinja o valor mínimo do nível (M), ou seja, abaixo de 40dB, esse será classificado como (R) seguido de valor negativo que representa a diferença até o valor mínimo da categoria (M). Dentro do mesmo exemplo anterior, caso uma amostra atinja o valor de 38dB, essa será classificada como “R (-2dB)” por ter ficado abaixo 2dB do nível (M).

Para a primeira simulação, foi escolhida a parede de divisória localizada entre salas de duas unidades habitacionais de classe média independentes.

Cada sala possui 28m², totalizando 56m² e 80m³ de volume total e a parede divisória possui 4,90m lineares (Figura 69). Demais definições construtivas seguiram os parâmetros previamente estabelecidos no capítulo da Metodologia, se aplicando a esta, como também as demais simulações.

Figura 69: Layout habitação classe média (a) visão esquemática do ambiente no *SONarchitect* (b)



Fonte: (a) Elaborado pelo Autor (2020), (b) Paim (2020).

Como nas simulações do índice R_w , também foram realizadas simulações de controle para fins comparativos de desempenho global com a adição de cada amostra nas composições.

Os resultados das amostras estão descritos a seguir. Gráficos e dados mais detalhados de cada amostra nesta tipologia, estão presentes nos Anexos (Figura 109 a 123).

Controle / Ar:

Quadro 24: Índices D_nT_w para as amostras de controle

Amostra	Composição	Núcleo	Dntw	Δ Controle	Rank
E1	1 + 48 + 1	AR	36dB	-	R (-4dB)
E2	1 + 70 + 1	AR	37dB	-	R (-3dB)
E3	2 + 48 + 2	AR	37dB	-	R (-3dB)
E4	2 + 70 + 2	AR	38dB	-	R (-2dB)

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

As amostras E1 a E4 (Quadro 24), que representam as composições em *drywall* com câmaras vazias, não atingiram os valores mínimos exigidos para este tipo de tipologia, que é de

40dB segundo a norma de desempenho. Os valores, no entanto, foram próximos, como é o caso da amostra E4 (que representa a composição mais favorável) que atingiu 38dB, ficando apenas -2dB abaixo do mínimo. O aumento das câmaras internas, e conseguinte volume de ar entre as faces de *drywall*, contribuiu com um aumento de 1dB em redução sonora nas amostras E2 e E4.

Painéis de Fibra de Coco:

Quadro 25: Índices DnTw para as amostras de painéis de fibra de coco

Amostra	Composição	Núcleo	Dntw	Δ Controle	Rank
A1	1 + 48 + 1	Coco 20mm	37dB	+1dB	R (-3dB)
A2	1 + 48 + 1	Coco 40mm	39dB	+3dB	R (-1dB)
A3	1 + 70 + 1	Coco 20mm	37dB	0dB	R (-3dB)
A4	1 + 70 + 1	Coco 40mm	39dB	+2dB	R (-1dB)
A5	2 + 48 + 2	Coco 20mm	40dB	+3dB	M (0dB)
A6	2 + 48 + 2	Coco 40mm	42dB	+5dB	M (+2dB)
A7	2 + 70 + 2	Coco 20mm	41dB	+3dB	M (+1dB)
A8	2 + 70 + 2	Coco 40mm	44dB	+6dB	M (+4dB)

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

Quando analisadas as amostras de painéis de fibra de coco nesta tipologia (Quadro 25), ficou clara a necessidade de se aplicar chapas duplas de *drywall* para que os painéis pudessem atingir pelo menos a categoria (M).

As amostras A1 a A4, que adotam composições com chapas simples de *drywall* em cada face, foram reprovadas. Vale ressaltar que os painéis de 40mm ficaram muito próximos do mínimo da categoria (M) que é 40dB (apenas 1dB abaixo). O tamanho das câmaras não teve impacto nestas amostras.

Com relação às amostras A5 a A8, o acréscimo de uma chapa de *drywall* em cada face permitiu que as amostras atingissem o valor mínimo da categoria (M), com destaque para a amostra A8 com 44dB, ficando apenas 1dB abaixo da próxima categoria (I). O aumento das câmaras internas impactou os resultados nestas composições, sendo +1dB para os painéis de 20mm e +2dB para os de 40mm.

Os resultados são bastante otimistas, já que as amostras atingiram resultados satisfatórios em sistemas, que apesar de mais robustos, são amplamente utilizados em residências.

Lã de vidro:

Quadro 26: Índices DnTw para as amostras de painéis de lã de vidro

Amostra	Composição	Núcleo	Dntw	Δ Controle	Rank
B1	2 + 70 + 2	Vidro 25mm	40dB	+2dB	M (0dB)
B2	2 + 70 + 2	Vidro 50mm	42dB	+4dB	M (+2dB)

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

Os resultados das amostras B1 e B2 dos painéis de lã de vidro (Quadro 26) atendem aos valores mínimos estabelecidos pela norma de desempenho. Porém os resultados das B1 e B2 foram nas composições mais favoráveis, com câmaras de 70mm, e foram capazes apenas de se equiparar com as amostras A5 e A6 de fibra de coco, na composição mais favorável, mas com câmaras menores de 48mm. Já as A7 e A8, com câmaras de mesma dimensão das B1 e B2 tiveram desempenho superior, +1dB e +2dB respectivamente. Levando a concluir que os painéis de fibra de coco apresentam desempenho superior se comparados aos de lã de vidro nestas composições.

Lã de Rocha:

Quadro 27: Índices DnTw para as amostras de painéis de lã de rocha

Amostra	Composição	Núcleo	Dntw	Δ Controle	Rank
C1	2 + 70 + 2	Rocha 25mm	41dB	+3dB	M (+1dB)
C2	2 + 70 + 2	Rocha 50mm	42dB	+4dB	M (+2dB)

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

O desempenho das amostras de painéis de lã de rocha (Quadro 27) é similar aos dos painéis de lã de vidro, com um pequeno aumento de 1dB na amostra C1 se equiparado a B1, se equiparando a amostra A7 de 20mm de fibra de coco. Porém, como no caso da lã de vidro, não foi capaz de apresentar o mesmo desempenho da A8, que foi o melhor desempenho registrado nas simulações para os índices DnTw. Levando a concluir que os painéis de fibra de coco apresentam desempenho igual ou superior se comparados aos de lã de rocha nestas composições.

Lã de PET:

Quadro 28: Índices DnTw para as amostras de painéis de lã de PET

Amostra	Composição	Núcleo	Dntw	Δ Controle	Rank
D1	2 + 70 + 2	Vidro 25mm	41dB	+3dB	M (+1dB)
D2	2 + 70 + 2	Vidro 50mm	42dB	+4dB	M (+2dB)

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

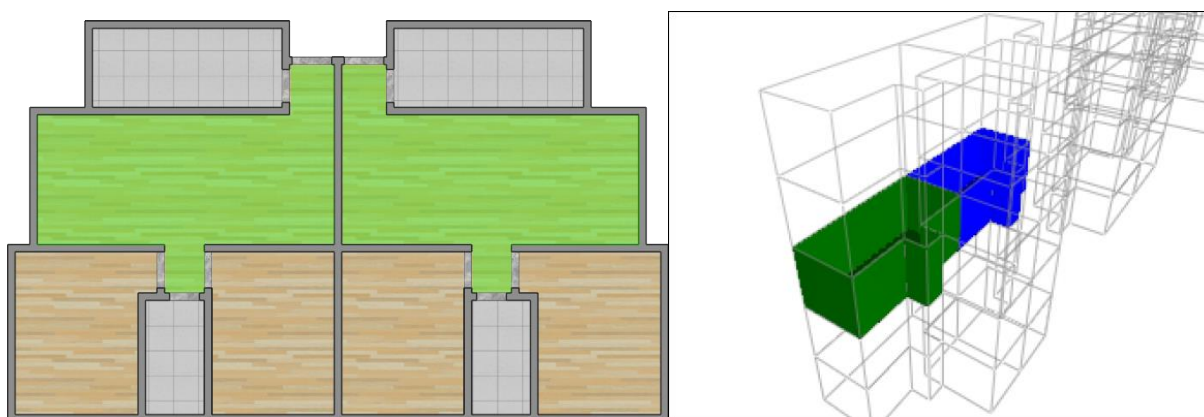
Com relação às amostras D1 e D2 de painéis de lã de PET apresentadas no quadro 28, o seu desempenho foi igual ao dos painéis de lã de rocha C1 e C2, então a conclusão será a mesma já apresentada.

4.3 SIMULAÇÃO - HABITAÇÃO POPULAR – SALA

Para a segunda simulação, foi escolhida a parede de divisória localizada entre salas de duas unidades habitacionais de classe baixa independentes.

Cada sala possui 17m², totalizando 34m² e 47m³ de volume total e a parede divisória possui 2,60m lineares (Figura 70). Demais definições construtivas seguiram os parâmetros previamente estabelecidos no capítulo da Metodologia, se aplicando a esta, como também as demais simulações.

Figura 70: Layout habitação classe baixa (a) visão esquemática do ambiente no SONarchitect (b)



Fonte: (a) Elaborado pelo Autor (2020), (b) Paim (2020).

Os resultados das amostras estão descritos a seguir. Gráficos e dados mais detalhados de cada amostra nesta tipologia, estão presentes nos Anexos (Figura 124 a 139).

Controle / Ar:

Quadro 29: Índices DnTw para as amostras de controle

Amostra	Composição	Núcleo	Dntw	Δ Controle	Rank
E1	1 + 48 + 1	AR	36dB	-	R (-4dB)
E2	1 + 70 + 1	AR	37dB	-	R (-3dB)
E3	2 + 48 + 2	AR	37dB	-	R (-3dB)
E4	2 + 70 + 2	AR	38dB	-	R (-2dB)

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

Como ocorreu na primeira simulação, o desempenho das composições de controle também ficou abaixo da categoria (M), como já era esperado (Quadro 29). A diminuição da área e da superfície de parede estudada não tiveram efeito nos resultados, já o tamanho das câmaras internas e o acréscimo de chapa de *drywall* alteraram marginalmente os resultados.

Painéis de Fibra de Coco:

Quadro 30: Índices DnTw para as amostras de painéis de fibra de coco

Amostra	Composição	Núcleo	Dntw	Δ Controle	Rank
A1	1 + 48 + 1	Coco 20mm	37dB	+1dB	R (-3dB)
A2	1 + 48 + 1	Coco 40mm	39dB	+3dB	R (-1dB)
A3	1 + 70 + 1	Coco 20mm	37dB	0dB	R (-3dB)
A4	1 + 70 + 1	Coco 40mm	39dB	+2dB	R (-1dB)
A5	2 + 48 + 2	Coco 20mm	40dB	+3dB	M (0dB)
A6	2 + 48 + 2	Coco 40mm	42dB	+5dB	M (+2dB)
A7	2 + 70 + 2	Coco 20mm	40dB	+2dB	M (0dB)
A8	2 + 70 + 2	Coco 40mm	43dB	+5dB	M (+3dB)

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

Da mesma forma que os testes da primeira simulação, as amostras A1 a A4, cuja composição é de chapas simples, não atingiram a categoria (M), apresentando resultado iguais (Quadro 30).

As amostras A5 a A8 atingiram o mínimo exigido para a categoria (M), onde A5 e A6 tiveram resultados iguais as amostras A5 e A6 da simulação anterior da sala de classe média, porém as amostras A7 e A8 tiveram uma ligeira queda de desempenho (-1dB), fazendo com que as amostras A5 e A7 de 20mm se posicionem no limite do desempenho mínimo, enquanto as A6 e A8 apresentam uma margem mais confortável.

A variação, mesmo que baixa, se deu provavelmente devido às dimensões reduzidas dos ambientes, que por possuírem um menor volume, apresentam maiores dificuldades para serem tratadas acusticamente.

Lã de vidro:

Quadro 31: Índices DnTw para as amostras de painéis de lã de vidro

Amostra	Composição	Núcleo	Dntw	Δ Controle	Rank
B1	2 + 70 + 2	Vidro 25mm	40dB	+2dB	M (0dB)
B2	2 + 70 + 2	Vidro 50mm	42dB	+4dB	M (+2dB)

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

As amostras B1 e B2 (Quadro 31) obtiveram os mesmos resultados das amostras B1 e B2 da simulação de sala classe média, dessa forma, as observações e conclusões são praticamente as mesmas. Apesar que na simulação atual, a amostra B2 supera a amostra A6 e se aproxima da amostra A8 (diferença de 1dB), devido à perda de desempenho por parte da amostra A8.

Lã de Rocha:

Quadro 32: Índices DnTw para as amostras de painéis de lã de rocha

Amostra	Composição	Núcleo	Dntw	Δ Controle	Rank
C1	2 + 70 + 2	Rocha 25mm	40dB	+2dB	M (0dB)
C2	2 + 70 + 2	Rocha 50mm	41dB	+3dB	M (+1dB)

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

Diferentemente das amostras A1 e B2 da lã de vidro, as amostras C1 e C2 da lã de rocha (Quadro 32) apresentaram um desempenho menor (-1dB) em ambas as amostras se comparado à simulação de sala classe média, fazendo com que a diferença entre estas amostras e as amostras de fibra de coco aumente. A C1 de lã de rocha se equipara a A7 de fibra de coco, porém a A8 apresenta um resultado superior de +2dB de desempenho acústico, o que faz com que as amostras de fibra de coco apresentem desempenho igual ou superior se comparados aos de lã de rocha em questão de desempenho nestas composições.

Lã de PET:

Quadro 33: Índices DnTw para as amostras de painéis de lã de PET

Amostra	Composição	Núcleo	Dntw	Δ Controle	Rank
D1	2 + 70 + 2	PET 25mm	40dB	+2dB	M (0dB)
D2	2 + 70 + 2	PET 50mm	42dB	+4dB	M (+2dB)

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

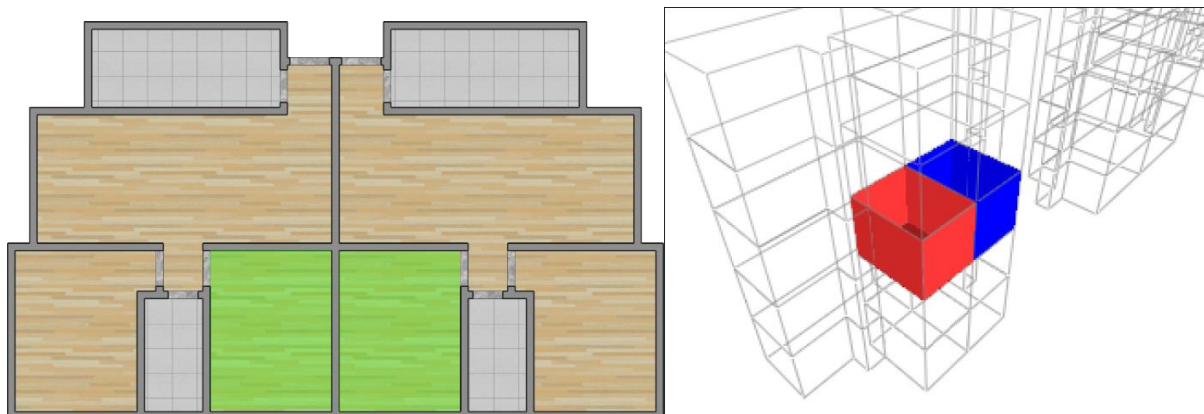
Os resultados das amostras D1 e D2 (Quadro 33) de lã de pet também tiveram resultados semelhantes aos da primeira simulação, apresentando apenas uma pequena redução de desempenho na amostra D1 (-1dB). Sendo a conclusão semelhante à apresentada para as amostras de lã de vidro na presente simulação.

4.4 SIMULAÇÃO - HABITAÇÃO POPULAR – DORMITÓRIO

Para a terceira simulação, foi escolhida a parede de divisória localizada entre dormitórios de duas unidades habitacionais de classe baixa independentes. Em comparação com as duas simulações anteriores, esta se encaixa no item “Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório” do quadro 12, resultando em um nível maior de exigência em relação ao desempenho acústico, a fim de proporcionar melhores condições de repouso e privacidade para os usuários.

Cada dormitório possui 8m², totalizando 16m² e 24m³ de volume total e a parede divisória possui 3.25m lineares (Figura 71). Demais definições construtivas seguiram os parâmetros previamente estabelecidos no capítulo da Metodologia, se aplicando a esta, como também as demais simulações.

Figura 71: Layout habitação classe baixa (a) visão esquemática do ambiente no *SONarchitect* (b)



Fonte: (a) Elaborado pelo Autor (2020), (b) Paim (2020).

Os resultados das amostras estão descritos a seguir. Gráficos e dados mais detalhados de cada amostra nesta tipologia, estão presentes nos Anexos (Figura 140 a 155).

Controle / Ar:

Quadro 34: Índices DnTw para as amostras de controle

Amostra	Composição	Núcleo	Dntw	Δ Controle	Rank
E1	1 + 48 + 1	AR	33dB	-	R (-12dB)
E2	1 + 70 + 1	AR	34dB	-	R (-11dB)
E3	2 + 48 + 2	AR	34dB	-	R (-11dB)
E4	2 + 70 + 2	AR	35dB	-	R (-10dB)

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

Iniciando a análise dos resultados do controle, é possível ver que o aumento do nível de exigência para dormitórios presente na NBR 15575 (ABNT, 2013) faz com que as amostras de controle, E1 a E4 (Quadro 34), não só sejam reprovadas (como nas simulações anteriores) mas também apresentem desempenho muito abaixo do nível (M), que agora passa a ser de 45dB, devido à tipologia de dormitório a ser estudada.

O péssimo desempenho ainda é agravado pelas pequenas dimensões do ambiente em questão, onde, por exemplo, a amostra E4 da presente simulação (24m³ de volume total) teve um desempenho 3dB menor que a mesma amostra E4 na simulação da sala (47m³ de volume total) do mesmo apartamento.

Painéis de Fibra de Coco:

Quadro 35: Índices DnTw para as amostras de painéis de fibra de coco

Amostra	Composição	Núcleo	Dntw	Δ Controle	Rank
A1	1 + 48 + 1	Coco 20mm	34dB	+1dB	R (-11dB)
A2	1 + 48 + 1	Coco 40mm	36dB	+3dB	R (-9dB)
A3	1 + 70 + 1	Coco 20mm	34dB	0dB	R (-11dB)
A4	1 + 70 + 1	Coco 40mm	36dB	+2dB	R (-9dB)
A5	2 + 48 + 2	Coco 20mm	37dB	+3dB	R (-8dB)
A6	2 + 48 + 2	Coco 40mm	40dB	+6dB	R (-5dB)
A7	2 + 70 + 2	Coco 20mm	38dB	+3dB	R (-7dB)
A8	2 + 70 + 2	Coco 40mm	40dB	+5dB	R (-5dB)

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

Seguindo a tendência dos resultados obtidos com o controle, as amostras de A1 a A8 todas foram reprovadas ao não atingirem o desempenho (M) exigido pela NBR (Quadro 35). Em comparação com a simulação da sala, do mesmo apartamento, as amostras de fibra de coco também apresentaram queda de desempenho entre 2-3dB. Anteriormente, a amostra A8 tinha alcançado o índice de redução sonora de 43dB. Porém as fibras de coco, nas composições, apresentam ganhos substanciais em desempenho, chegando a +6dB se comparadas com o controle, como acontece com a amostra A6.

Lã de vidro:

Quadro 36: Índices DnTw para as amostras de painéis de lã de vidro

Amostra	Composição	Núcleo	Dntw	Δ Controle	Rank
B1	2 + 70 + 2	Vidro 25mm	38dB	+3dB	R (-7dB)
B2	2 + 70 + 2	Vidro 50mm	40dB	+5dB	R (-5dB)

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

O mesmo resultado observado nos itens anteriores pode ser visto nos painéis de lã de vidro. Apesar de não ter atingido o desempenho (M), em relação às outras, teve uma queda menor, de -2dB em ambas amostras, se comparada com a simulação anterior. Os resultados de B1 e B2 (Quadro 36) são iguais aos de A7 e A8, concluindo que, nesta situação, o desempenho, tanto da fibra de coco como da lã de rocha, é igual.

Lã de Rocha:

Quadro 37: Índices DnTw para as amostras de painéis de lã de rocha

Amostra	Composição	Núcleo	Dntw	Δ Controle	Rank
C1	2 + 70 + 2	Rocha 25mm	38dB	+3dB	R (-7dB)
C2	2 + 70 + 2	Rocha 50mm	41dB	+6dB	R (-4dB)

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

Apesar dos painéis de lã de rocha também não alcançarem o mínimo exigido pela NBR, a amostra C2 foi a que obteve o melhor desempenho dentre todas as amostras nesta simulação de dormitório (Quadro 37), e também não perdeu em desempenho se comparado à simulação anterior da sala, mantendo os mesmos 41dB (+1dB se comparada com a amostra A8). A amostra C1 teve uma perda de -2dB se comparada com a simulação anterior, fazendo com que se equiparasse a amostra A7 de 20mm da fibra de coco.

A partir destes dados é possível concluir que a fibra de coco apresenta desempenho igual ou ligeiramente inferior se comparada a lã de rocha nestas circunstâncias.

Lã de PET:

Quadro 38: Índices DnTw para as amostras de painéis de lã de PET

Amostra	Composição	Núcleo	Dntw	Δ Controle	Rank
D1	2 + 70 + 2	PET 25mm	38dB	+3dB	R (-7dB)
D2	2 + 70 + 2	PET 50mm	38dB	+3dB	R (-7dB)

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

Diferentemente, das demais, a amostra D2 de lã de PET teve o pior desempenho dos painéis de 40-50mm, se equiparando ao pior resultado obtido pelas placas de 20-25mm na composição (2 + 70 + 2). A redução do ambiente teve grande impacto no desempenho da amostra D2, fazendo com que perdesse consideráveis 4dB de desempenho (Quadro 38).

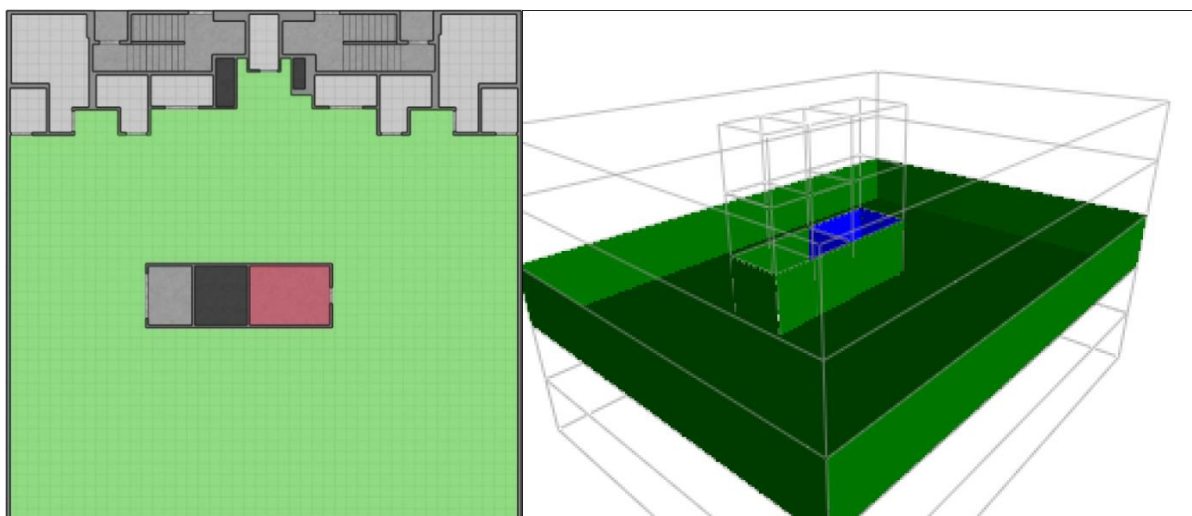
Com estes resultados, conclui-se que em relação às amostras de 20-25mm de espessura, o desempenho da fibra de coco é igual ao da lã de PET, enquanto na espessura de 40-50mm, o desempenho é consideravelmente superior.

4.5 SIMULAÇÃO – ESCRITÓRIO

Para a última simulação, foi escolhida uma configuração de escritório. Apesar desta tipologia não estar contemplada na NBR 15575 (ABNT, 2013) e sim na NBR 10152 (ABNT, 2017), o seu estudo é relevante para analisar o comportamento das amostras em uma composição com elementos diferentes, além do fato das dimensões do ambiente serem muito superiores às tipologias anteriores.

A casa de máquinas, onde ficaria o suposto *fancoil*, possui 10m² e 24m³ de volume, enquanto o escritório possui 373m² e 970m³ de volume total (Figura 72). Demais definições construtivas seguiram os parâmetros previamente estabelecidos no capítulo da Metodologia, se aplicando a esta, como também as demais simulações.

Figura 72: Layout habitação classe baixa (a) visão esquemática do ambiente no SONarchitect (b)



Fonte: (a) Elaborado pelo Autor (2020), (b) Paim (2020).

Os resultados das amostras estão descritos a seguir. Gráficos e dados mais detalhados de cada amostra nesta tipologia, estão presentes nos Anexos (Figura 156 a 169).

Controle / Ar:

Quadro 39: Índices DnTw para as amostras de controle

Amostra	Composição	Núcleo	Dntw	Δ Controle	Rank
E5	1 + 48 + P	AR	57dB	-	A (+12dB)
E6	1 + 70 + P	AR	58dB	-	A (+13dB)
E7	2 + 48 + P	AR	58dB	-	A (+13dB)
E8	2 + 70 + P	AR	58dB	-	A (+13dB)

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

Como já tinha sido possível visualizar nos testes do índice R_w , as paredes de blocos das composições por si só, já proporcionam um desempenho acústico bastante elevado, bem acima do 45dB exigidos pela NBR 10152 (ABNT, 2017) (Quadro 39). Vale ressaltar que, na casa de máquinas existe uma suposta máquina de *fancoil* que gera níveis consideráveis de ruído de forma constante, ou seja, apesar das composições de controle já atingirem o valor mínimo de 45dB, é desejável que neste local haja o maior isolamento possível para se evitar incômodos às pessoas que utilizam o espaço.

Painéis de Fibra de Coco:

Quadro 40: Índices DnTw para as amostras de painéis de fibra de coco

Amostra	Composição	Núcleo	Dntw	Δ Controle	Rank
A9	1 + 48 + P	Coco 20mm	57dB	0dB	A (+12dB)
A10	1 + 48 + P	Coco 40mm	60dB	+3dB	A (+15dB)
A11	1 + 70 + P	Coco 20mm	58dB	0dB	A (+13dB)
A12	1 + 70 + P	Coco 40mm	60dB	+2dB	A (+15dB)
A13	2 + 48 + P	Coco 20mm	59dB	+1dB	A (+14dB)
A14	2 + 48 + P	Coco 40mm	61dB	+3dB	A (+16dB)
A15	2 + 70 + P	Coco 20mm	59dB	+1dB	A (+13dB)
A16	2 + 70 + P	Coco 40mm	61dB	+3dB	A (+16dB)

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

Como já era esperado, todas amostras atendem ao mínimo exigido pela NBR 10152 (ABNT, 2017), com margens consideráveis. Porém, é possível observar que as amostras A9, A11, A13 e A15, todas com 20mm de espessuras, apresentam ganhos mínimos em isolamento acústico, chegando a serem desprezíveis para a composição nas amostras A9 e A11 (Quadro 49). Já nas demais amostras de 40mm, os ganhos foram compatíveis com o desempenho médio nas simulações anteriores, aproximadamente 3dB. Nesta situação, o aumento da câmara interna das composições não afetou os resultados, apenas o aumento da espessura e o aumento do número de chapas que surtiram algum efeito no desempenho de isolamento acústico.

Lã de vidro:

Quadro 41: Índices DnTw para as amostras de painéis de lã de vidro

Amostra	Composição	Núcleo	Dntw	Δ Controle	Rank
B3	2 + 70 + P	Vidro 25mm	59dB	+1dB	A (+13dB)
B4	2 + 70 + P	Vidro 50mm	62dB	+4dB	A (+17dB)

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

O desempenho da lã de vidro é similar ao obtido pela fibra de coco, sendo B3 igual a A14 para os painéis de 20mm e a amostra B4 apresentou um desempenho ligeiramente superior (+1dB) a A16 para os painéis de 40-50mm.

Lã de Rocha:

Quadro 42: Índices DnTw para as amostras de painéis de lã de rocha

Amostra	Composição	Núcleo	Dntw	Δ Controle	Rank
C3	2 + 70 + P	Rocha 25mm	59dB	+1dB	A (+13dB)
C4	2 + 70 + P	Rocha 50mm	61dB	+3dB	A (+16dB)

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

A lã de rocha e a fibra de coco apresentaram resultados iguais para as duas amostras (Quadro 42). Porém as amostras de fibra de coco apresentam um desempenho melhor nas baixas frequências entre 125-250Hz.

Lã de PET:

Quadro 43: Índices DnTw para as amostras de painéis de lã de PET

Amostra	Composição	Núcleo	Dntw	Δ Controle	Rank
D1	2 + 70 + P	PET 25mm	59dB	+1dB	A (+13dB)
D2	2 + 70 + P	PET 50mm	62dB	+4dB	A (+17dB)

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

Como visto anteriormente, os resultados de D1 e D2 foram compatíveis com as demais amostras (Quadro 43), se equiparando às amostras B3 e B4 de lã de vidro, caracterizando um desempenho igual ou superior às amostras A15 e A16 das fibras de coco.

4.6 AVALIAÇÃO TÉRMICA DOS PAINÉIS DE FIBRA DE COCO

Materiais para isolamento acústico geralmente apresentam propriedades específicas que os permitem agir como isolantes térmicos e por esse motivo é necessário verificar o comportamento do material que se deseja utilizar, para que este não comprometa o conforto térmico na edificação.

Geralmente na construção civil, revestimentos termoacústicos são instalados sob telhados e paredes, sejam estas internas, em composições de *drywall*, como as utilizadas para as simulações no capítulo anterior, ou para fazer o isolamento de edifícios que utilizam o sistema de fachada unitizada, como mostrado na figura 73. Cada caso, de forma genérica, representará uma situação distinta, já que o mesmo material sofrerá diferentes níveis de exposição a fontes

de calor, que podem gerar resultados desejáveis ou indesejáveis, dependendo da situação e do que se espera do material.

Figura 73: Instalação de lâ de rocha em fachada unitizada



Fonte: Autor (2012).

No caso da figura 73, o revestimento termoacústico estava sendo instalado em uma fachada que apresentava incidência moderada do Sol. Pelo fato do pavimento ser climatizado, era desejável que este material tivesse um alto desempenho de isolamento térmico, enquanto que, caso este mesmo material fosse instalado em uma parede no interior de uma edificação, as suas propriedades de isolamento térmico podem ser indesejáveis ou até mesmo desprezíveis dependendo da situação, já que o material não estaria exposto a grandes variações térmicas de forma direta, tendendo ao equilíbrio com a temperatura média do ambiente, baseado nas leis fundamentais da termodinâmica.

Como os painéis de fibra de coco podem exercer a função de isolamento termoacústicos, como os seus concorrentes, serão analisados os resultados e as conclusões obtidas através de ensaios térmicos realizados pelo INT (ALIPRANDINI, 2005). O material estudado foi a placa de fibra de coco de 40mm, a mesma utilizada nas simulações dos capítulos anteriores.

Quadro 44: Condutividade térmica de alguns materiais

Material	W/m.K	Espessuras (mm)
Concreto Celular	0,3489	150
Argila Expandida	0,1395	60
Madeira (Pinho branco)	0,1120	>140
Aglomerado de Madeira	0,0709	30
Fibra de coco	0,0530	40
Fibra de Amianto	0,0523	23
Cortiça expandida	0,0407	18
Fibra de Vidro	0,0372	16
Lã de vidro	0,0370	49
Poliestireno Expandido	0,0360	16
Espuma rígida	0,0350	44
Lã de Rocha	0,0348	15
Poliuretano	0,0209	10

Fonte: Adaptado de Aliprandini, Figueiredo (2005).

Quadro 45: Condutividade térmica de alguns materiais “k”

Material	W/m.K	Material	W/m.K
Polietileno espuma	0,025/0,030	Amianto em placas	0,29
Lã de vidro	0,044	Areia seca	0,33
Fibra de coco	0,053	Polietileno	0,35
Cortiça	0,054	Água	0,58
Borracha esponjosa	0,055	Tijolo maciço	0,61
Serragem	0,06	Vidro	0,72
Lã de rocha	0,063	Asfalto	0,73
Couro	0,14/0,16	Reboco	0,79
Ebonite	0,16	Cerâmica (azulejo)	1,06
Madeira	0,16	Mármore	1,00/1,57
Borracha macia	0,18	Alvenaria, concreto leve	1,1
Pexiglas	0,18	Areia úmida	1,13
PVC	0,19	Argila 10% água	1,2/2,3
Gesso em placas	0,21/0,41	Cimento-amianto placas	1,26
Nylon	0,23	Concreto armado	1,51

Fonte: Adaptado de Aliprandini, Figueiredo (2005).

Condutividade térmica é a capacidade do material fazer a transmissão de energia térmica, diretamente relacionada a resistência térmica e a espessura da amostra. Como pode ser visto no quadro 44 e 45, a amostra de fibra de coco de 40mm possui valores similares aos dos seus concorrentes, lã de rocha e lã de vidro. (ALIPRANDINI, FIGUEIREDO, 2005)

Quadro 46: Comparativo de resistência térmica

Material	Densidade (Kg/m ³)	Espessura (mm)	“R” (m ² °C / W)
Lã de vidro	12	50mm	1,11
Lã de vidro	20	50mm	1,32
Lã de vidro	35	50mm	1,47
Lã de vidro	12	75mm	1,67
Cortiça	-	50mm	2,11
Fibra de coco	-	40mm	0,72

Fonte: Adaptado de Aliprandini, Figueiredo (2005).

Segundo o relatório do INT, materiais cuja resistência térmica seja superior a 0,3m²K/W correspondem a materiais isolantes celulares ou fibrosos, como pode ser visto no quadro 46, o painel de fibra de coco possui um valor intermediário de 0,72 m².K/W para resistência térmica se comparado às outras amostras de lã de vidro.

Quadro 47: Calor específico de alguns materiais (kJ/kg°C a 20 °C)

Material	kJ/kg°C	Material	kJ/kg°C
Diamante	0,5	Concreto	0,88
Telha	0,63	Mármore	0,88
Lã de vidro	0,67	Plástico PVC	0,96
Grafite	0,71	Carvão de madeira	1
Asfalto	0,8	Plástico plexiglass	1,26
Granito	0,8	Fibra de coco	1,41
Argamassa	0,84	Cimento seco	1,55
Pedra calcária	0,84	Borracha vulcanizada	2,01
Vidro	0,84	Madeira de pinheiro	2,72

Fonte: Adaptado de Aliprandini, Figueiredo (2005).

Por último, o quadro 47 mostra o calor específico de alguns materiais. Calor específico de um material é relativo ao tempo que o material levará para absorver calor, e uma vez aquecido, irá demorar para perder calor. A fibra de coco possui um valor de 1,41 kJ/Kg.°C, ou seja, a placa de 40mm demora mais para aquecer que a lã de vidro, porém uma vez aquecida, demora mais que a lã de vidro para perder o calor, podendo interferir na temperatura ambiente por mais tempo, até que atinja o equilíbrio térmico com o meio. (ALIPRANDINI, FIGUEIREDO, 2005)

Como visto nos quadros e concluído pelo INT, as placas de fibra de coco podem sim ser utilizadas como isolamento térmico além do isolamento acústico, porém a avaliação do seu desempenho, se será desejável ou não, dependerá da função desejada e do local onde for aplicada.

4.7 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Como já era esperado, os painéis de fibra de coco foram capazes de reproduzir o mesmo desempenho atingido pelas demais lãs, chegando a superá-las em alguns casos, como aconteceu na simulação Habitação classe média – Sala, onde a amostras A8 de 40mm atingiu 44dB de atenuação sonora, superando as demais com uma margem de +2dB na mesma simulação.

Diferentemente do painel de 40mm, o painel de fibra de coco de 20mm se mostrou ineficiente nos cenários definidos e para os padrões estabelecidos pela NBR 15575 (ABNT, 2013), chegando a não apresentar qualquer ganho em algumas composições. Por esse motivo a sua utilização é desaconselhada mesmo em casos onde a exigência seja mais baixa, como é o caso do item “Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, tais como corredores e escadaria dos pavimentos” do quadro de valores DnTw, onde o valor mínimo da categoria (M) passa para apenas 35dB, já que a sua instalação proporcionaria um ganho mínimo em absorção sonora, mesmo se comparada com uma composição vazia apenas com *drywall*, não valendo o investimento nesta solução acústica.

Porém, é preciso ressaltar a diferença considerável em densidade das amostras, onde o painel de 40mm chega a ser 4 vezes mais densos que algumas concorrentes, o que pode ter lhe conferido uma maior vantagem durante as simulações. Seria interessante a realização de uma nova rodada de simulações, nas mesmas condições estabelecidas, mas com painéis de densidades mais baixas e equiparáveis as demais, para verificar a influência real da densidade nos resultados destas amostras e se ainda apresentariam desempenho acústico superior nestas condições.

5 CONCLUSÃO

Este estudo teve como principal objetivo avaliar a viabilidade de reaproveitar resíduos de coco verde, dando origem a novos produtos que sejam destinados ao tratamento acústico em edificações.

Ao propor um estudo de viabilidade, fez-se necessário uma análise mais abrangente das questões que envolvem o coco verde, desde a sua distribuição e consumo, até os testes de desempenho de painéis produzidos a partir destes. Tudo para que fosse possível compreender a atual situação do objeto de estudo dentro do contexto urbano, como também verificar a relevância do tema para a realidade brasileira. Com base nestas diretrizes, foi possível formular conclusões acerca das questões abordadas e estas que serão descritas abaixo.

Foi constatado que apesar do Brasil ter apresentado um decréscimo de 8% na quantidade de áreas colhidas, a sua produção de coco verde ainda é bastante considerável, em especial devido ao aumento do interesse na busca por alternativas naturais para o desenvolvimento de novos produtos na área de cosméticos, mas principalmente para a produção de água de coco industrializada, o que leva a um aumento na geração de resíduos nas mesmas proporções. Enquanto nas indústrias, as carcaças de coco são utilizadas para alimentação de fornalhas, desperdiçando matéria prima e gerando gases que contribuem para o efeito estufa, nas cidades, principalmente litorâneas, essas carcaças geram problemas ambientais e de saúde pública, em decorrência do mau gerenciamento de resíduos e pela falta de interesse e incentivos para dar distinção apropriada para este tipo de descarte.

As fibras do coco apresentam propriedades físicas que lhes conferem destaque se comparado às outras fibras vegetais. A extração das fibras é realizada por meio de maquinário simples, não sendo necessária a utilização de produtos químicos nocivos ou geração de gases estufa.

Em relação à produção de painéis, os processos podem ser industrializados ou realizados de forma artesanal simplificada, porém é necessário atentar para as pequenas variações que podem ocorrer no segundo método, o que pode comprometer a qualidade e o desempenho esperado dos painéis. Ainda sobre a produção, tanto durante a busca por produtos que já são vendidos atualmente e os apresentados nos referenciais bibliográficos que contribuíram para este estudo, foi verificado uma recorrente similaridade no padrão dos painéis, tanto em relação à estrutura quanto em sua aparência, o que leva à conclusão de que apesar deste tipo de produto não ser relativamente novo, o seu desenvolvimento aparenta ter se estagnado, o que

provavelmente contribui para a sua baixa ou quase inexistente atuação nos campos da arquitetura e da construção civil. Porém, como visto em exemplos da China e da Índia, as fibras de coco apresentam relativa versatilidade, podendo ser combinadas com diferentes agentes aglomerantes, gerando produtos que podem ser utilizados em uma gama maior de aplicações dentro e fora da edificação, além de incorporar valores estéticos aos painéis com diferentes combinações de cores e acabamentos de superfície. Iniciativas como essas vistas na China e na Índia, se adotadas para as produções nacionais, poderiam torná-los mais atrativos ao público e proporcionar uma maior inserção deste tipo de produto no mercado de tratamento acústico já consolidado.

A vertente do tratamento acústico foi seguida pois trata da poluição sonora, elemento tão presente nos centros urbanos, e que age de forma gradual e até despercebida, provocando danos muitas vezes irreparáveis à saúde física e mental da população. Porém para se obter um bom desempenho acústico, a simples introdução de um novo material acústico não é o suficiente, sendo necessária a adoção de um conjunto de medidas para que isso ocorra, o que gera a possibilidade de novas aplicações da fibra de coco em diferentes áreas de uma edificação, não somente como painéis acústicos, desde que se desenvolvam novos métodos produtivos que permitam isso.

Para que estes painéis de fibra de coco possam ser considerados como mais uma opção na área do tratamento acústico, foram realizados testes em diferentes condições para verificar o desempenho das amostras de forma comparativa. Analisando os dados obtidos através das simulações e com base nos padrões estabelecidos pela NBR 15575 (ABNT, 2013), foi possível constatar que os painéis de fibra de coco apresentam valores no mínimo iguais ou superiores aos demais concorrentes, como lã de vidro, lã de rocha e lã de PET, em relação à absorção sonora e também possuem propriedades similares no quesito térmico, mas sendo necessária a realização de testes mais aprofundados e específicos para averiguar a real eficiência e o seu comportamento nesse segundo ponto.

Mesmo que as amostras de painéis de fibra de coco tenham obtido bons resultados durante as simulações, outros fatores devem ser verificados antes que estes possam ser instalados em alguma edificação. Os painéis testados apresentam uma densidade bastante elevada se comparada às amostras das concorrentes, o que lhe confere maior peso e maior rigidez. O peso a mais do conjunto instalado, se comparado às demais alternativas, pode ser indesejável dependendo da estrutura e finalidade. Por serem painéis substancialmente mais rígidos, a sua instalação em locais onde são necessários recortes, se tornaria ligeiramente mais complexa e

demorada, além de existir a possibilidade da ocorrência de frestas nos encontros de placas em função dos cortes imprecisos e da quase inexistente capacidade de deformação adaptativa, criando canais para a propagação do som e comprometendo o desempenho acústico do sistema.

Além disso, este estudo ressalta, não somente para os painéis testados, mas também para qualquer iniciativa de criação de novo produto que siga as mesmas diretrizes, a importância da necessidade de realização de testes e da adoção de padrões de qualidade, que garantam a eficiência destes produtos em casos de incêndio e em questões relacionadas à salubridade.

Por fim, a fibra de coco é uma matéria prima abundante e versátil, porém, é necessário que haja inicialmente o interesse e conseqüentemente o incentivo, tanto na esfera pública como privada, para o desenvolvimento de novas tecnologias e produtos que utilizem este tipo de resíduo em sua composição. A fibra do coco apresenta grande potencial de reutilização, mas que infelizmente não recebe o reconhecimento merecido.

5.1 AGENDA FUTURA

Para dar continuidade ao trabalho, melhorar a produtividade e ampliar as possibilidades de utilização da fibra de coco, é sugerido que:

Estudar o impacto causado pelo aumento de área plantada de coqueiros na produção de outros produtos agrícolas.

Desenvolva-se protótipos de painéis de fibra de coco que possuam uma variedade maior de densidades e espessuras para que atendam uma gama maior de aplicações em edificações e facilitem o seu manuseio.

Teste-se o impacto no desempenho termoacústico dos painéis de fibra de coco quando utilizadas diferentes proporções de fibras, agentes aglutinantes e agentes antichamas, a fim de produzir painéis mais leves, maleáveis, ecológicos e gerar economia de materiais.

Verificar de forma mais aprofundada os custos dos compósitos utilizados na produção dos painéis e avaliar se atendem padrões ecológicos e de sustentabilidade.

Busque-se alternativas para a configuração de superfície dos painéis, visando o melhor desempenho acústico, mas também o potencial estético do painel, para melhorar a aceitação do público e ganhar maior visibilidade no campo da arquitetura.

REFERÊNCIAS

- ACOUSTICALSURFACES. Disponível em: <https://www.acousticalsurfaces.com/acoustic_IOI/101home.htm>. Acesso em: 22 fev. 2020.
- AECWEB. **Lã de rocha é solução para conforto acústico de edificações.** Disponível em: <<https://www.aecweb.com.br/revista/materias/la-de-rocha-e-solucao-para-conforto-acustico-de-edificacoes/13486>> Acesso em: 16 dez. 2019.
- ALIPRANDINI, L. G.; FIGUEIREDO, R. L. **Relatório de Adequação Tecnológica de Produto para Exportação ATPEX no 065/04.** Rio de Janeiro: ProgEX - RJ, 2005.
- AMORIM ISOLAMENTOS. Disponível em: <<https://www.amorimcorkinsulation.com/en/products/>>. Acesso em: 22 fev. 2020.
- ARAÇARIGUAMA. **Pedreira Votorantim - Araçariguama - SP.** Disponível em: <https://www.aracariguama.sp.gov.br/portal/noticias/0/9/273/Pedreira-Votorantim---Ara%C3%A7ariguama---SP>. Acesso em: 5 dez. 2019.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10151:** Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento. Rio de Janeiro, 2019.
- _____. **NBR 10152:** Níveis de ruído para conforto acústico – Procedimento. Rio de Janeiro, 2017.
- _____. **NBR 15575:** Desempenho de edificações habitacionais. Rio de Janeiro, 2013.
- BASTOS, L. P. **Desenvolvimento e Caracterização acústica de painéis multicamadas unifibra, multifibras e mesclados, fabricados a partir de fibras vegetais.** 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2009
- BISTAFA, S. R. **Acústica Aplicada ao controle de Ruídos.** São Paulo: Edgard Blucher, 2006.
- BIOLA. **Um pouco mais sobre Lã de Rocha M2.** Disponível em: < <https://biola.com.br/um-pouco-mais-sobre-la-de-rocha-m2/>>. Acesso em: 05 jan. 2020.
- BLEDZKI, A. K.; GASSAN, J. **Composites reinforced with cellulose based fibres.** Progress in Polymer Science, v. 24, 1999.
- BONDAR, G. **A cultura do coqueiro (Cocos nucifera) no Brasil.** Salvador: Tipografia Naval, 1955.
- BRAINER, M. S. D. C. P. **Produção de coco: o Nordeste é destaque nacional. Caderno Setorial ETENE.** 3. ed. Fortaleza: BNB, 2018.
- CBIC. **Desempenho de Edificações Habitacionais:** Guia Orientativo para Atendimento à Norma ABNT NBR 15575/2013. 2. ed. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação. 2013.

CLAUS, Carlos. **Ciência das fibras: coco**. 2010. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/38712098/Fibra-do-coco>>. Acesso em: 27 maio 2017.

COCOIBOARD. **History of Coir**. Disponível em: <http://coirboard.gov.in/?page_id=58>. Acesso em: 5 jan. 2020.

COCOVERDE. Disponível em: <<http://www.cocoverderj.com.br/>>. Acesso em: 26 jan. 2020.

BRASIL. CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. 2018. **PROHORT** - Programa brasileiro de Modernização do Mercado de Hortigranjeiro. Disponível em: <<http://www3.ceasa.gov.br/prohortweb/>>. Acesso em: 16 dez. 2019.

BRASIL. EMBRAPA, **Evolução da produção de coco no Brasil e o comércio internacional – Panorama 2010**. Aracaju, 2011.

BRASIL. IBGE. **Produção Agrícola Municipal (2019)**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisa>>. Acesso em: 14 dez. 2019.

BRASIL. IDEC, MMA, MEC. **Manual de Educação para o Consumo Sustentável**. Brasília, 2005.

BRASIL. MMA. **Biodiversidade Brasileira**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biodiversidade/biodiversidade-brasileira>>. Acesso em: 26 maio 2017.

DIÁRIO DO NORDESTE. **Usina desativada há dois anos**. Disponível em: <<https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/editorias/metro/usina-desativada-ha-dois-anos-1.683562>>. Acesso em: 14 nov. 2018

DUARTE, D.; IMAI, E. M.; NII, P. M. **Fibras naturais e sua aplicação na arquitetura**. São Paulo: USP, 2009. Disponível em: <<http://www.fau.usp.br/arquivos/disciplinas/au/aut0221/Trabalhos%20Finais%202009/Fibras%20naturais.pdf>>. Acesso em: 28 maio 2017.

_____; MICHALSKI, R. **Efeitos da vegetação na acústica urbana**. São Paulo: USP. 2018. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/49070953-Efeitos-da-vegetacao-na-acustica-urbana.html>>. Acesso em: 7 jan. 2020.

EACH. **Pesquisa da EACH cria substrato para telhado verde com bagaço de cana e fibra de coco**. Disponível em: <<http://www5.each.usp.br/noticias/pesquisa-da-each-cria-substrato-para-telhado-verde-com-bagaco-de-cana-e-fibra-de-coco>>. Acesso em: 5 jan. 2020.

EBC. **Em um ano, incidência da dengue no país aumenta 600%**. 2019. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/saude/noticia/2019-09/em-um-ano-incidencia-da-dengue-no-pais-aumenta-600>>. Acesso em: 3 jan. 2020.

ECOTELHADO. **UNISINOS Expande Campus e Investe em Visual Inovador e Verde**. Disponível em: <https://ecotelhado.com/sistema/universidade-unisinos-rs/>. Acesso em: 22 jan. 2020.

ECYCLE. **O que é Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)?**. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/3705-politica-nacional-de-residuos-solidos-pnrs.html>>. Acesso em: 5 dez. 2019.

EMBUSA. **Pedreira Viracopos**. Disponível em: <<http://www.embusa.com.br/pedreira/pedreira-viracopos>>. Acesso em: 5 dez. 2019.

F. NETO, M. et al. **Qualidade do fruto verde de coqueiro em função da irrigação com água salina**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 6. Campina Grande. 2002.

FERRI, M. G.; MENEZES, N. L.; MONTEIRO, W. R. **Glossário ilustrado de botânica**. São Paulo: Nobel. 1981.

FONTES, H. R.; WANDERLEY, M. **Situação atual e perspectivas para a cultura do coqueiro no Brasil**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2006.

FRANCO, F. **Aproveitamento da fibra do epicarpo do coco babaçu em compósito com matriz de epóxi**: estudo do efeito do tratamento da fibra. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Faculdade de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

G1. **Cerca de 20 toneladas de lixo são recolhidas por dia nas praias de São Luís, diz prefeitura**. 2018. Disponível em: <<https://g1.globo.com/ma/maranhao/noticia/2018/09/03/cerca-de-20-toneladas-de-lixo-sao-recolhidas-por-dia-nas-praias-de-sao-luis-diz-prefeitura.ghtml>> Acesso em: 15 dez. 2019.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

HOMERO, V. **Reciclagem transforma fibra de coco em piso**. 2012. Disponível em: <<http://www.faperj.br/?id=2272.2.6>> Acesso em: 28 maio 2017.

IARC. **Man-made Vitreous fibres. IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk to Humans**. v. 81, Lyon, 2002.

IASB. **Chorume produzido em lixões contamina fontes de água em todo o país**. Disponível em: <<http://iasb.org.br/noticia/chorume-produzido-em-lixoes-contamina-fontes-de-agua-em-todo-o-pais>>. Acesso em: 5 jan. 2020.

ISOPLAST. **Placas EPS isolantes térmicas**. Disponível em: <<http://isoplast.ind.br/16/produtos/placas-eps-isopor/>> Acesso em: 5 jan. 2020.

ISSUU. Disponível em: <https://issuu.com/brandkerala/docs/bk_february_2016/36>. Acesso em: 27 jan. 2020.

JACQUES, E. **MDF verde feito de casca de coco**. 2013. Disponível em: <<http://atitudesustentavel.com.br/blog/2013/10/27/mdf-verde-feito-de-casca-de-coco/>> Acesso em: 19 de agosto 2019.

L. NETO, F.; PARDINI, L. C. **Compósitos estruturais: ciência e tecnologia**. São Paulo: Edgard Blucher. 2006.

LESSA, B. **Mão gaúcha**. Porto Alegre: Fundação Gaúcha do Trabalho, 1978.

LIEBHERR. **Novas escavadeiras hidráulicas Liebherr de 60 toneladas já operam com sucesso no Brasil**. Disponível em: <<https://www.liebherr.com/en/gbr/about-liebherr/liebherr-worldwide/brazil/all-br-news/news-br-30.03.2016.html>>. Acesso em: 5 dez. 2019.

LUZ, G. F. S. D. **Desenvolvimento de Formulações Cosméticas com Óleos Vegetais para Cabelos Cacheados**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Farmácia) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.

MARTINS, C. R.; D. JÚNIOR, L. A. **Produção e Comercialização de Coco no Brasil Frente ao Comércio Internacional: Panorama 2014**. Documentos 184. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2014.

MASCARÓ, L.; MASCARÓ, J. L. **Vegetação Urbana**. 3. ed. Porto Alegre: Masquatro. 2010.

MATTOS, A. L. A. et al. **Beneficiamento da casca de coco verde**. Embrapa. s/d.

MATEUS, D. **Acústica de edifícios e controlo de ruído**. Coimbra, Portugal. 2008.

MEGATHERM. **Tech-panel-la-de-vidro**. Disponível em: <<http://megatherm.com.br/portfolio/tech-panel-la-de-vidro/>>. Acesso em: 05 jan. 2020.

MORASSI, O. J. **Fibras naturais: Aspectos gerais e aplicações na indústria automobilística**. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, v. 11, 1994, Águas de São Pedro, 1994.

NASCENTES, C. **Projeto Coco Verde**. 2012. Disponível em: <<http://ambientalsustentavel.org/2012/projeto-coco-verde/>>. Acesso em: 27 maio 2017.

NATIONAL GEOGRAPHIC. **Yurt**. Disponível em: <<https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/yurt/>>. Acesso em: 5 dez. 2019.

NIELSEN, E. et al. **Mineral wools (glass, stone/slag, HT): evaluation of health hazards and proposal of a health-based quality criterion for ambient air**. Dinamarca: 2013.

NIEMEYER, L. Mapeamento e medição de ruído: critérios acústicos e planejamento urbano. **Seminário poluição sonora no contexto urbano atual**. Câmara Municipal de BH. Disponível em: <https://www.cmbh.mg.gov.br/sites/default/files/eventos/material_de_apresentacao_-_palestrante_lygia_niemeyer.pdf> Acesso: 25 jan. 2020.

O POPULAR. **Falta gente no combate à dengue**. Disponível em: <<https://www.opopular.com.br/noticias/cidades/falta-agente-no-combate-%C3%A0-dengue-1.74383>>. Acesso em: 17 dez. 2019.

O TEMPO. **Brasil já é o maior produtor de água de coco do mundo.** 2018. Disponível em: <<https://www.otempo.com.br/economia/brasil-ja-e-o-maior-produtor-de-agua-de-coco-do-mundo-1.1599068>>. Acesso em: 10 jan. 2020.

OLIVEIRA, J. C. D. et al. **Análise do Impacto Ambiental da Casca do Coco nas Praias do Cabo Branco, Manaíra e Tambaú e a Futura Geração das Placas de Isolamento Termo Acústico como Solução, no Município de João Pessoa.** 2018.

OSHA.SBCTC, LOHP. **Construction Noise & Hearing Loss Prevention: Train-the-Trainer Course 2015.** Berkeley, 2015.

PAIM, F. B. **Audium – Áudio e Acústica,** Salvador, 2020.

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

PASSOS, P. R. de A. **Destinação sustentável de cascas de coco (Cocos nucifera) verde:** obtenção de telhas e chapas de partículas. 2005. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <<Http://www.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/ppassos.pdf>>. Acesso em: 26 maio 2017.

PETCARE. **O que são vetores? O que é uma doença transmitida por vetores?.** Disponível em: <<http://petcare.com.br/o-que-sao-vetores-o-que-e-uma-doenca-transmitida-por-vetores/>>. Acesso em: 7 jan. 2020.

PORTAL27. **Pauta do leitor:** terreno com lixo, entulho e animais mortos em Guarapari. Disponível em: <<https://www.portal27.com.br/pauta-do-leitor-terreno-com-lixo-entulho-e-animais-mortos-em-guarapari>>. Acesso em: 12 jan. 2020.

PORTAL ACÚSTICA. **Desempenho acústico de fachada de acordo com a forma.** Disponível em: <http://portalacustica.info/desempenho-acustico-de-fachada/>. Acesso em: 23 jan. 2020a.

_____. **Infraestruturas verdes:** qualidade acústica associada a sistemas de parede e telhado verdes. Disponível em: <<http://portalacustica.info/infraestruturas-verdes-qualidade-acustica-associada-a-sistemas-de-parede-e-telhado-verdes/>>. Acesso em: 23 jan. 2020b.

QINSOUND. Disponível em: <<https://qinsound.tradees.com>>. Acesso em: 27 jan. 2020.

REINA, M. **Acústica Urbana.** Universidade Federal de Alagoas – Campus Arapiraca, Alagoas, 2013

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

_____. **Água-de-coco: Métodos de Conservação.** Embrapa, 2000.

SANTOS, E. F. **Efeitos de agentes de acoplamento em compósitos de polipropileno com fibras de coco.** Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal Rio Grande do Sul, 2007.

SERRANO, P. G. et al. **Guia Prático: Acústica de Edificações Habitacionais**. Florianópolis: Portal Acústica, 2016. *E-book*.

SILVA, T. L. **Fibras Animais: Seda e lã**. 2015 Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/17839534/fibras-animais-seda-e-la-completo>>. Acesso em: 28 jan. 2020.

SILVA, V. C. D. et al. **Diversidade de criadouros e tipos de imóveis frequentados por *Aedes albopictus* e *Aedes aegypti***. São Paulo: Revista de Saúde Pública., v. 40, 2006

SILVEIRA, M. S. **Aproveitamento das Cascas de Coco Verde para Produção de Briquete em Salvador**. Salvador, 2008.

SITE DE LINHARES. **Flagra: homem joga restos de coco e bagaço de cana em lote usado como lixão na feira do BNH**. Disponível em: <<http://www.sitedelinhares.com.br/noticias/geral/flagra-homem-joga-restos-de-coco-e-bagaco-de-cana-em-lote-usado-como-lixao-na-feira-do-bnh-video>>. Acesso em: 5 dez. 2019.

SOUNDOFNUMBERS. Disponível em: <<https://www.soundofnumbers.net/>>. Acesso em: 22 dez. 2020.

SPÄRNIŖŠ, E. **Mechanical Properties of Flax Fibers and Their Composites**. Suécia, 2006.

S.T.M EXPORTS. **Products**. Disponível em: <<http://www.stmexport.com/services.html>>. Acesso em: 5 jan. 2020.

TNH1. **Escola Sesi Cambona conquista prêmio na USP com painéis acústicos feitos de fibras de coco**. Disponível em: <<https://www.tnh1.com.br/noticia/nid/escola-sesi-cambona-conquista-premio-na-usp-com-paineis-acusticos-feitos-de-fibras-de-coco/>>. Acesso em: 18 jan. 2020.

UFMG. Disponível em: <<https://pq.arq.ufmg.br/tag/space-syntax/>>. Acesso em: 22 jan. 2020.

UNIVASF. **Impactos Ambientais das Fibras Têxteis e Alternativas**. Disponível em: <<http://portais.univasf.edu.br/sustentabilidade/noticias-sustentaveis/impactos-ambientais-das-fibras-texteis-e-alternativas>>. Acesso em: 5 dez. 2019.

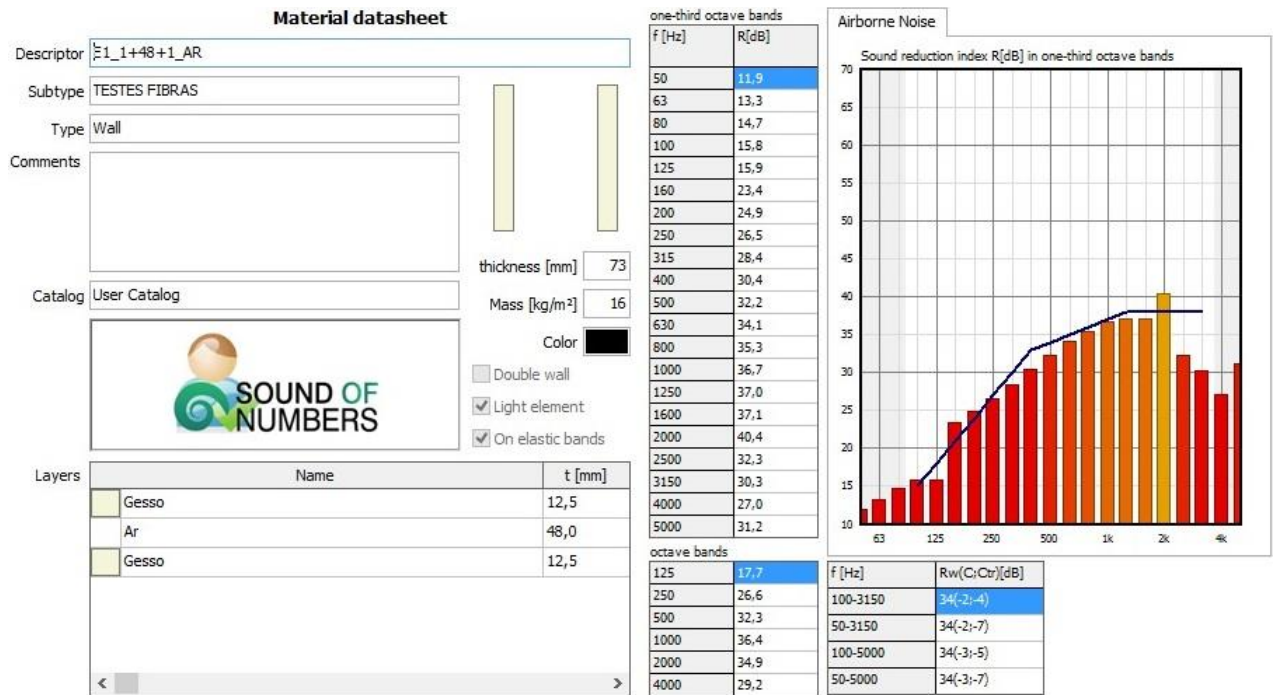
VIEIRA, R. J. D. A. **Desenvolvimento de Painéis Confeccionados a Partir de Fibras de Coco para Controle Acústico de Recintos**. 2009. Relatório de Pesquisa - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pará, Belém. 2008.

VINAEC. **Fim dos lixões no país. Será?**. Disponível em: <<https://vinaec.com.br/2014/08/fim-dos-lixoes-no-pais-sera/>>. Acesso em: 26 jan. 2020.

WALLPAPERSITE. Disponível em: <https://wallpapersite.com/images/pages/pic_w/9865.jpg>. Acesso em: 23 jan. 2020.

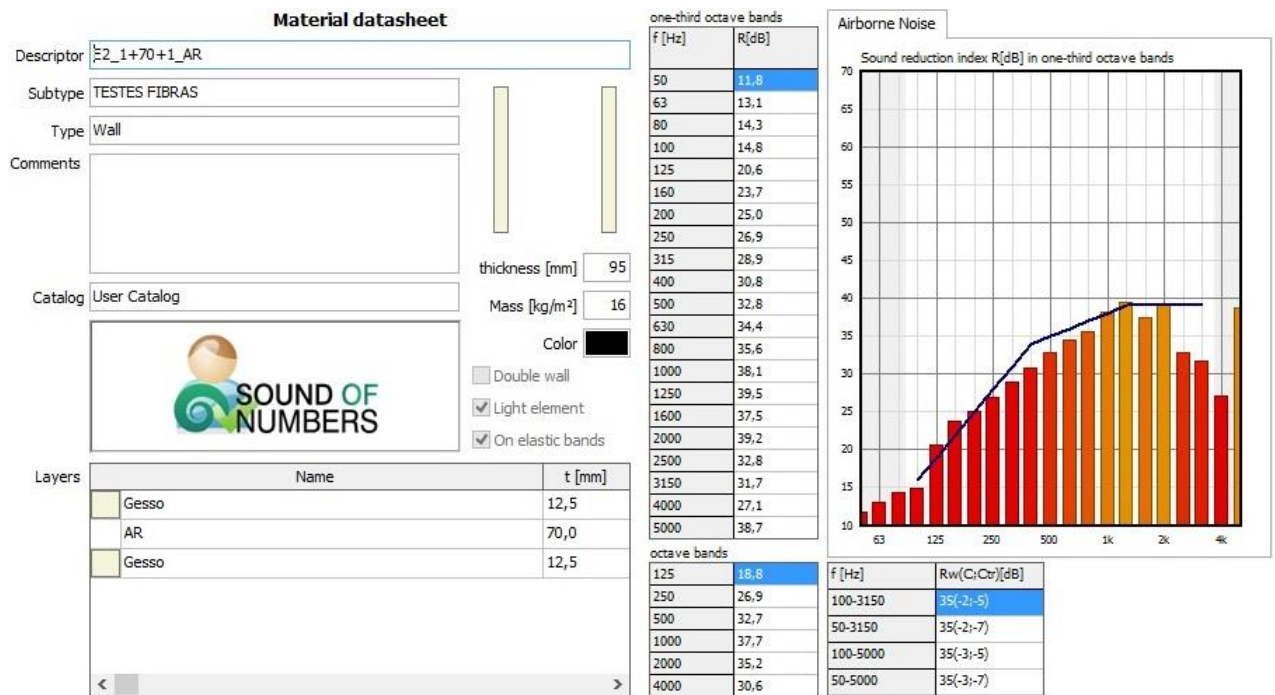
ANEXOS

Figura 74: Índice Rw amostra E1 (1 + 48 + 1)



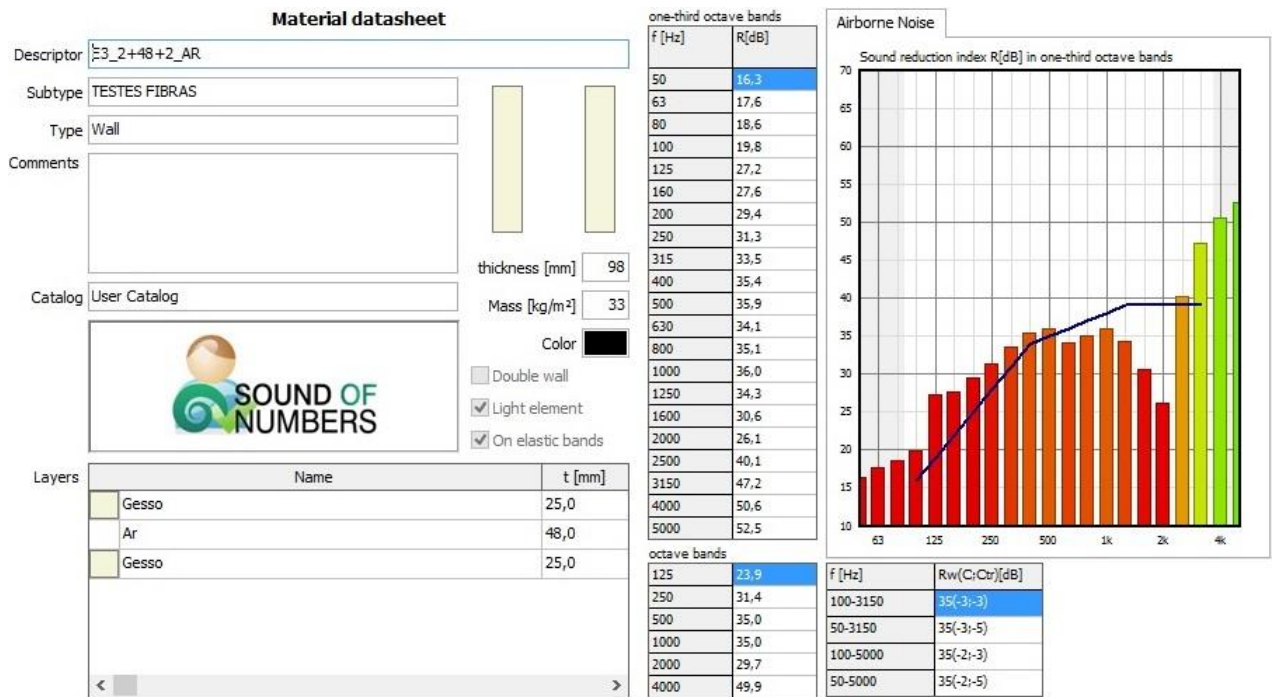
Fonte: Paim (2020).

Figura 75: Índice Rw amostra E2 (1 + 70+ 1)



Fonte: Paim (2020).

Figura 76: Índice Rw amostra E3 (2 + 48 + 2)



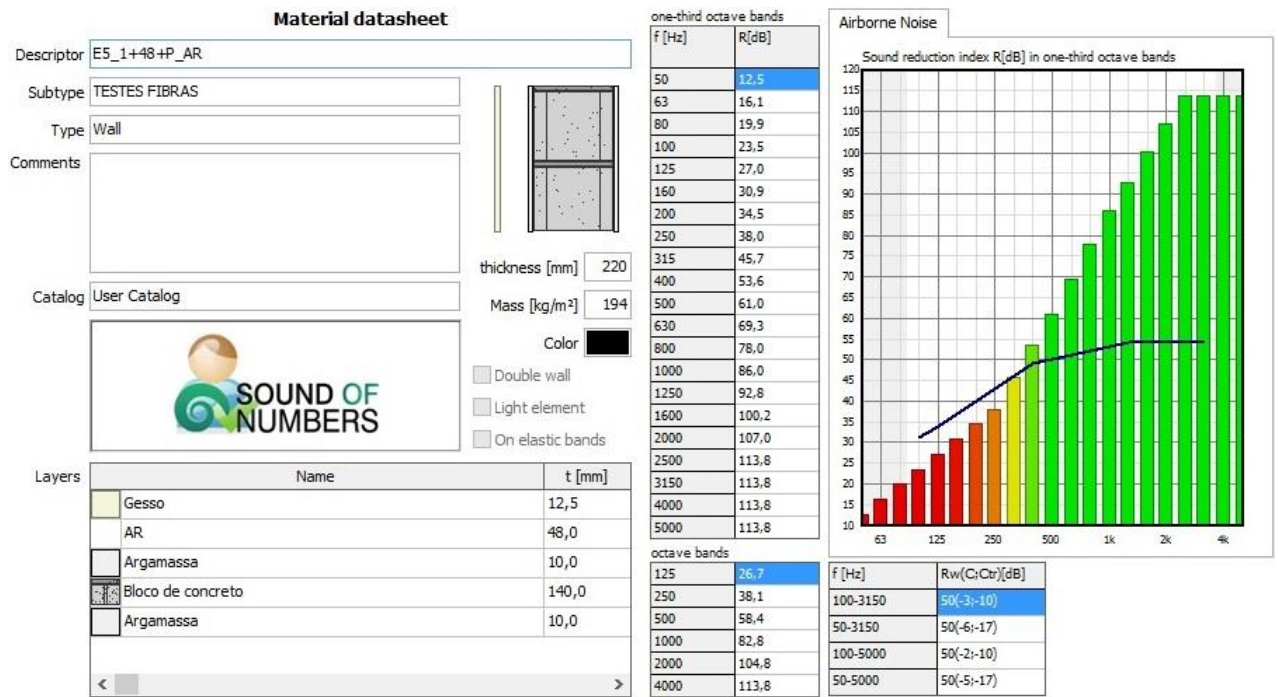
Fonte: Paim (2020).

Figura 77: Índice Rw amostra E4 (2 + 70 + 2)



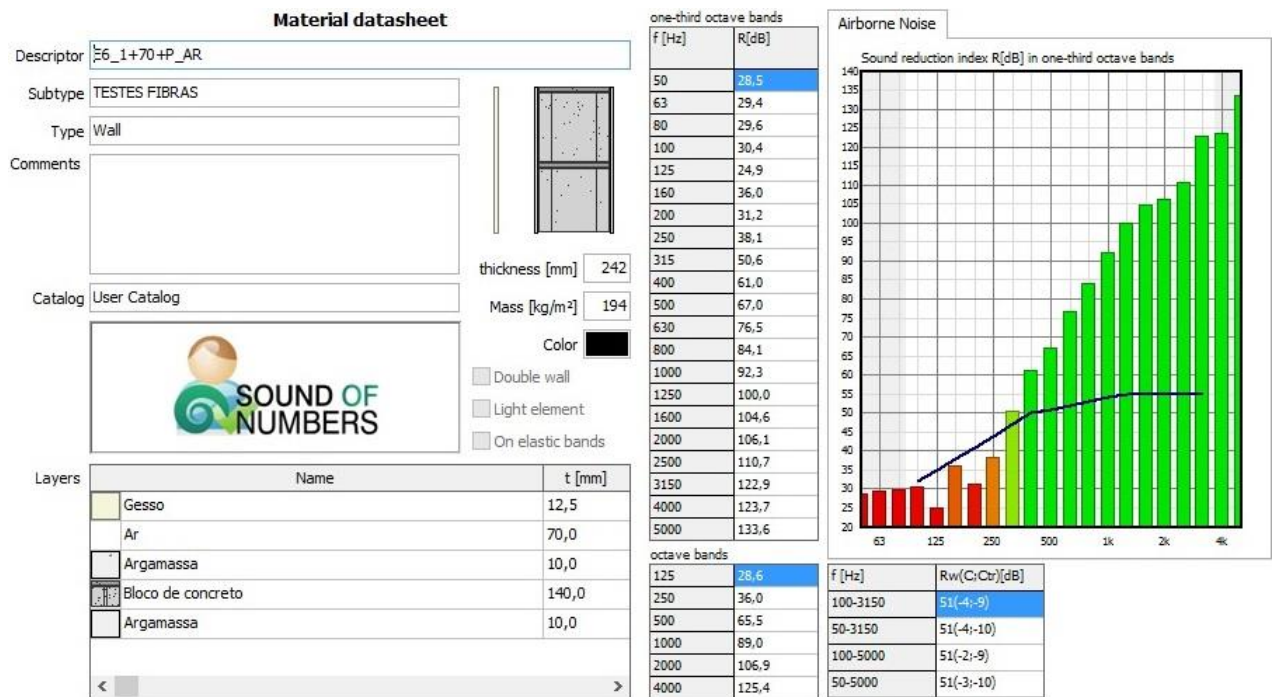
Fonte: Paim (2020).

Figura 78: Índice Rw amostra E5 (1 + 48 + P)



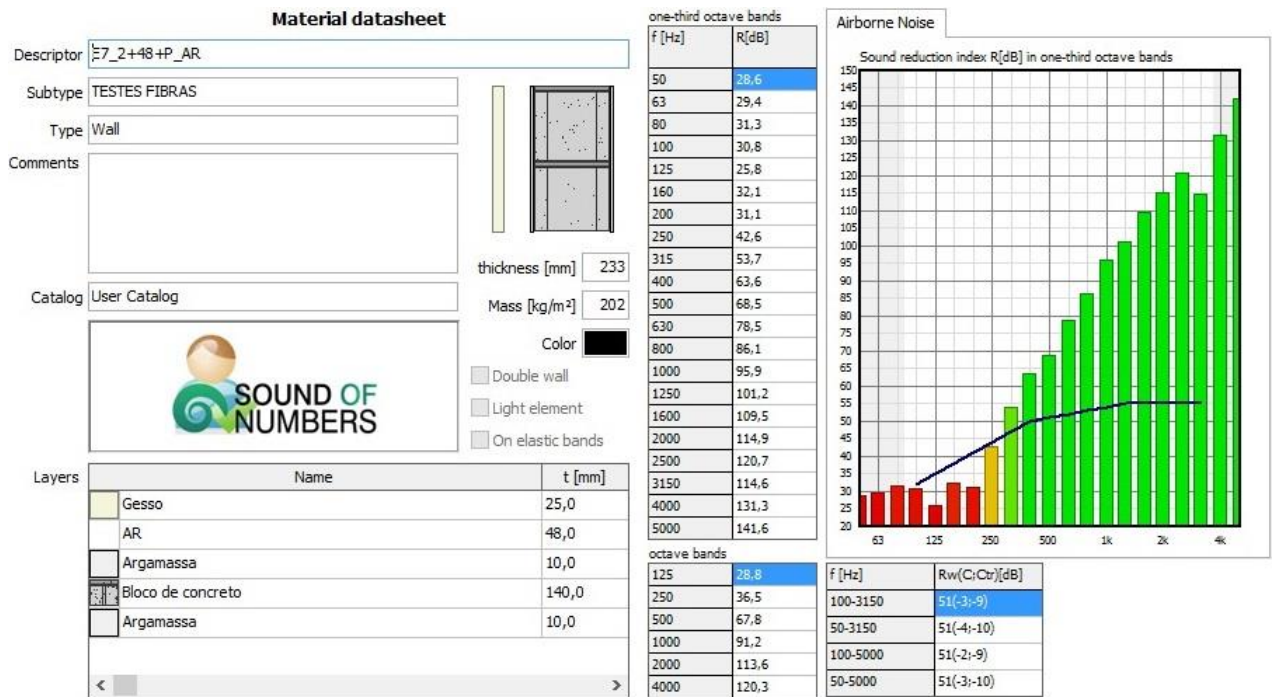
Fonte: Paim (2020).

Figura 79: Índice Rw amostra E6 (1 + 70 + P)



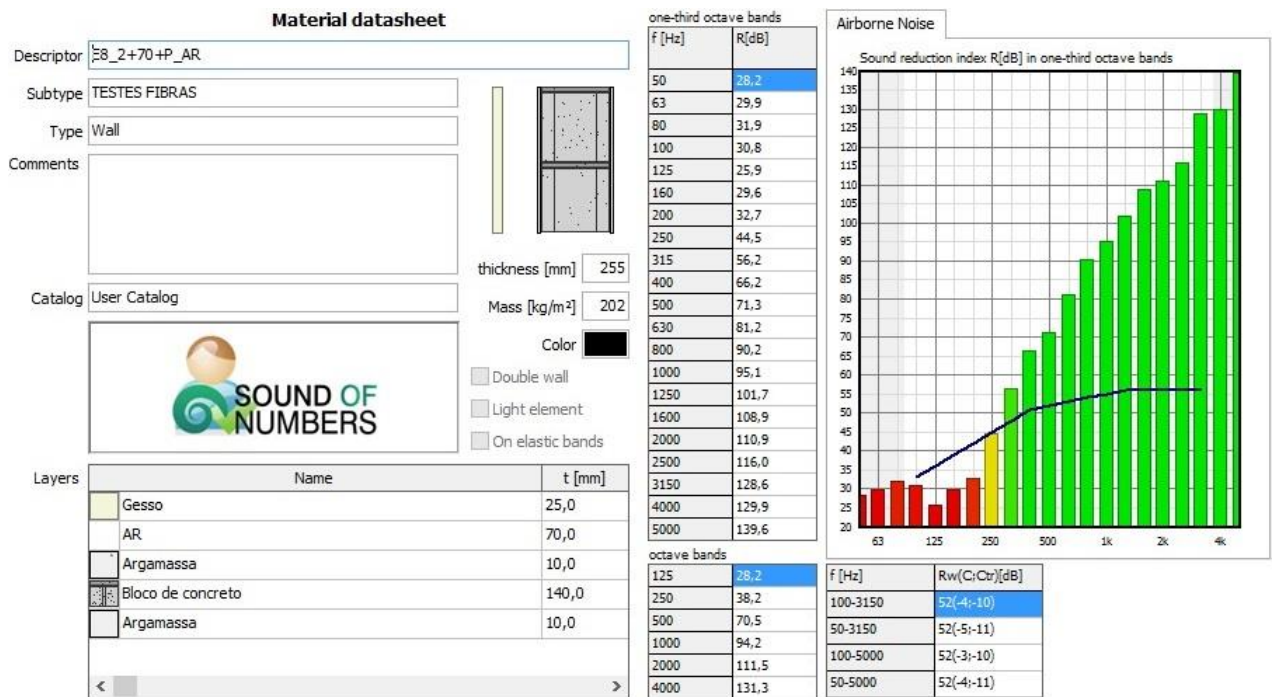
Fonte: Paim (2020).

Figura 80: Índice Rw amostra E7 (2 + 48 + P)



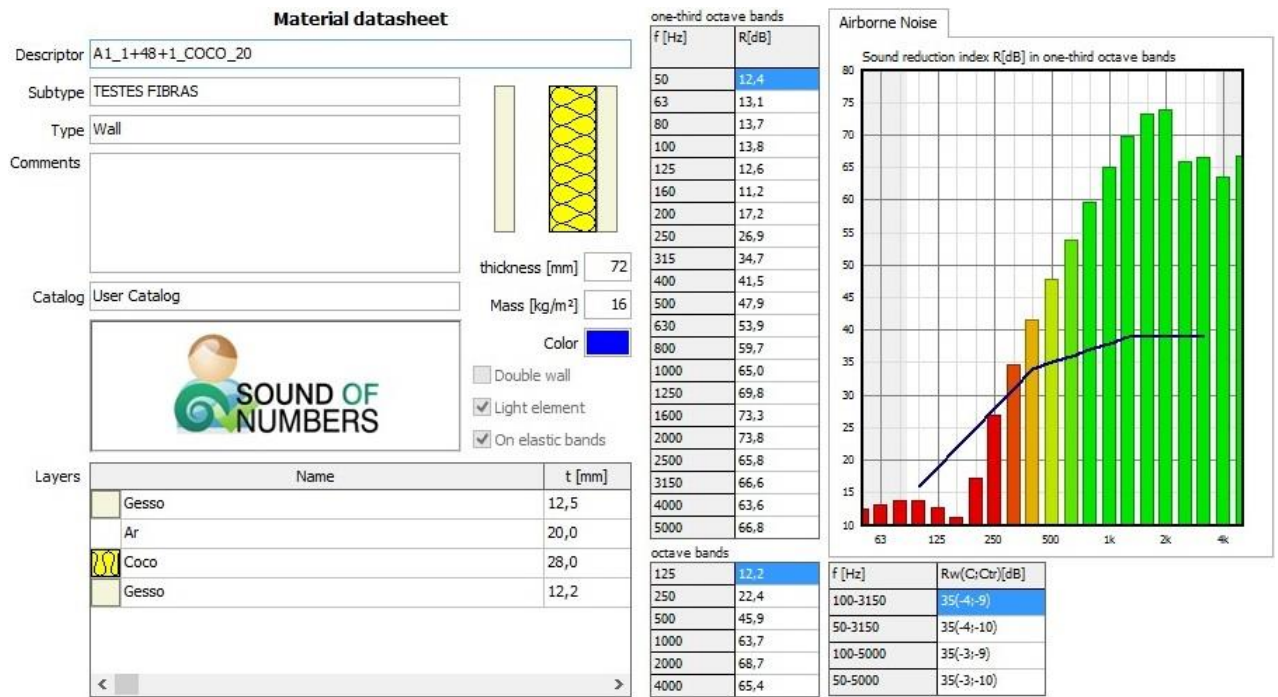
Fonte: Paim (2020).

Figura 81: Índice Rw amostra E8 (2 + 70 + P)



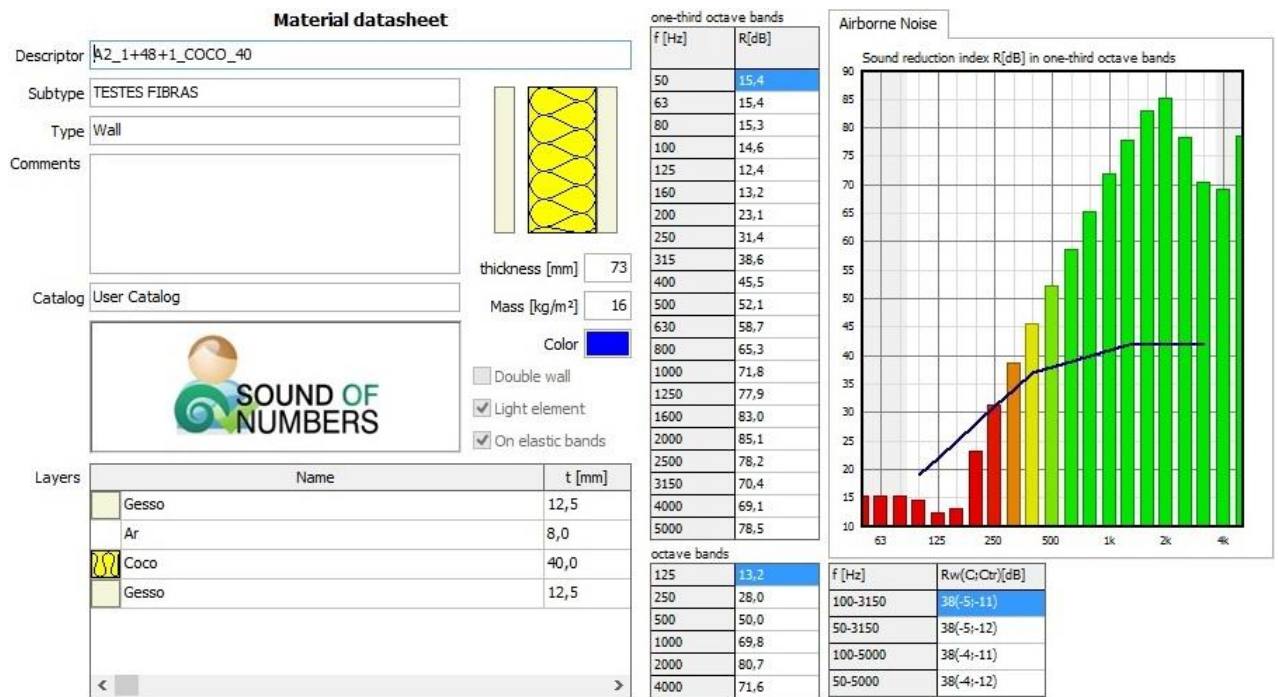
Fonte: Paim (2020).

Figura 82: Índice Rw amostra A1 (1 + 48 + 1)



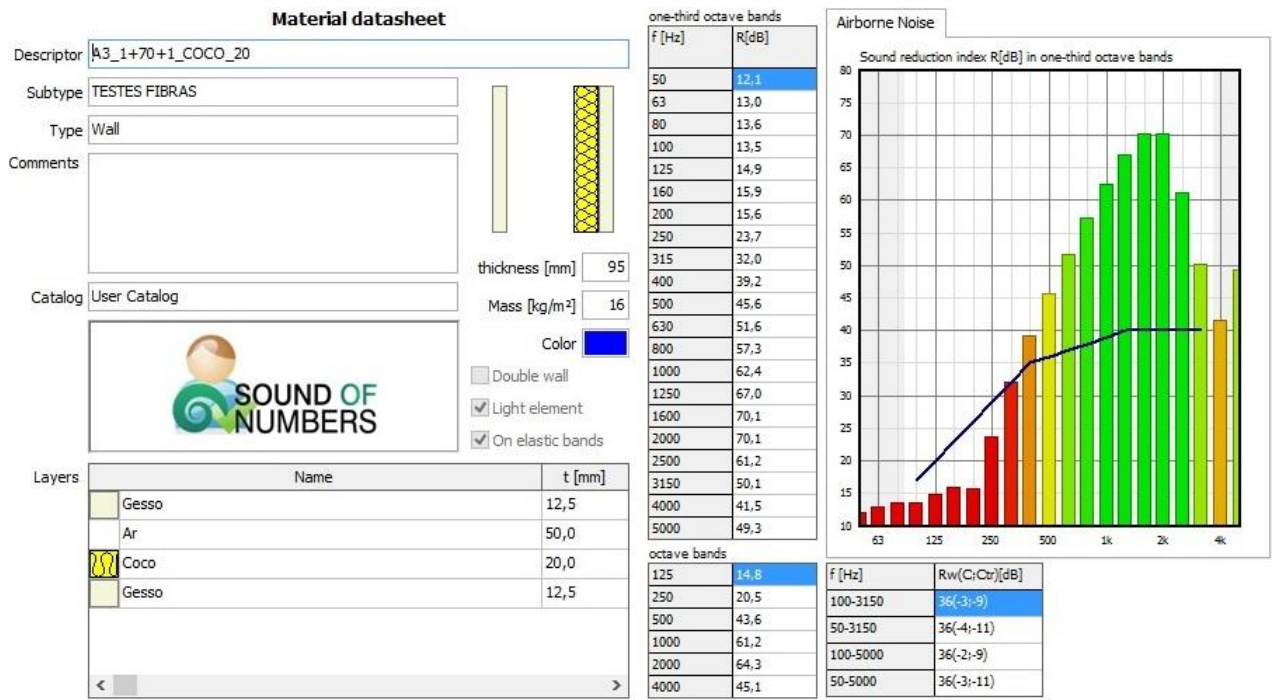
Fonte: Paim (2020).

Figura 83: Índice Rw amostra A2 (1 + 48 + 1)



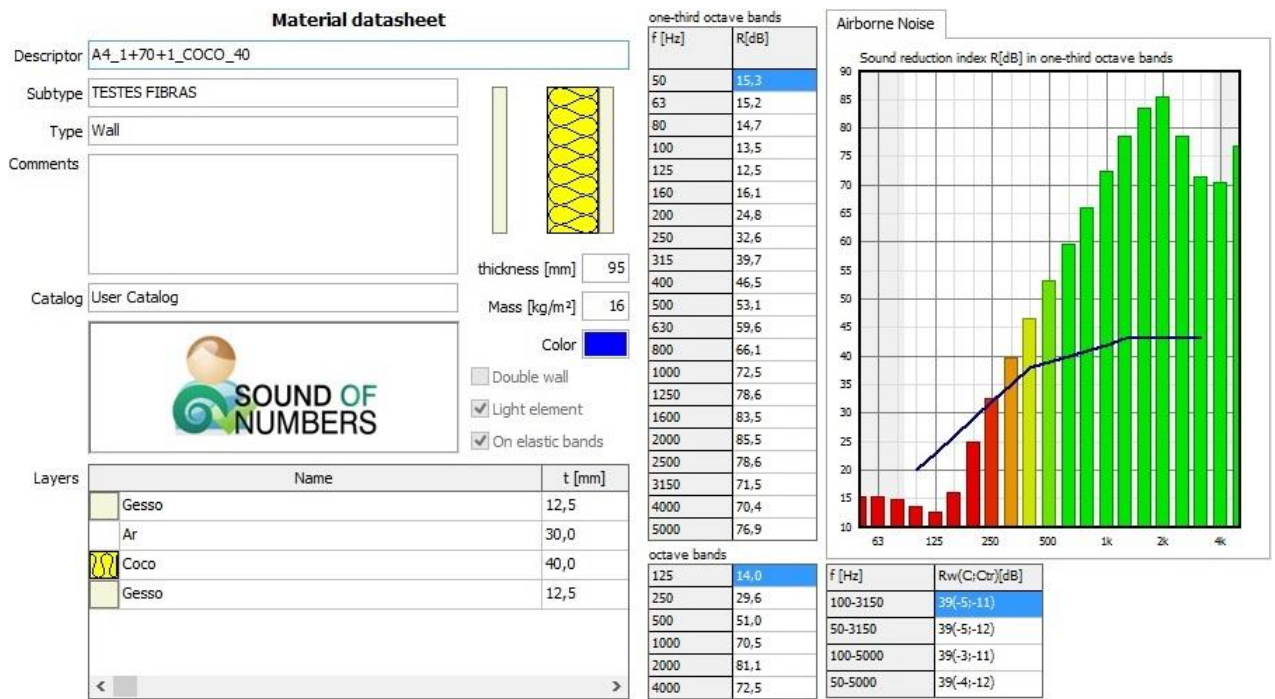
Fonte: Paim (2020).

Figura 84: Índice Rw amostra A3 (1 + 70 + 1)



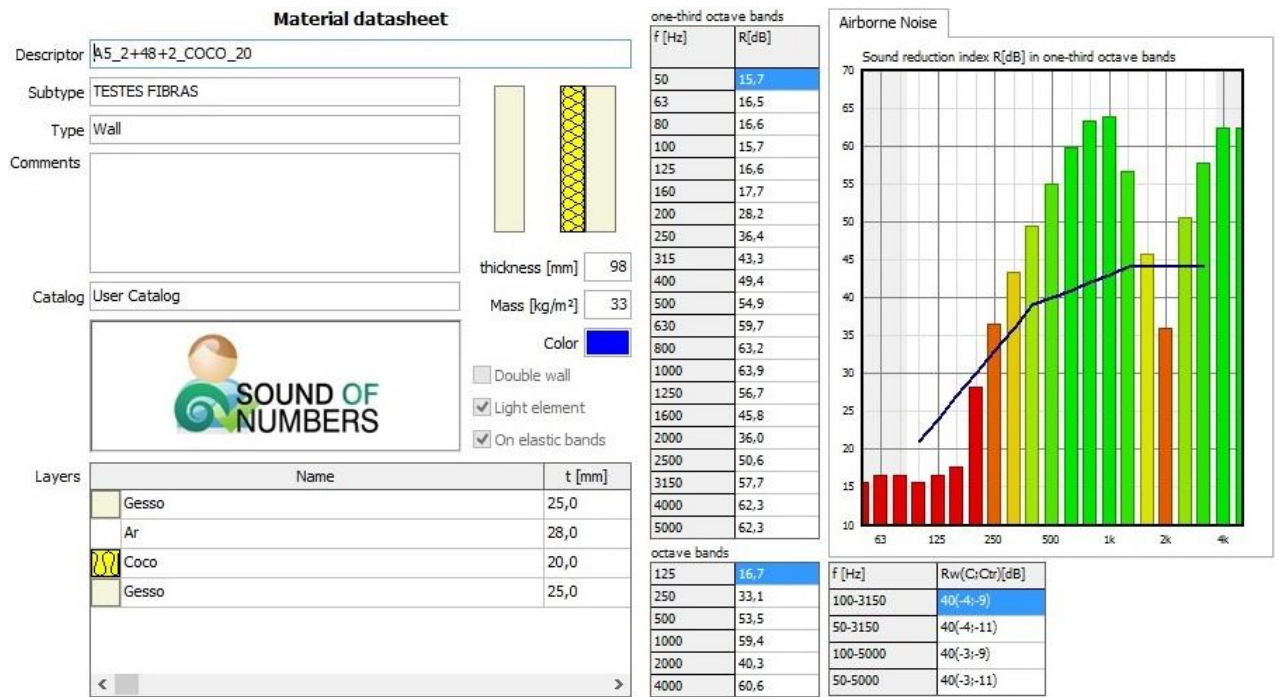
Fonte: Paim (2020).

Figura 85: Índice Rw amostra A4 (1 + 70 + 1)



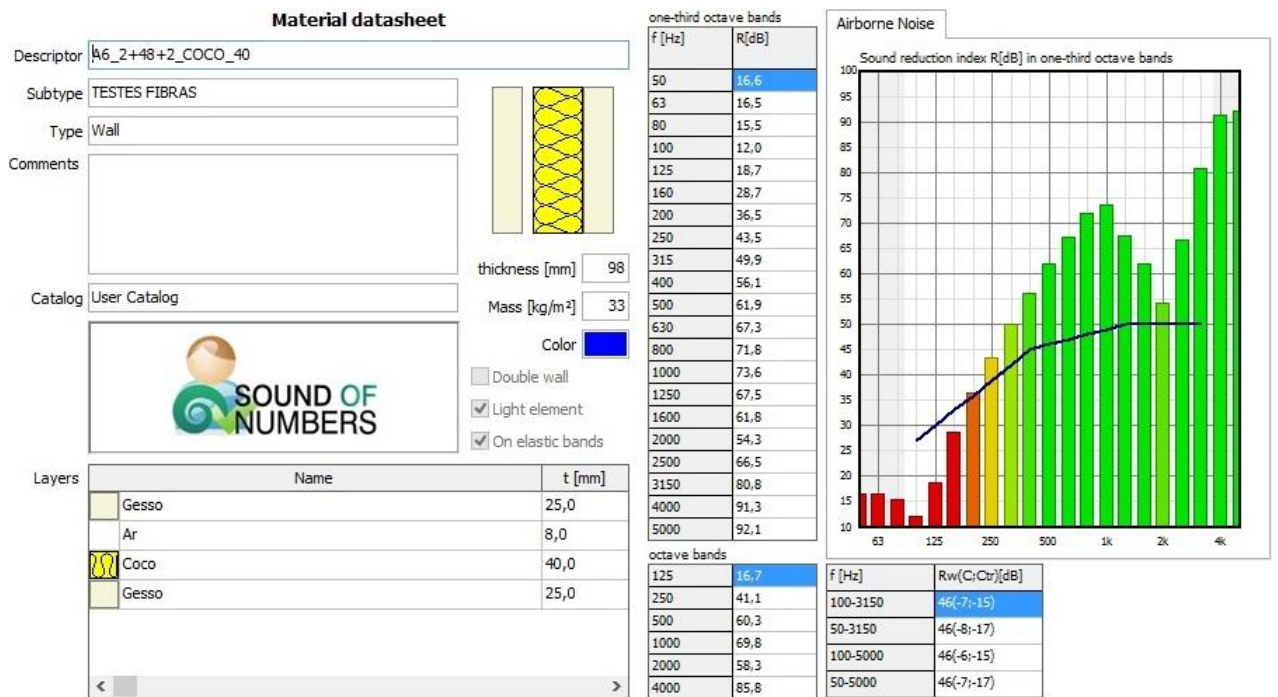
Fonte: Paim (2020).

Figura 86: Índice Rw amostra A5 (2 + 48 + 2)



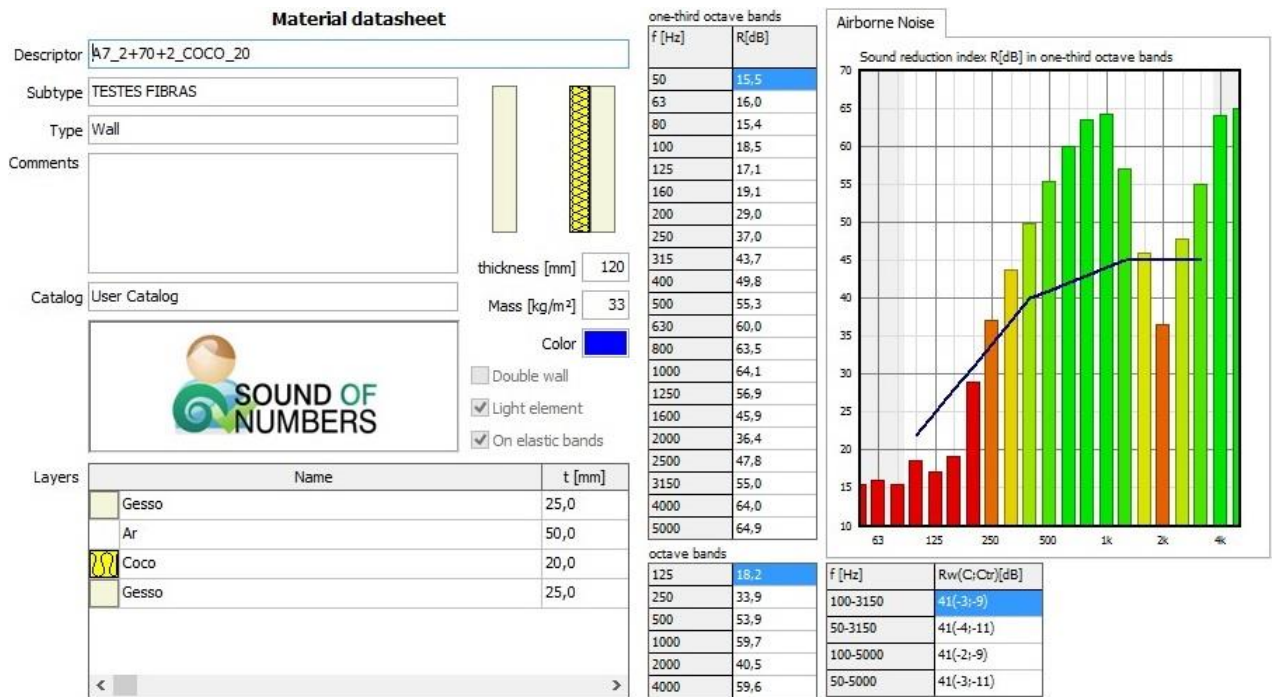
Fonte: Paim (2020).

Figura 87: Índice Rw amostra A6 (2 + 48 + 2)



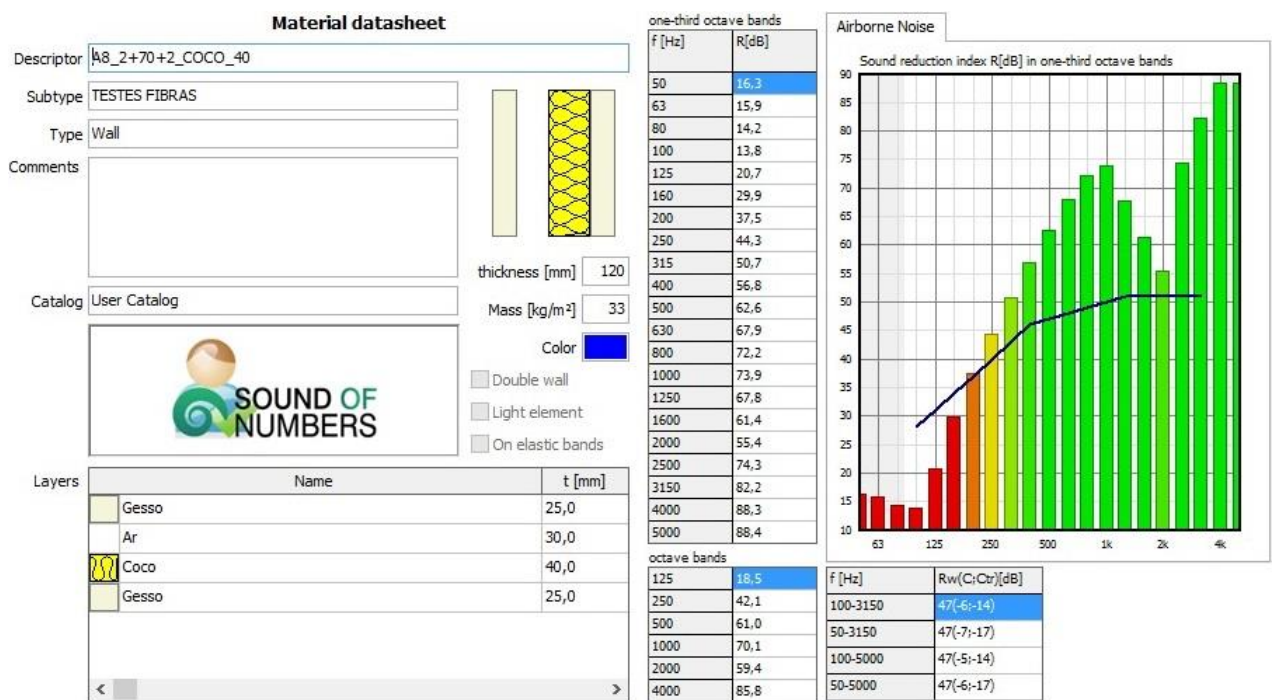
Fonte: Paim (2020).

Figura 88: Índice Rw amostra A7 (2 + 70 + 2)



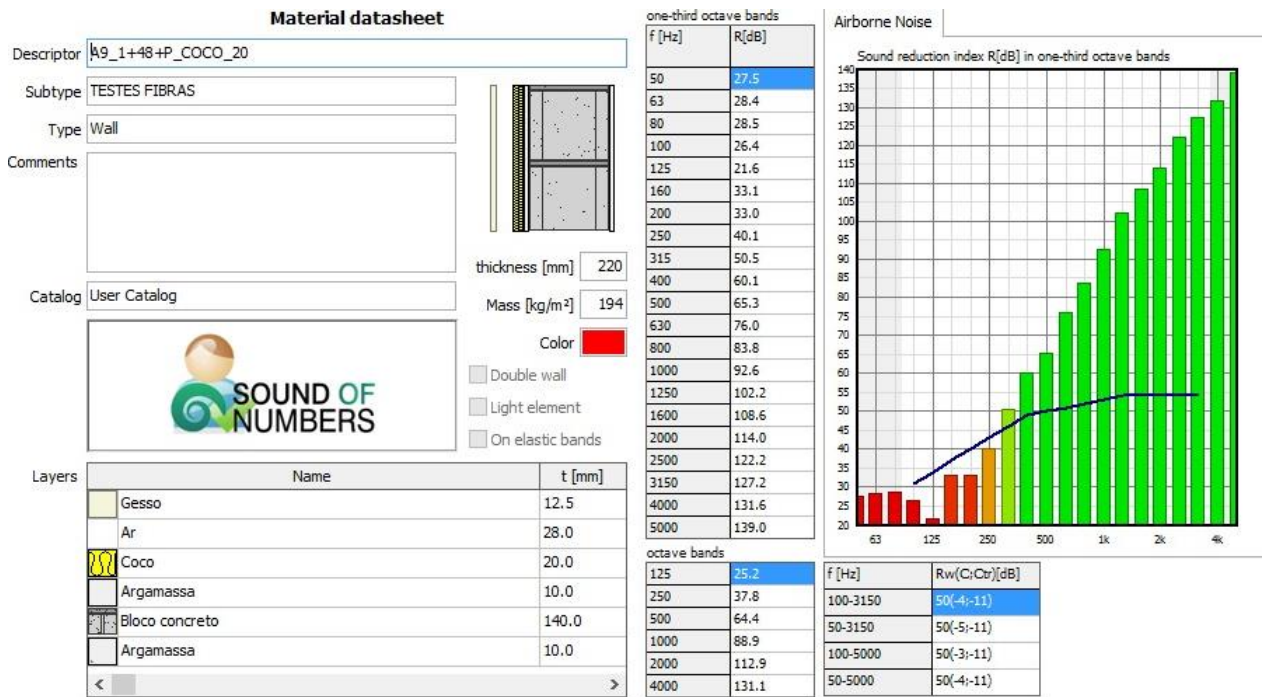
Fonte: Paim (2020).

Figura 89: Índice Rw amostra A8 (2 + 70 + 2)



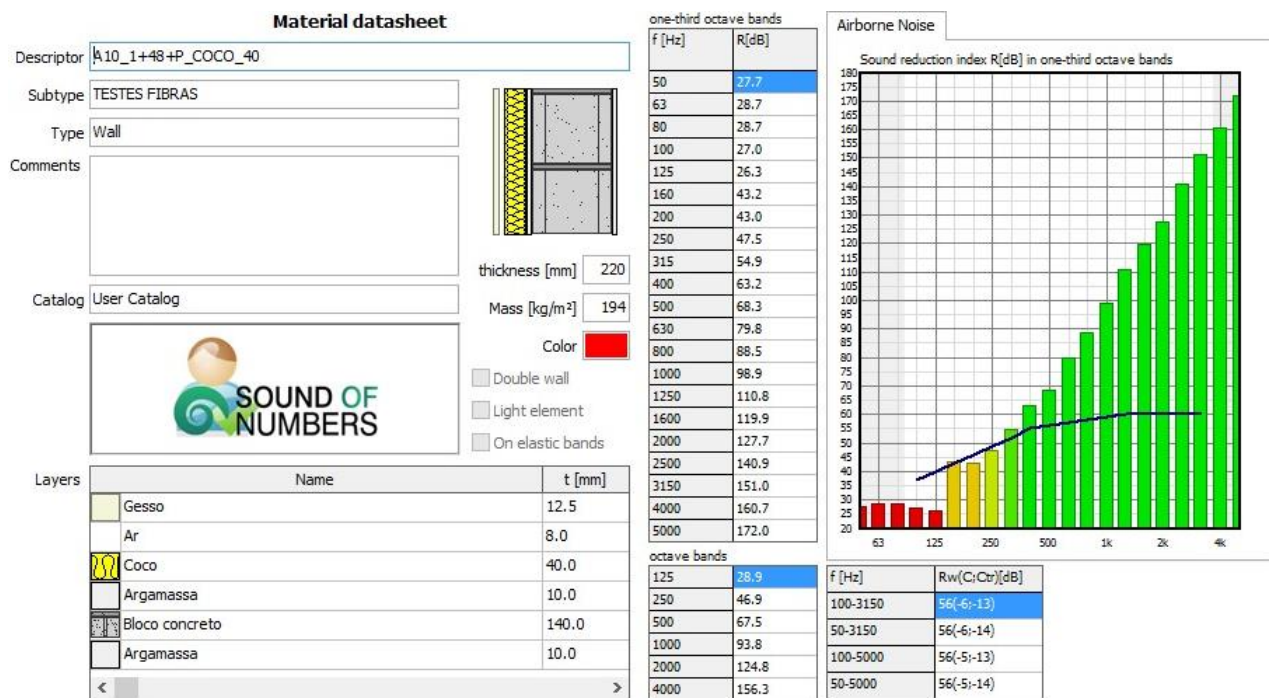
Fonte: Paim (2020).

Figura 90: Índice Rw amostra A9 (1 + 48 + P)



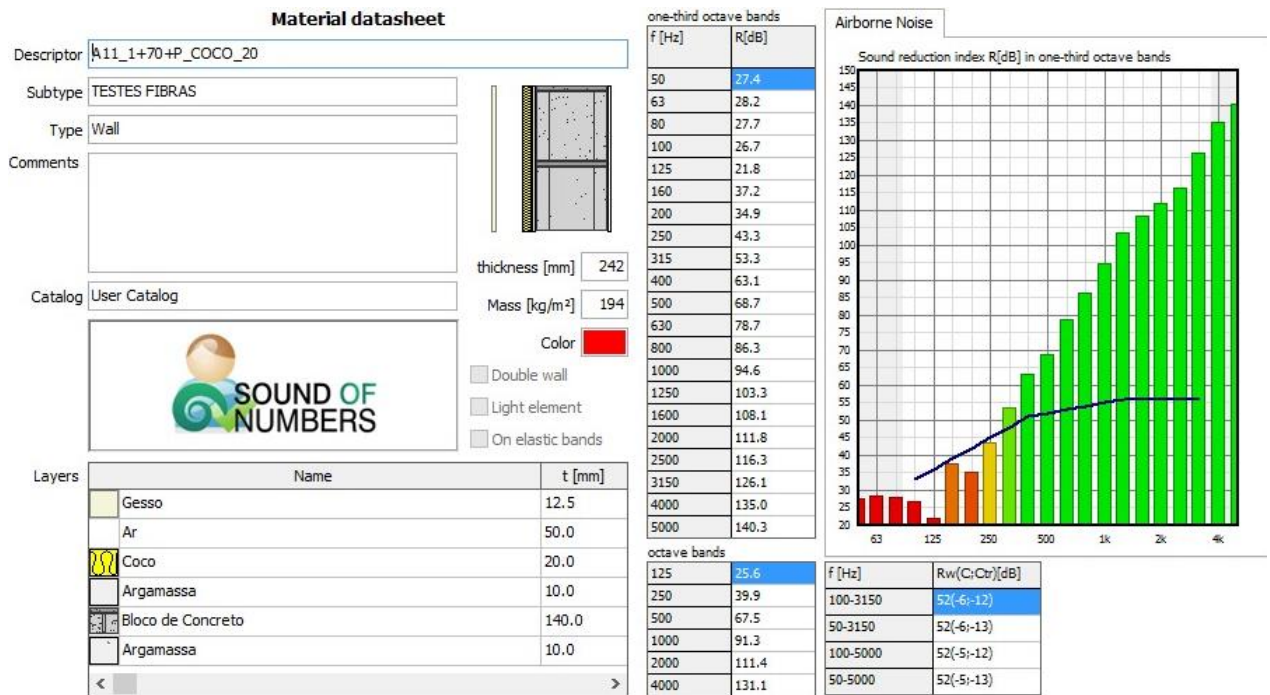
Fonte: Paim (2020).

Figura 91: Índice Rw amostra A10 (1 + 48 + P)



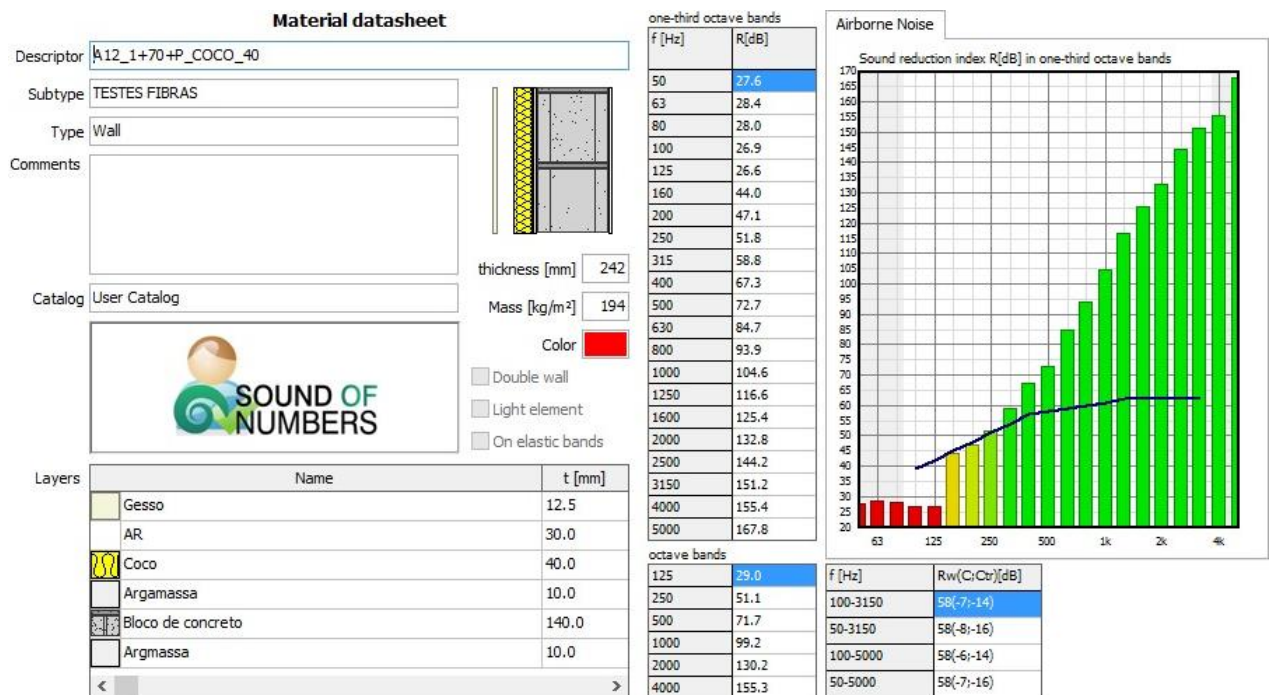
Fonte: Paim (2020).

Figura 92: Índice Rw amostra A11 (1 + 70 + P)



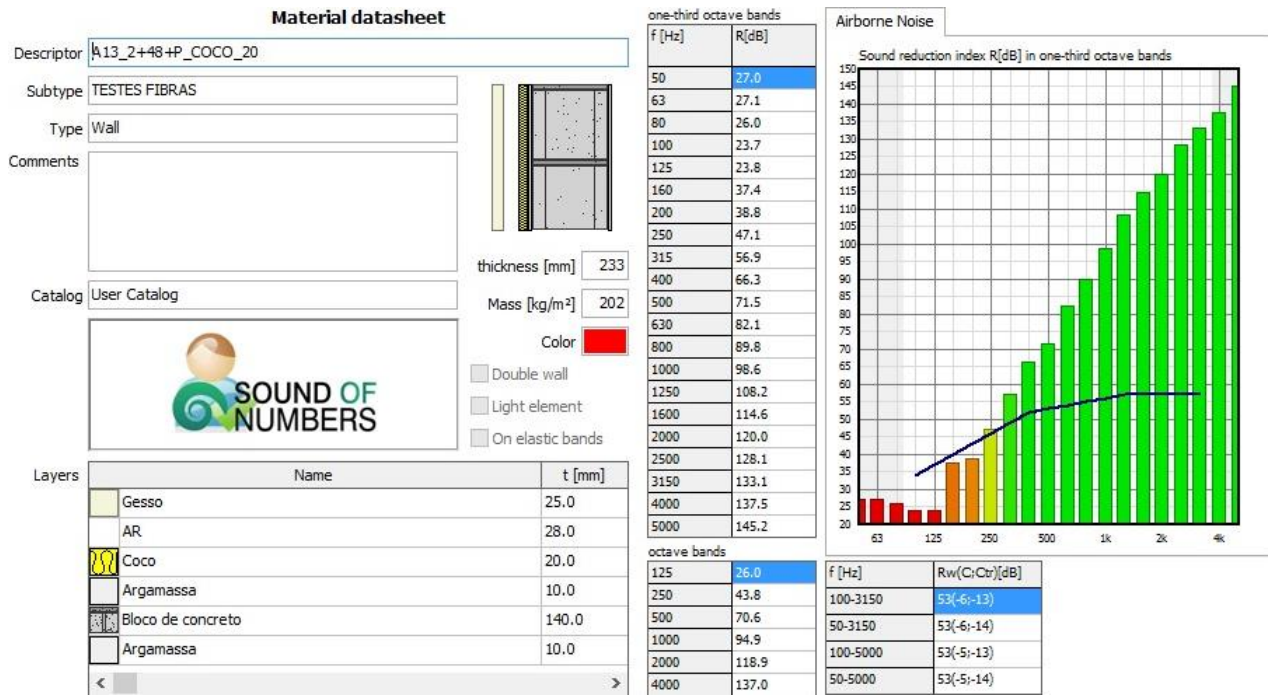
Fonte: Paim (2020).

Figura 93: Índice Rw amostra A12 (1 + 70 + P)



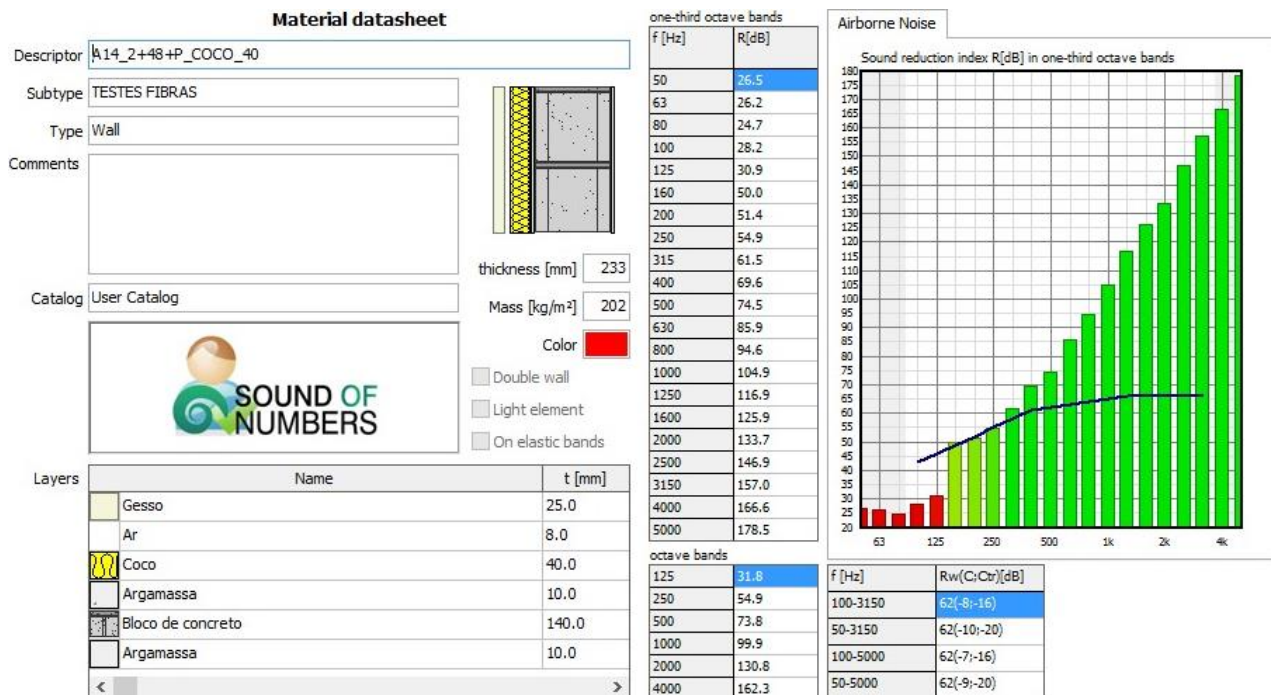
Fonte: Paim (2020).

Figura 94: Índice Rw amostra A13 (2 + 48 + P)



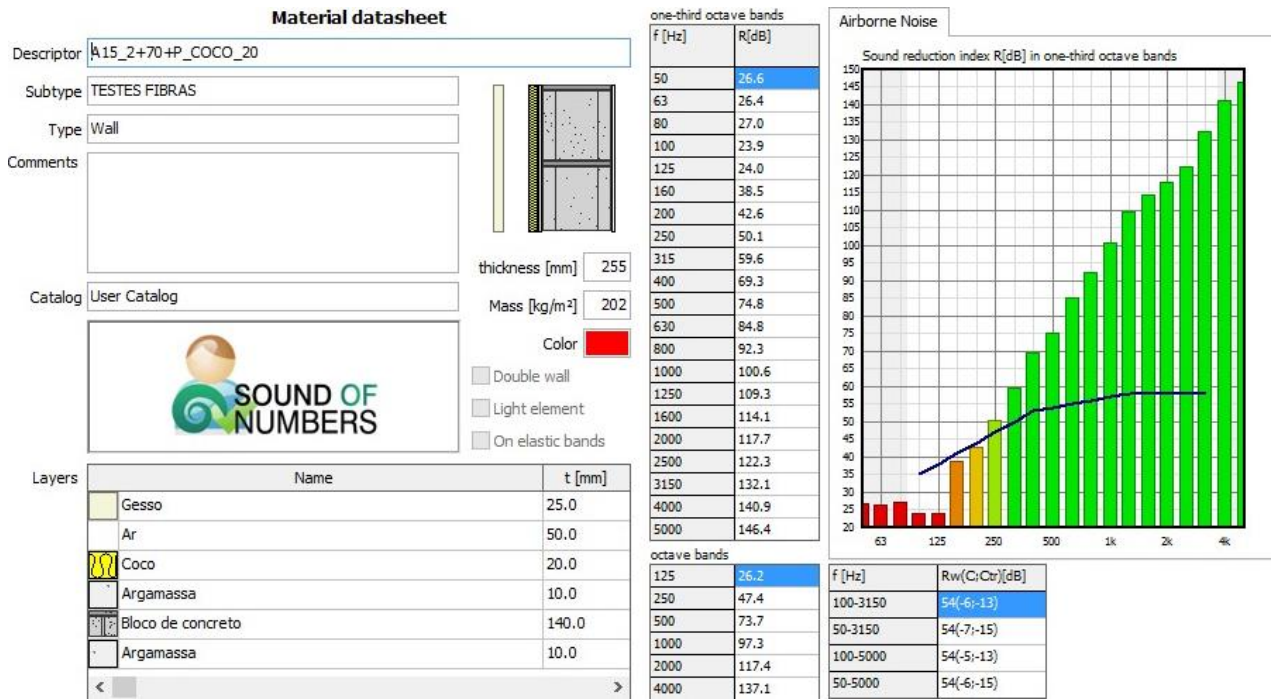
Fonte: Paim (2020).

Figura 95: Índice Rw amostra A14 (2 + 48 + P)



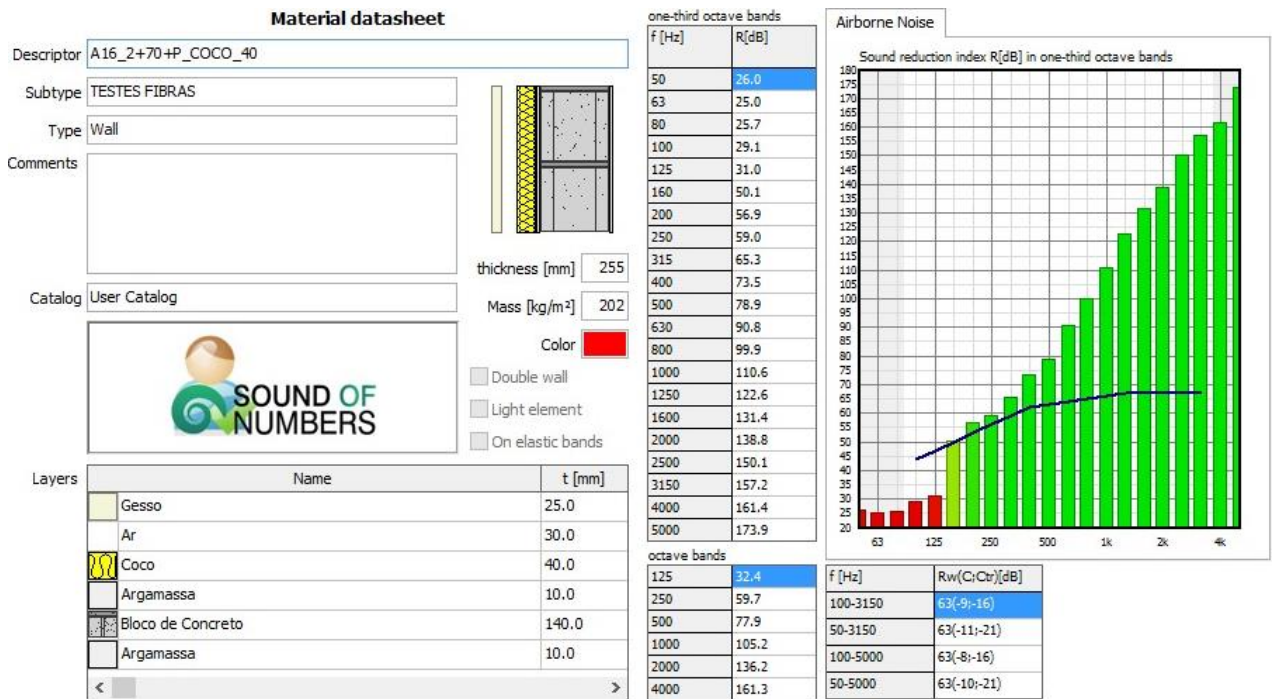
Fonte: Paim (2020).

Figura 96: Índice Rw amostra A15 (2 + 70 + P)



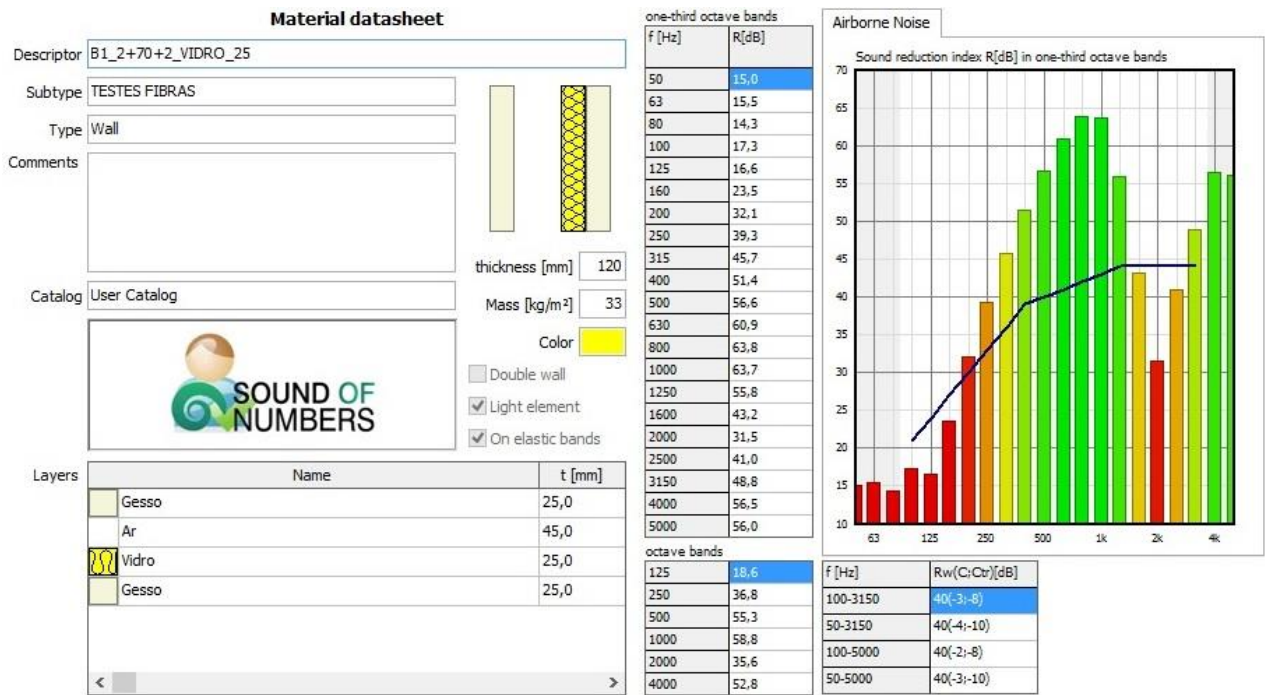
Fonte: Paim (2020).

Figura 97: Índice Rw amostra A16 (2 + 70 + P)



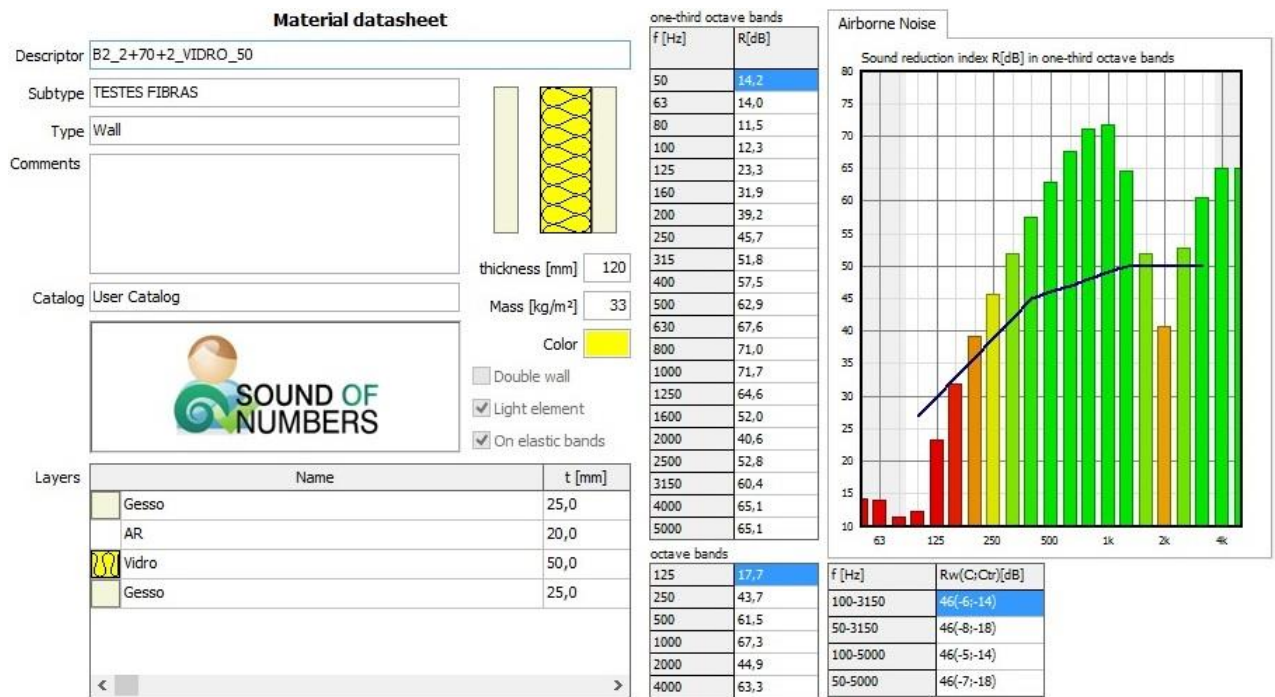
Fonte: Paim (2020).

Figura 98: Índice Rw amostra B1 (2 + 70 + P)



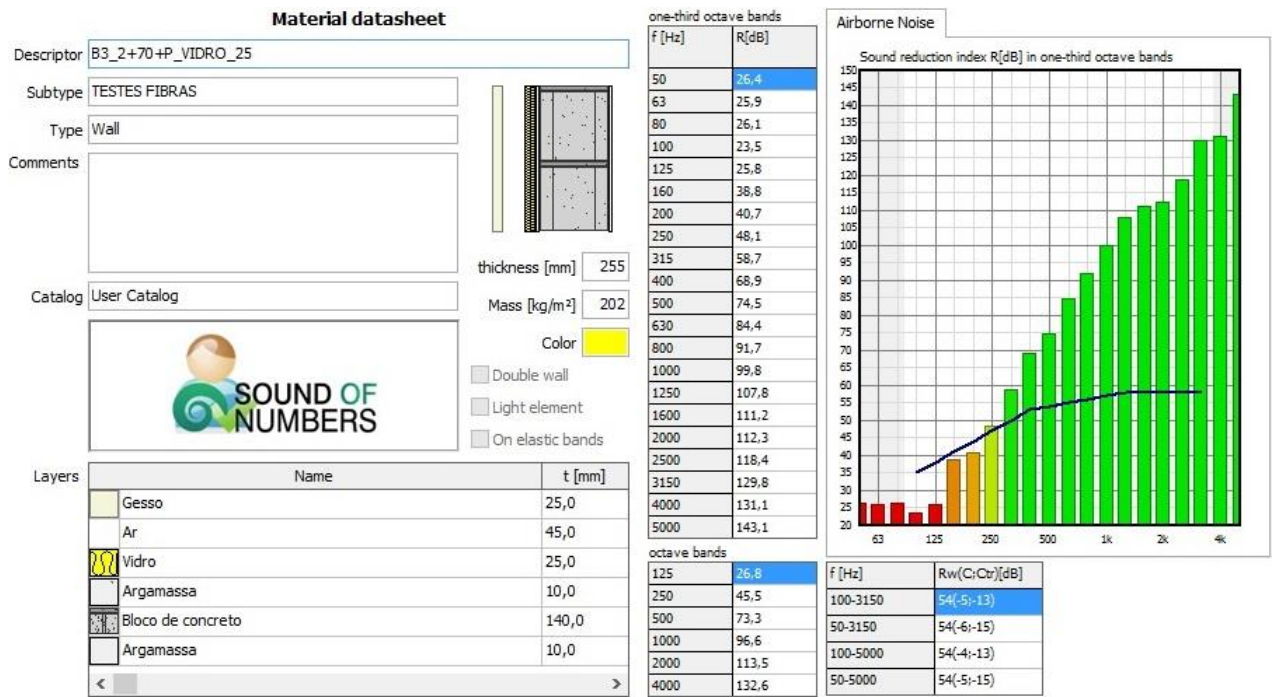
Fonte: Paim (2020).

Figura 99: Índice Rw amostra B2 (2 + 70 + 2)



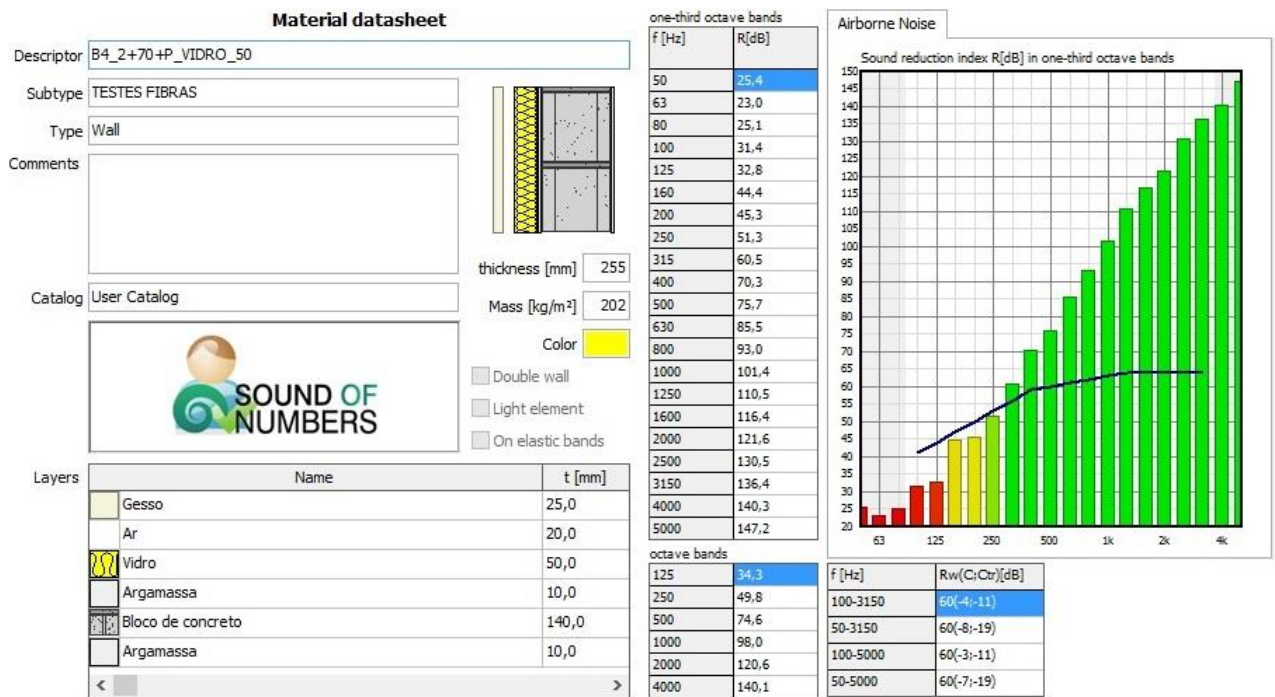
Fonte: Paim (2020).

Figura 100: Índice Rw amostra B3 (2 + 70 + P)



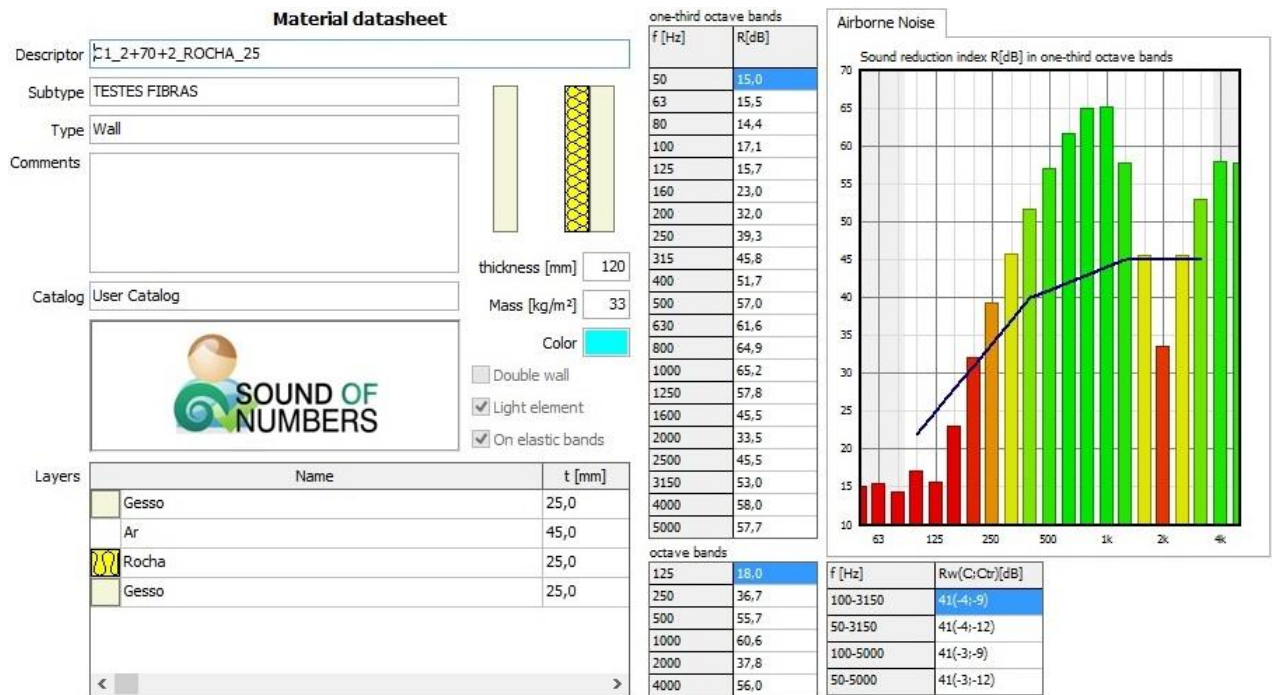
Fonte: Paim (2020).

Figura 101: Índice Rw amostra B4 (2 + 70 + P)



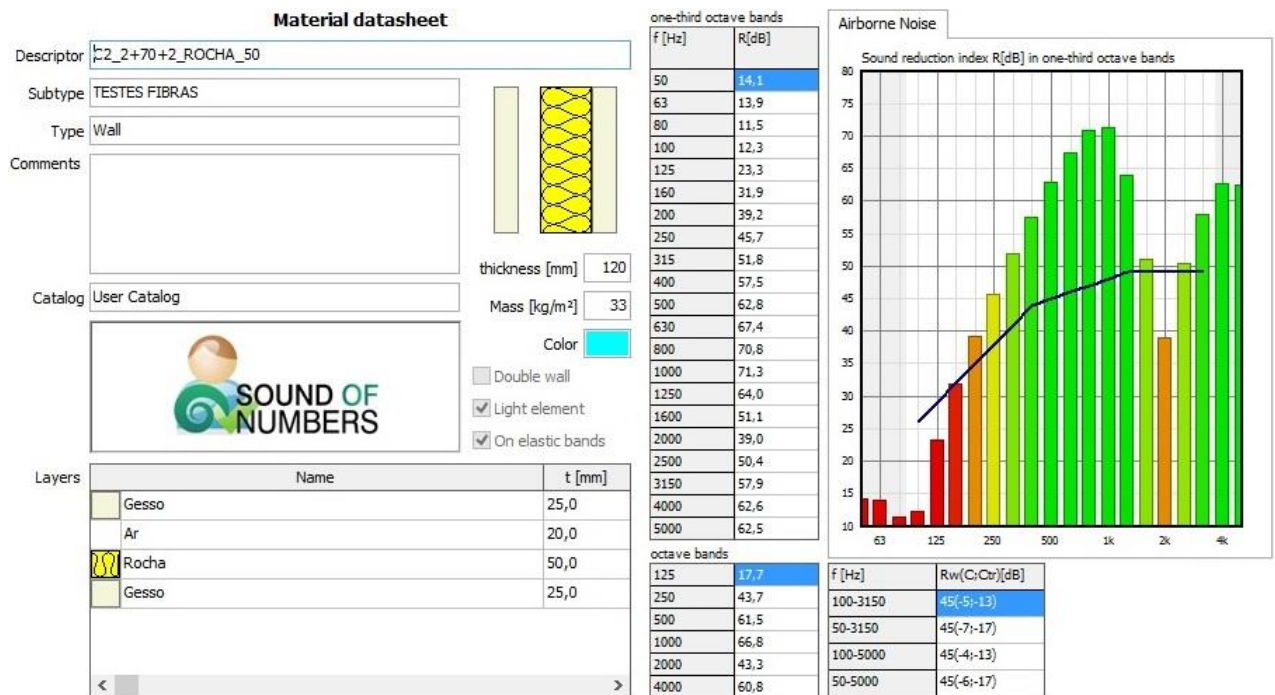
Fonte: Paim (2020).

Figura 102: Índice Rw amostra C1 (2 + 70 + 2)



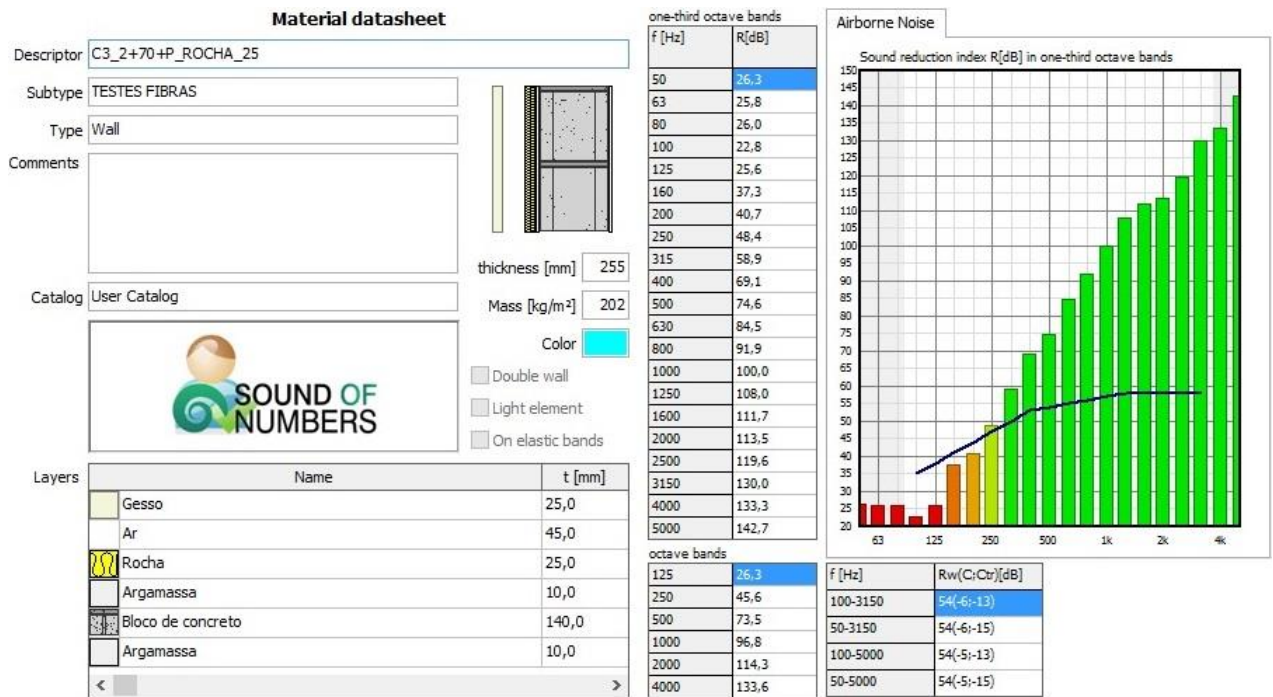
Fonte: Paim (2020).

Figura 1.30 Índice Rw amostra C2 (2 + 70 + 2)



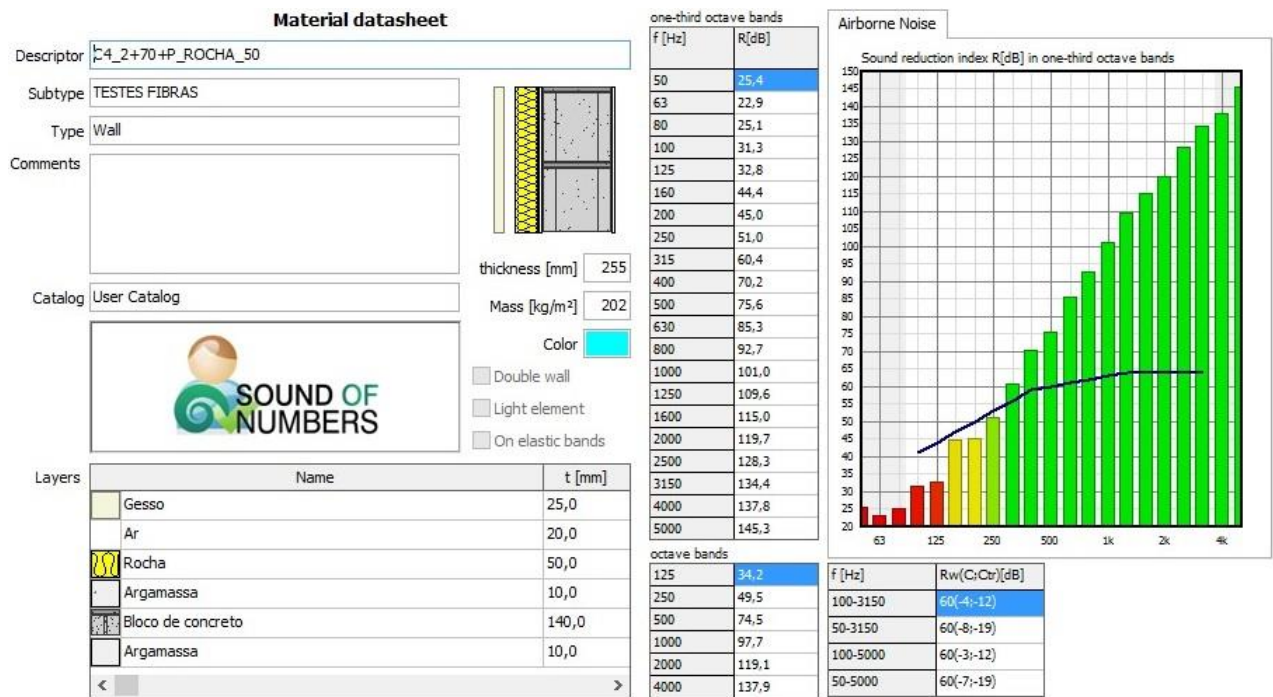
Fonte: Paim (2020).

Figura 103: Índice Rw amostra C3 (2 + 70 + P)



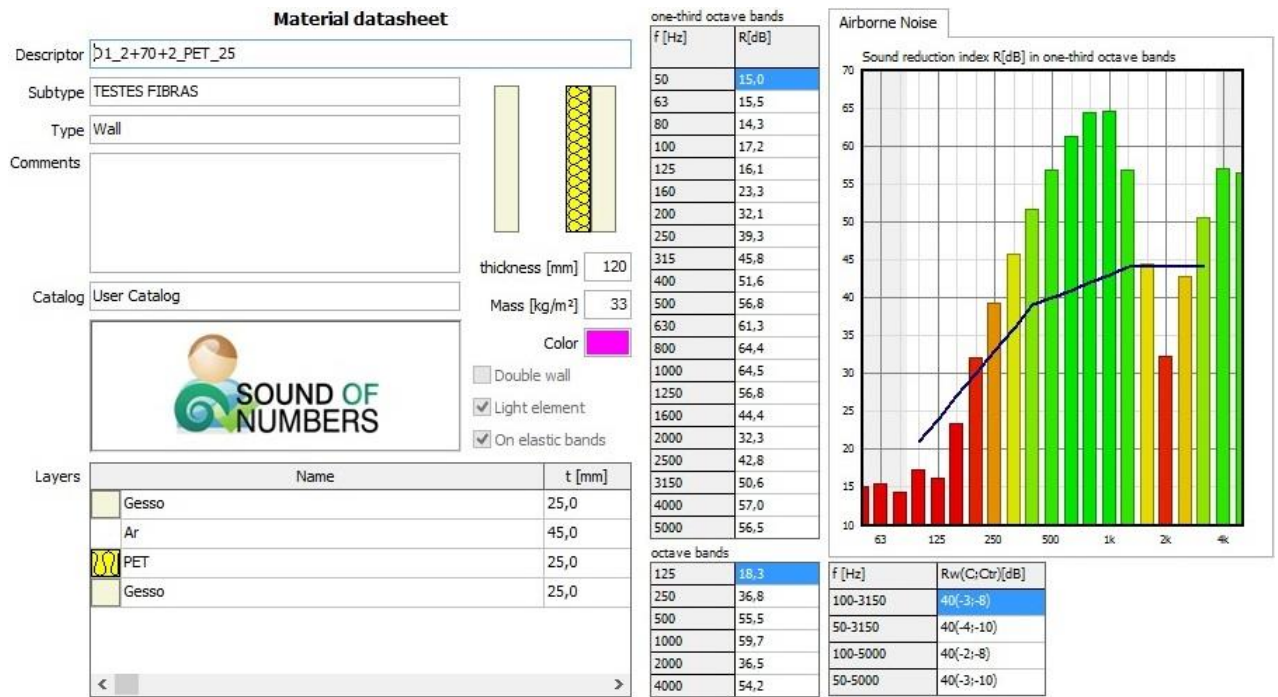
Fonte: Paim (2020).

Figura 104: Índice Rw amostra C4 (2 + 70 + P)



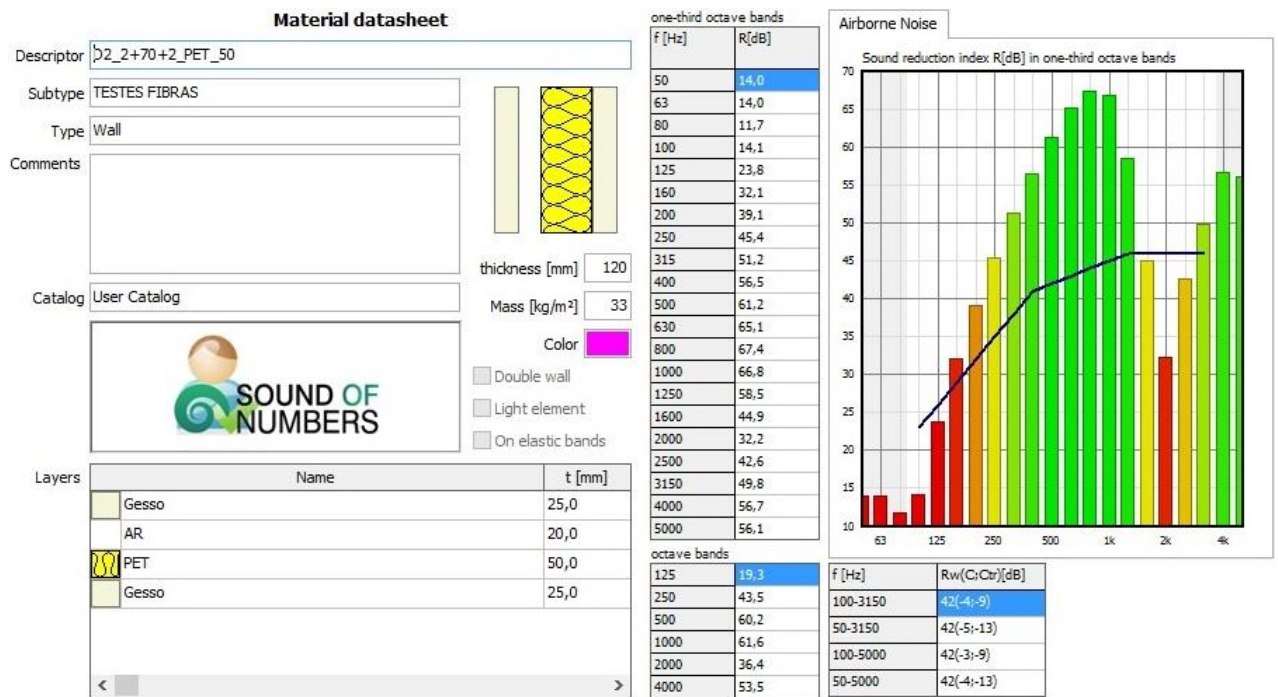
Fonte: Paim (2020).

Figura 105: Índice Rw amostra D1 (2 + 70 + 2)



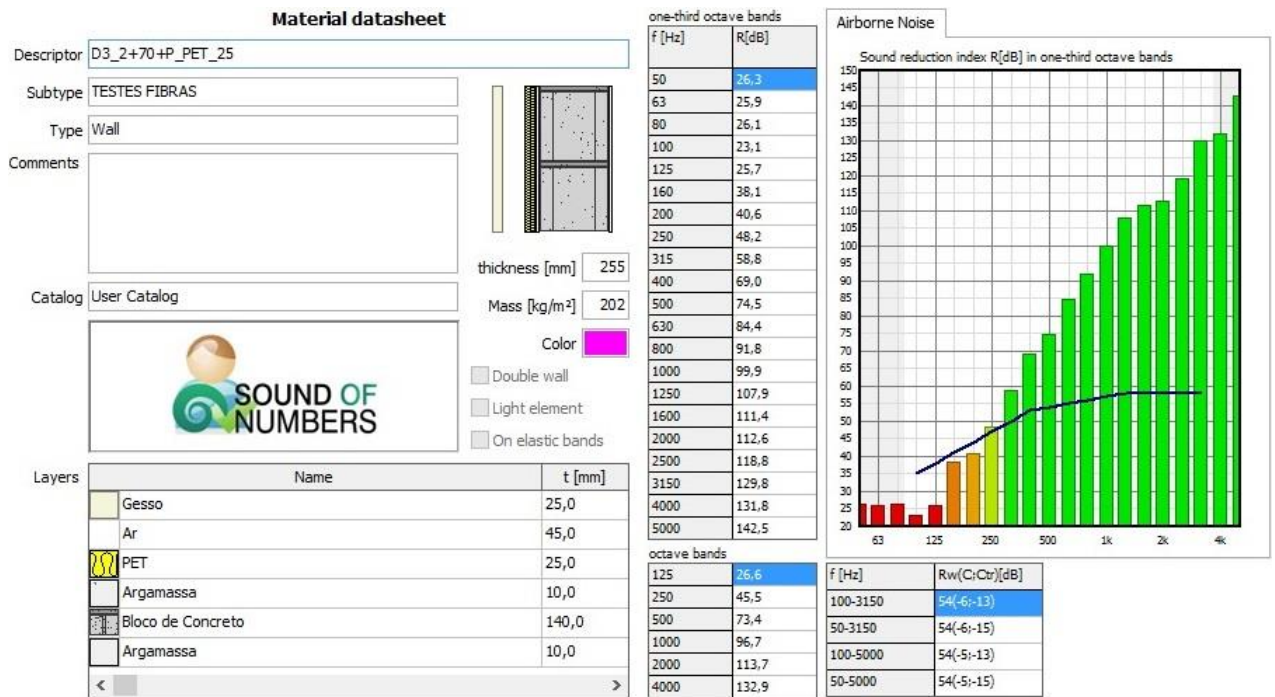
Fonte: Paim (2020).

Figura 106: Índice Rw amostra D2 (2 + 70 + 2)



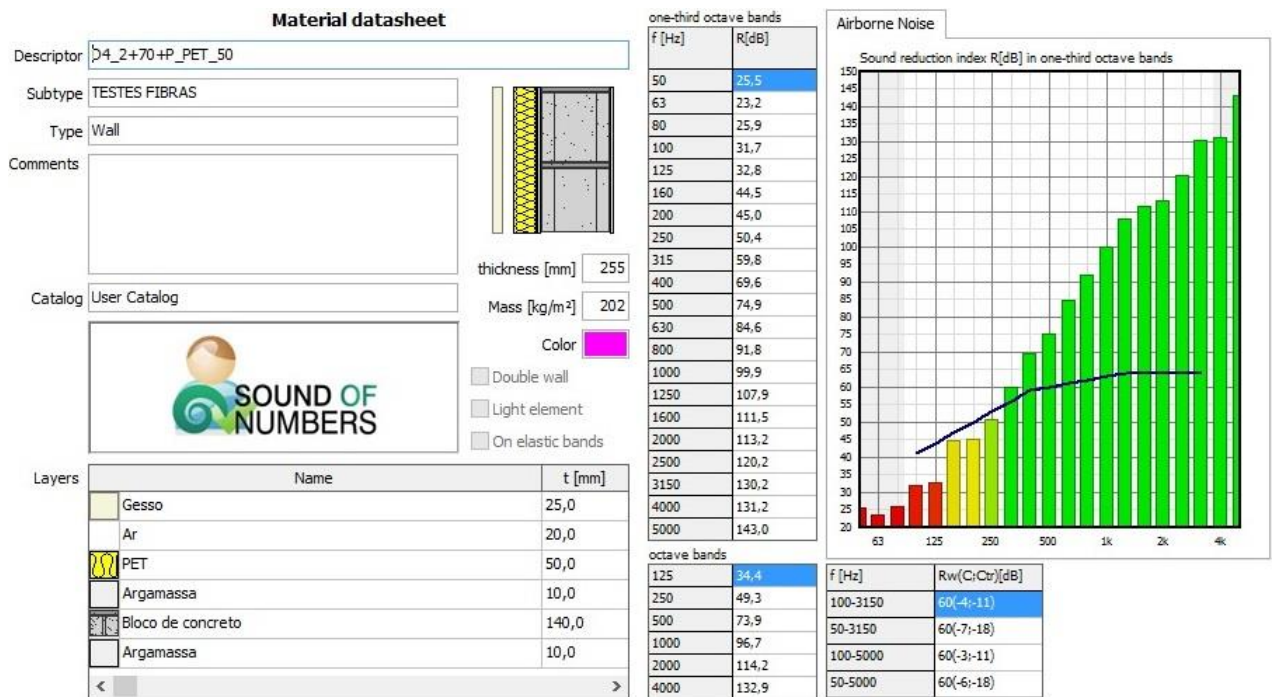
Fonte: Paim (2020).

Figura 107: Índice Rw amostra D3 (2 + 70 + P)



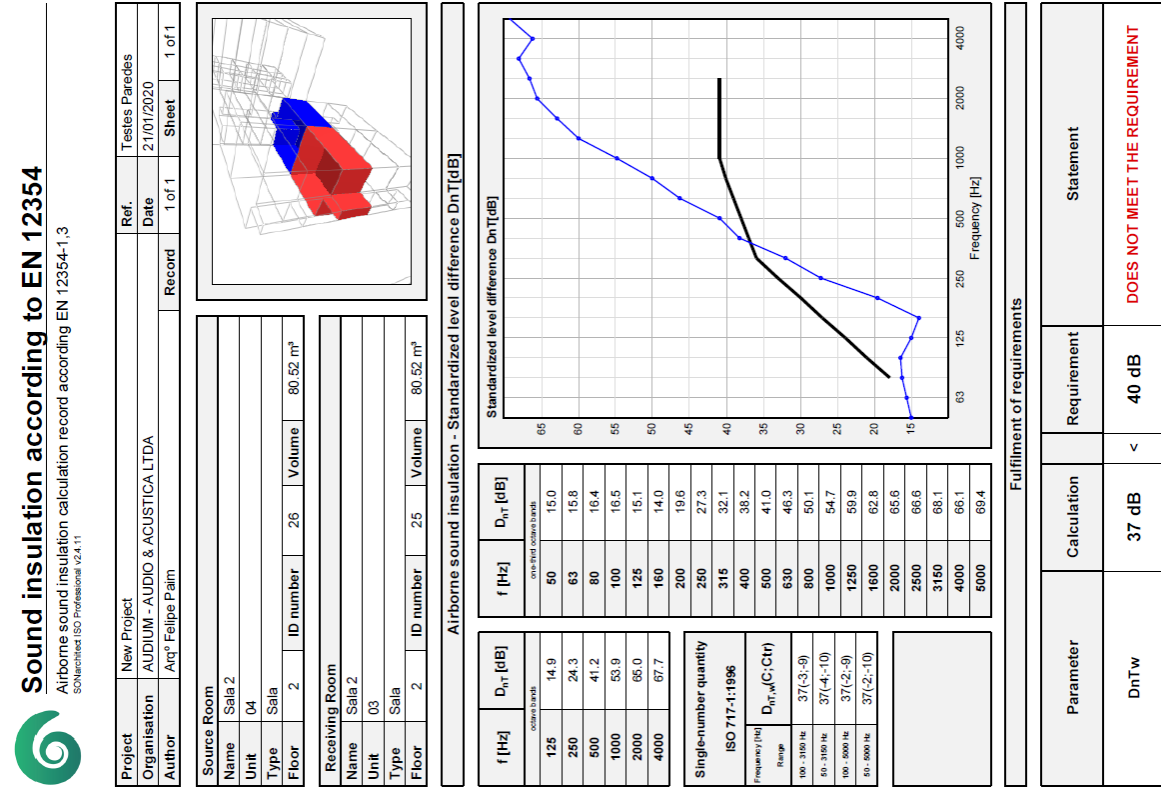
Fonte: Paim (2020).

Figura 108: Índice Rw amostra D4 (2 + 70 + P)



Fonte: Paim (2020).

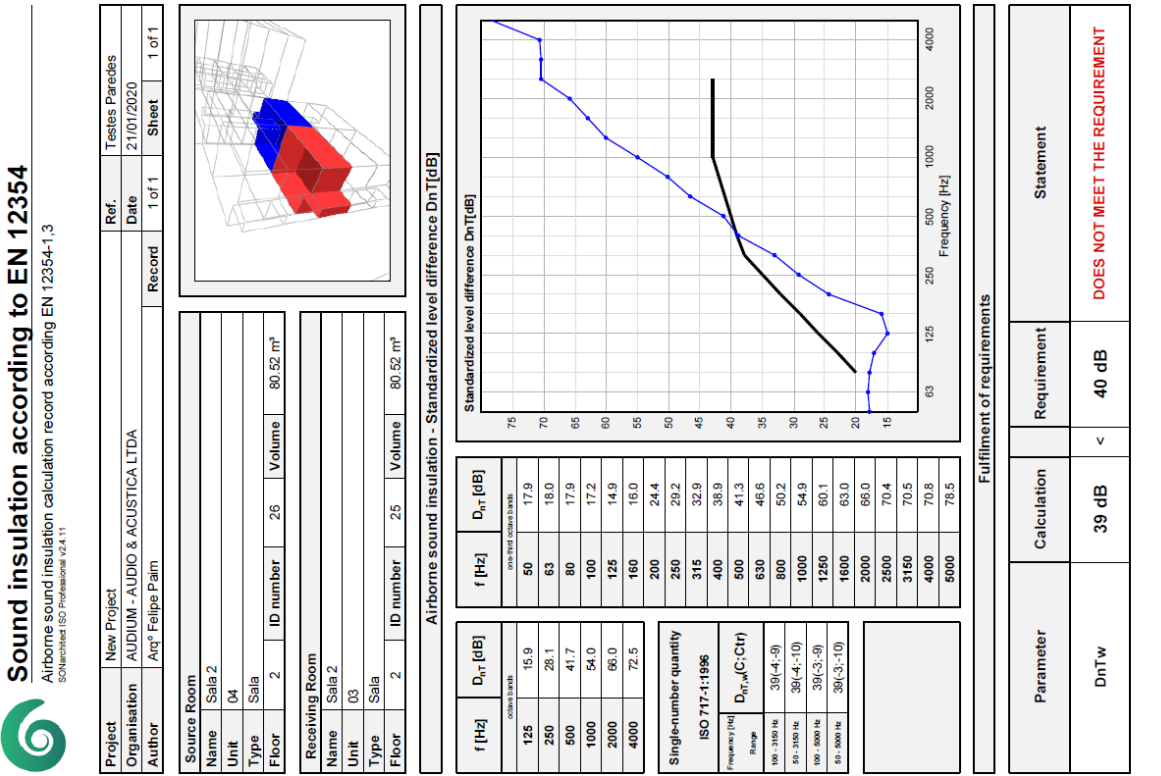
Figura 109: Índice Dnt,w amostra A1 – Sala - Classe Média



Report generated with SOMtechtest ISO - Sound of Numbers S.L. - www.somtechtest.com - Copy licensed to Cleora Barreto - AUDIUM - AUDIO & ACUSTICA LTDA

Fonte: Paim (2020).

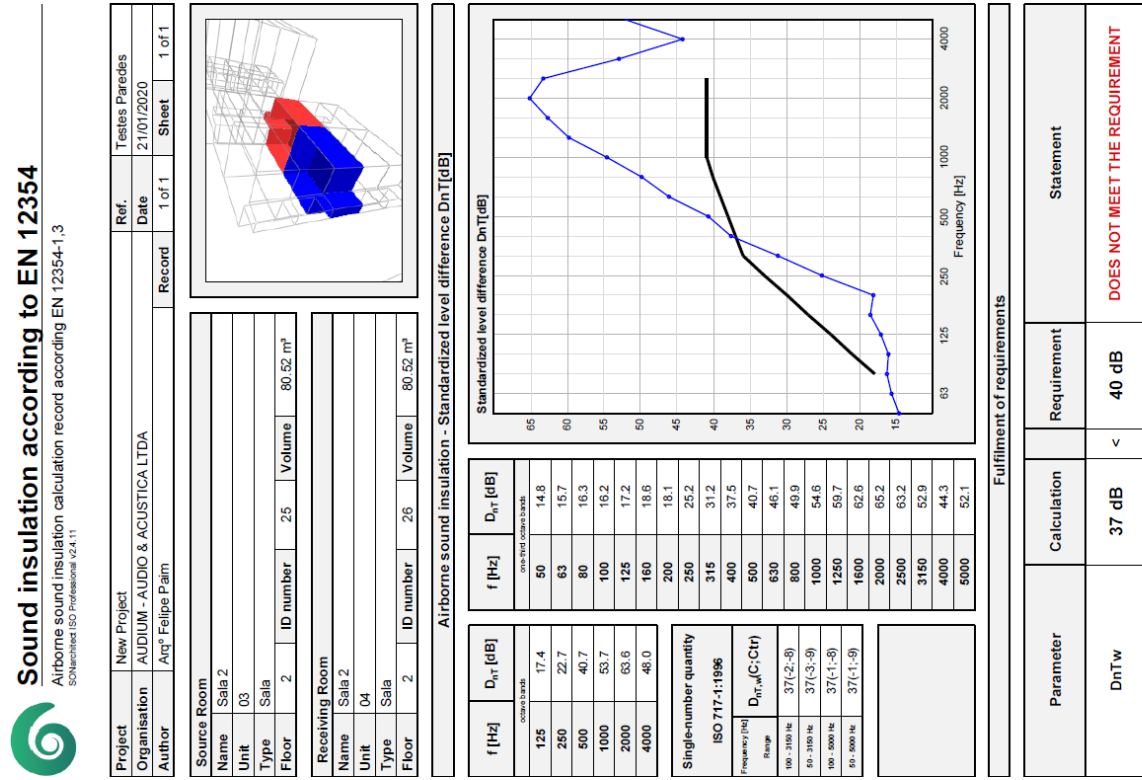
Figura 110: Índice Dnt,w amostra A2 – Sala - Classe Média



Report generated with SOMtechtest ISO - Sound of Numbers S.L. - www.somtechtest.com - Copy licensed to Cleora Barreto - AUDIUM - AUDIO & ACUSTICA LTDA

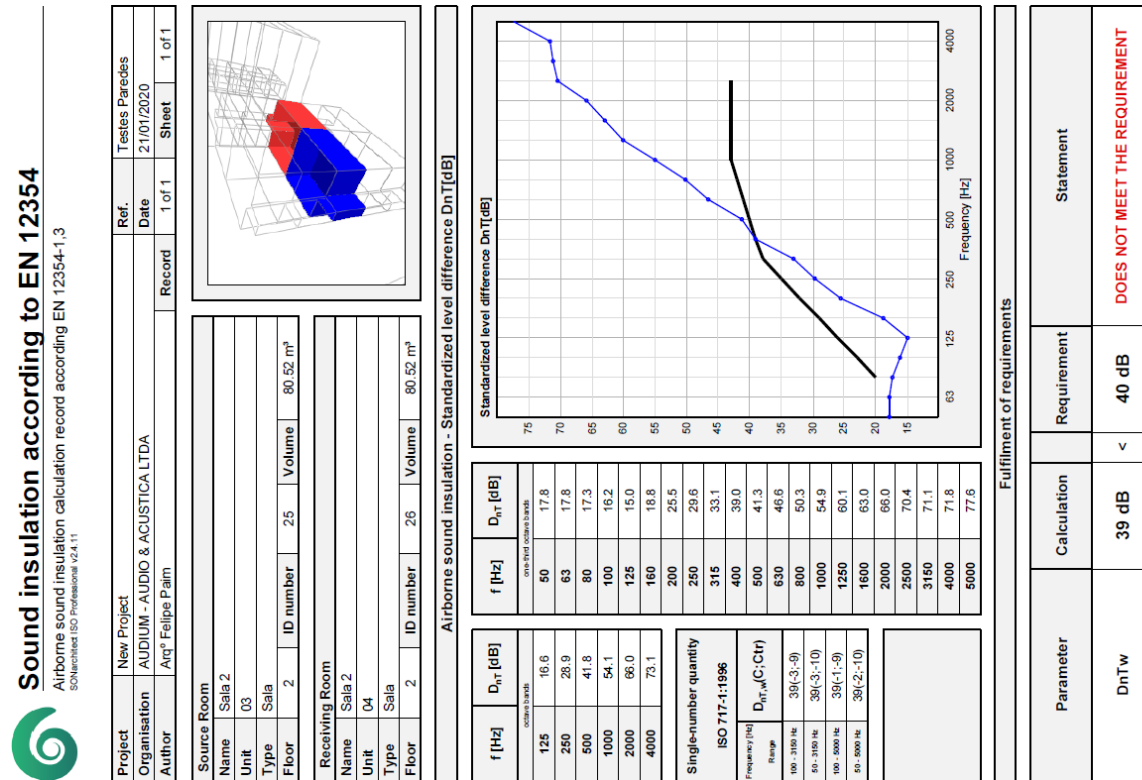
Fonte: Paim (2020).

Figura 111: Índice Dnt,w amostra A3 – Sala - Classe Média



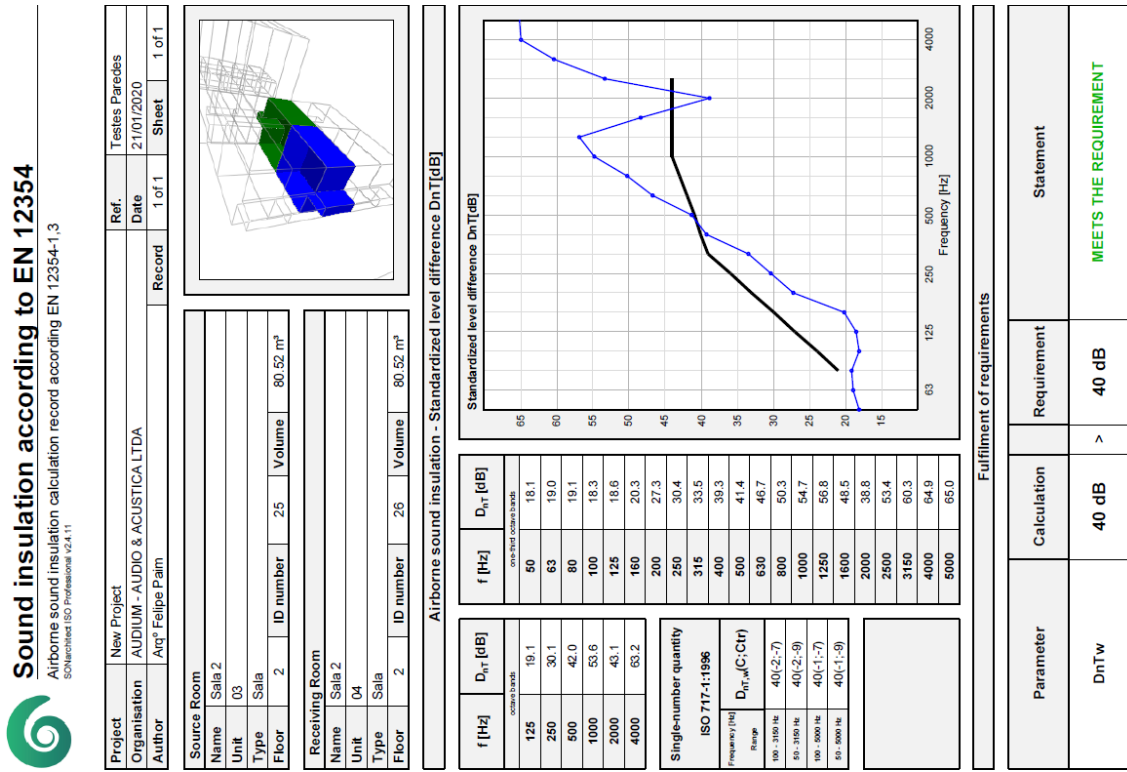
Fonte: Paim (2020).

Figura 112: Índice Dnt,w amostra A4 – Sala - Classe Média



Fonte: Paim (2020).

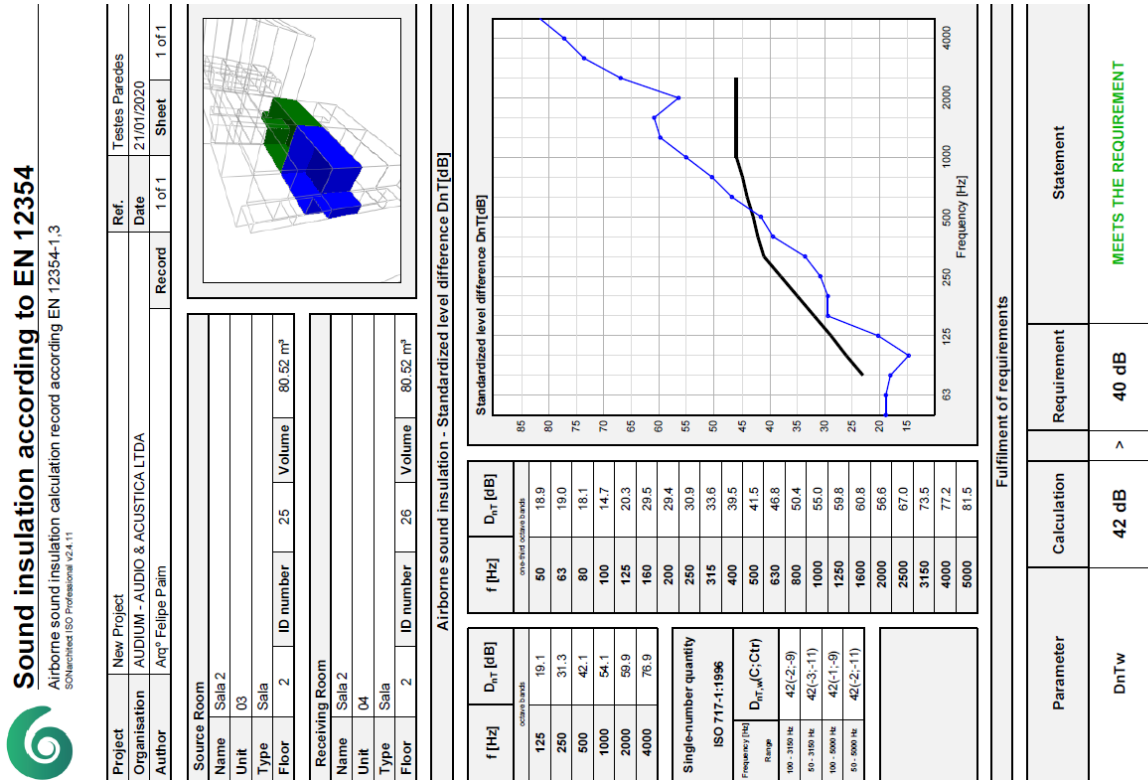
Figura 113: Índice Dnt,w amostra A5– Sala - Classe Média



Report generated with SOMtechtest ISO - Sound of Numbers S.L. - www.soundofnumbers.com - Copy forwarded to Debora Barreto - AUDJUM - AUDIO & ACUSTICA LTDA

Fonte: Paim (2020).

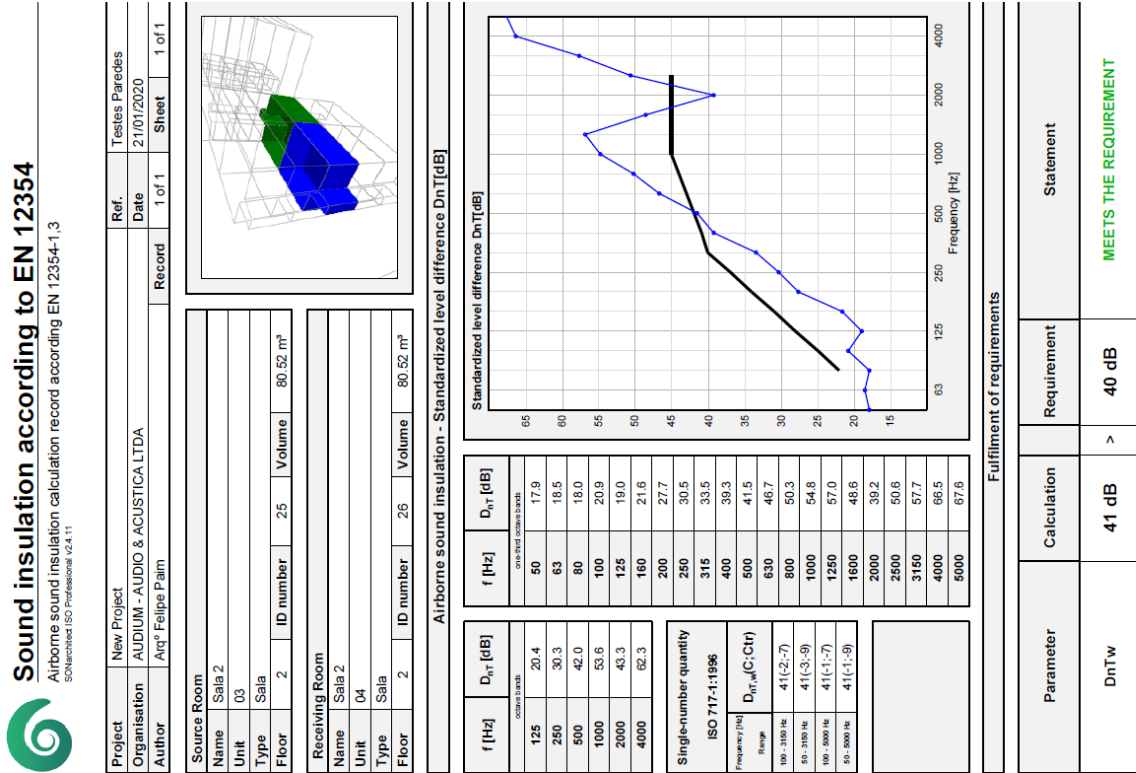
Figura 114: Índice Dnt,w amostra A6– Sala - Classe Média



Report generated with SOMtechtest ISO - Sound of Numbers S.L. - www.soundofnumbers.com - Copy forwarded to Debora Barreto - AUDJUM - AUDIO & ACUSTICA LTDA

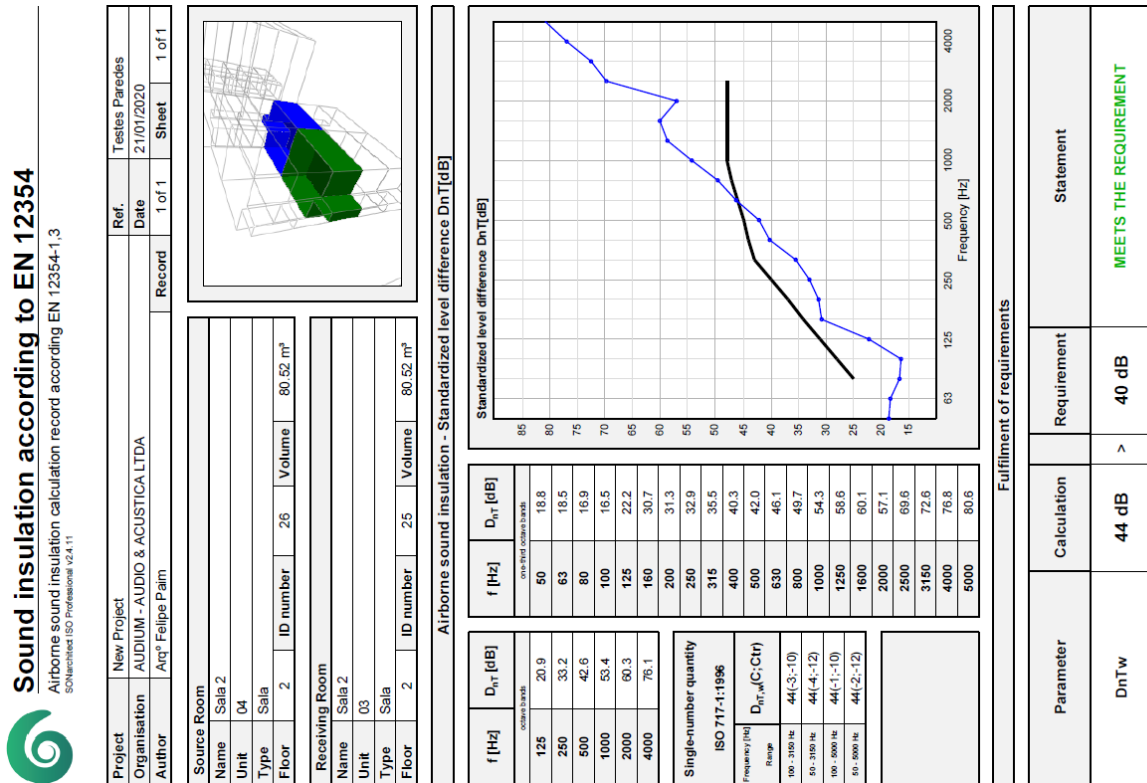
Fonte: Paim (2020).

Figura 115: Índice Dnt,w amostra A7– Sala - Classe Média



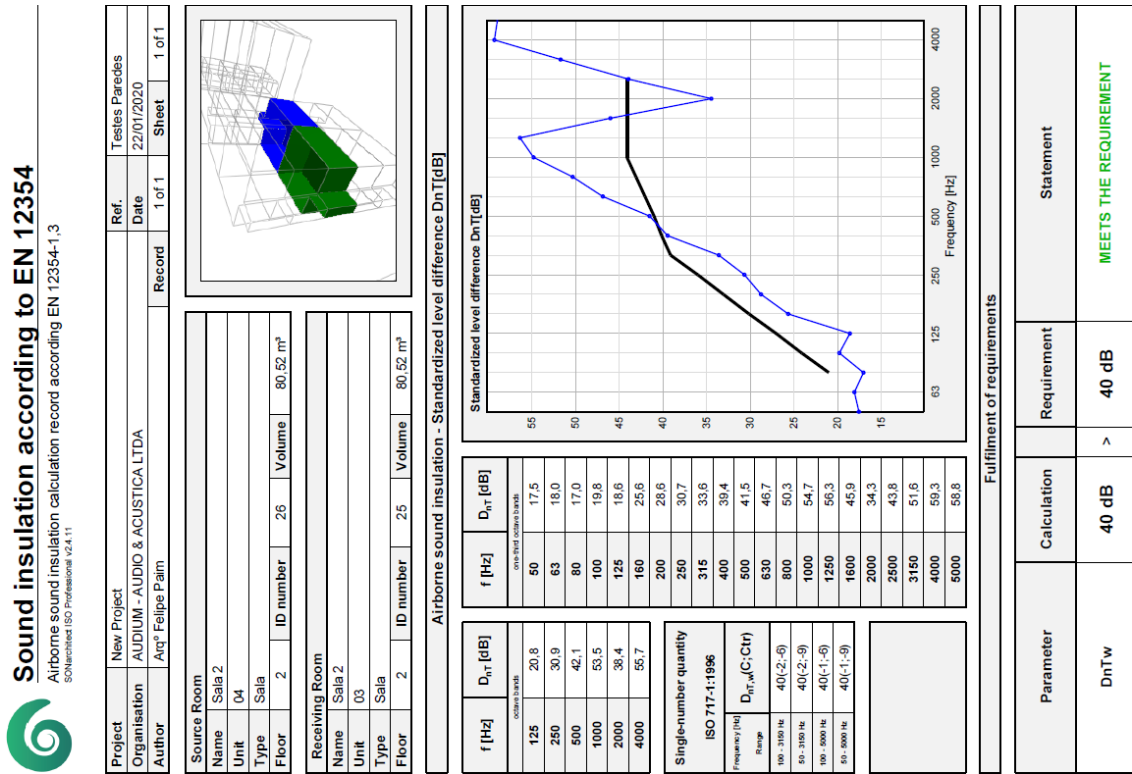
Fonte: Paim (2020).

Figura 116: Índice Dnt,w amostra A8– Sala - Classe Média



Fonte: Paim (2020).

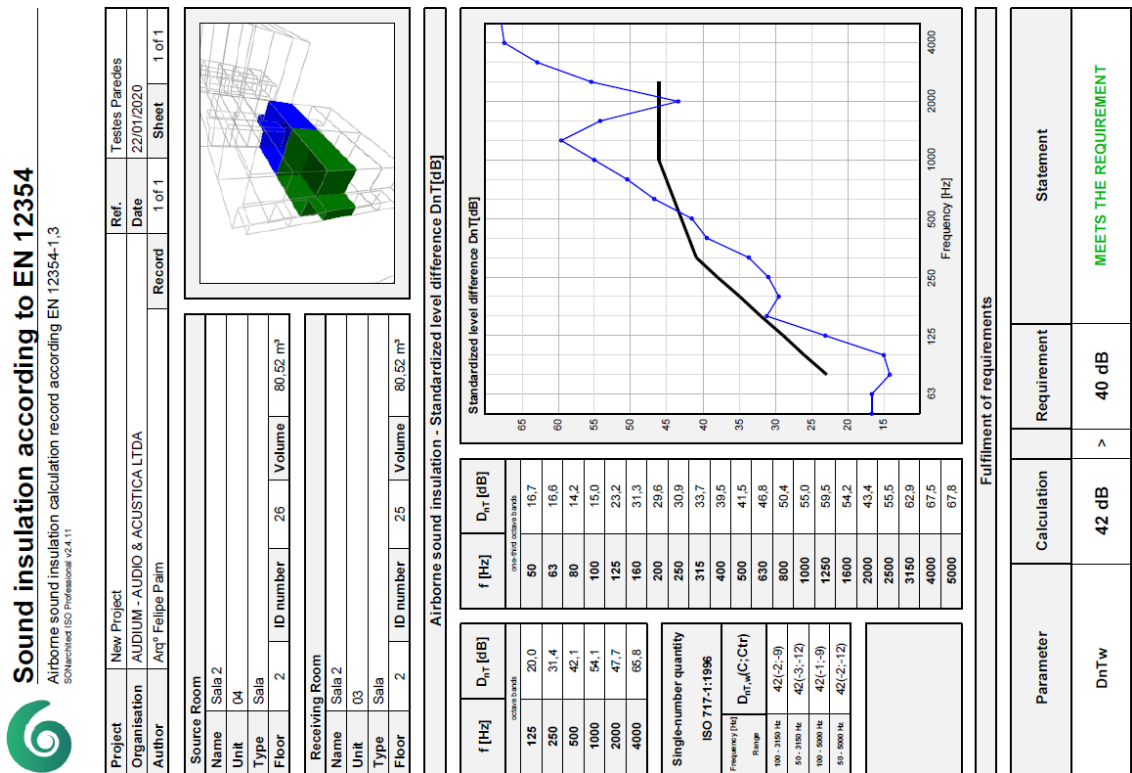
Figura 117: Índice Dnt,w amostra B1– Sala - Classe Média



Report generated with SONArchitect ISO - Sound of Hurbans S.L. - www.sonarchitect.com - Copy licensed to Ciborra Barrios AUDIUM - AUDIO & ACUSTICA LTDA

Fonte: Paim (2020).

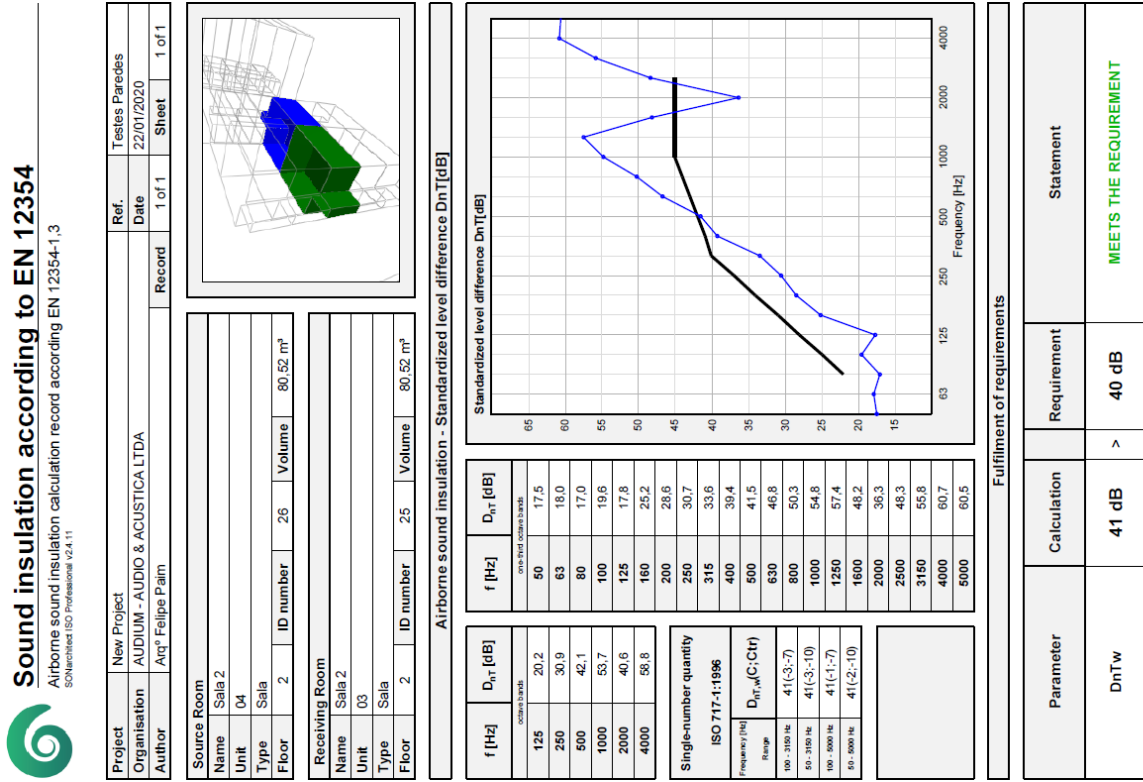
Figura 118: Índice Dnt,w amostra B2– Sala - Classe Média



Report generated with SONArchitect ISO - Sound of Hurbans S.L. - www.sonarchitect.com - Copy licensed to Ciborra Barrios AUDIUM - AUDIO & ACUSTICA LTDA

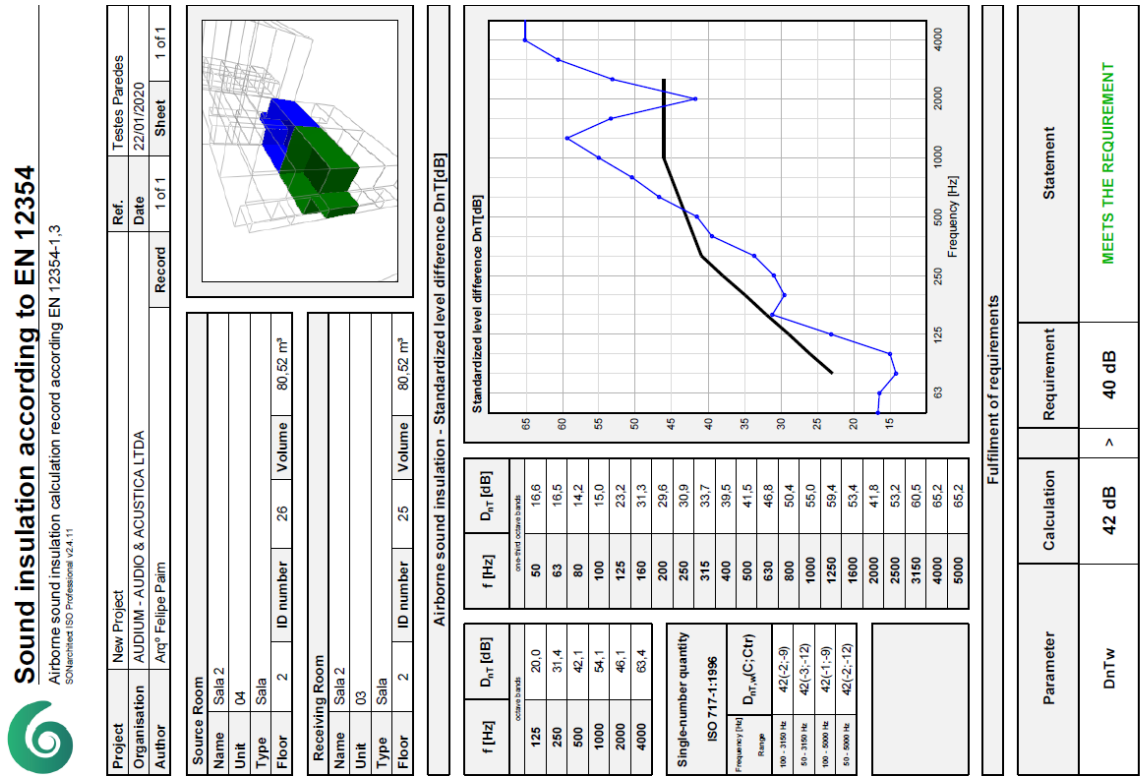
Fonte: Paim (2020).

Figura 119: Índice Dnt,w amostra C1– Sala - Classe Média



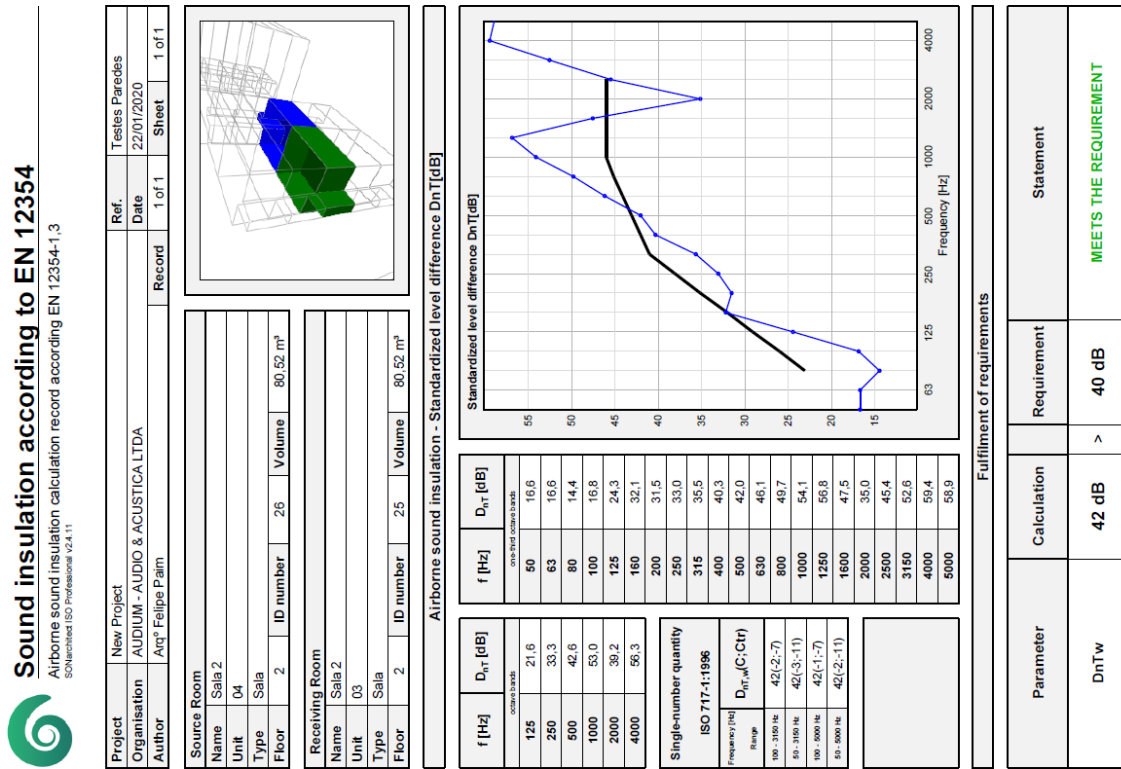
Fonte: Paim (2020).

Figura 120: Índice Dnt,w amostra C2– Sala - Classe Média



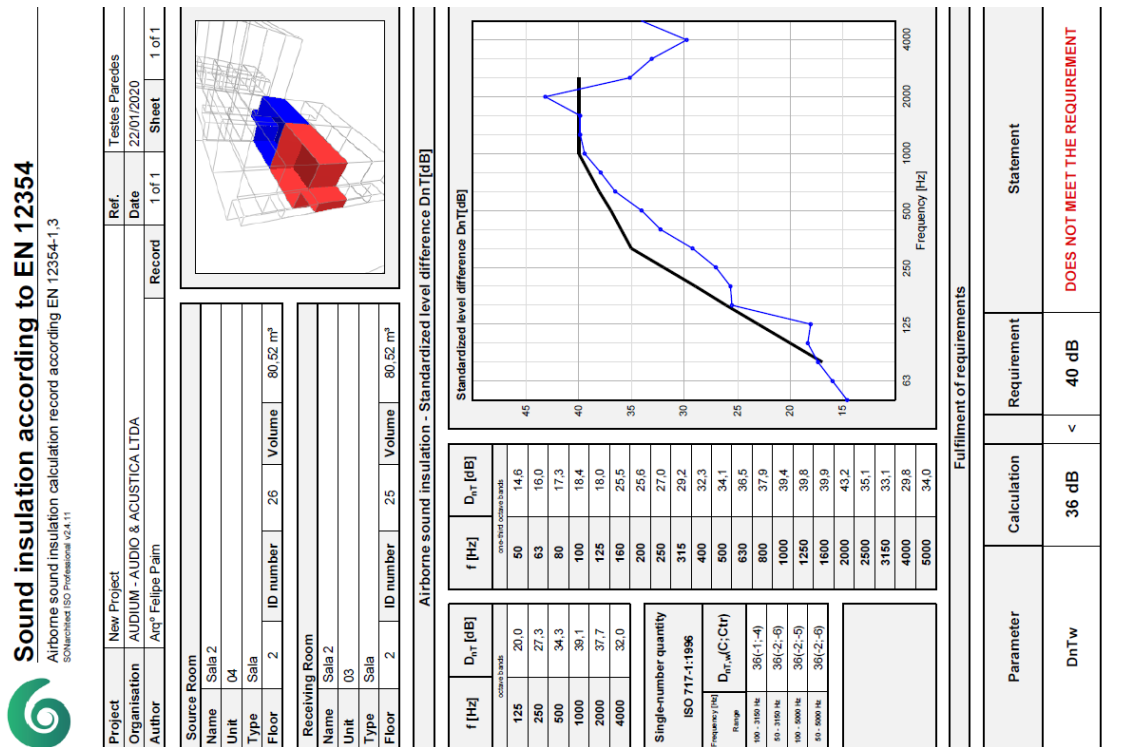
Fonte: Paim (2020).

Figura 121: Índice Dnt,w amostra D2– Sala - Classe Média



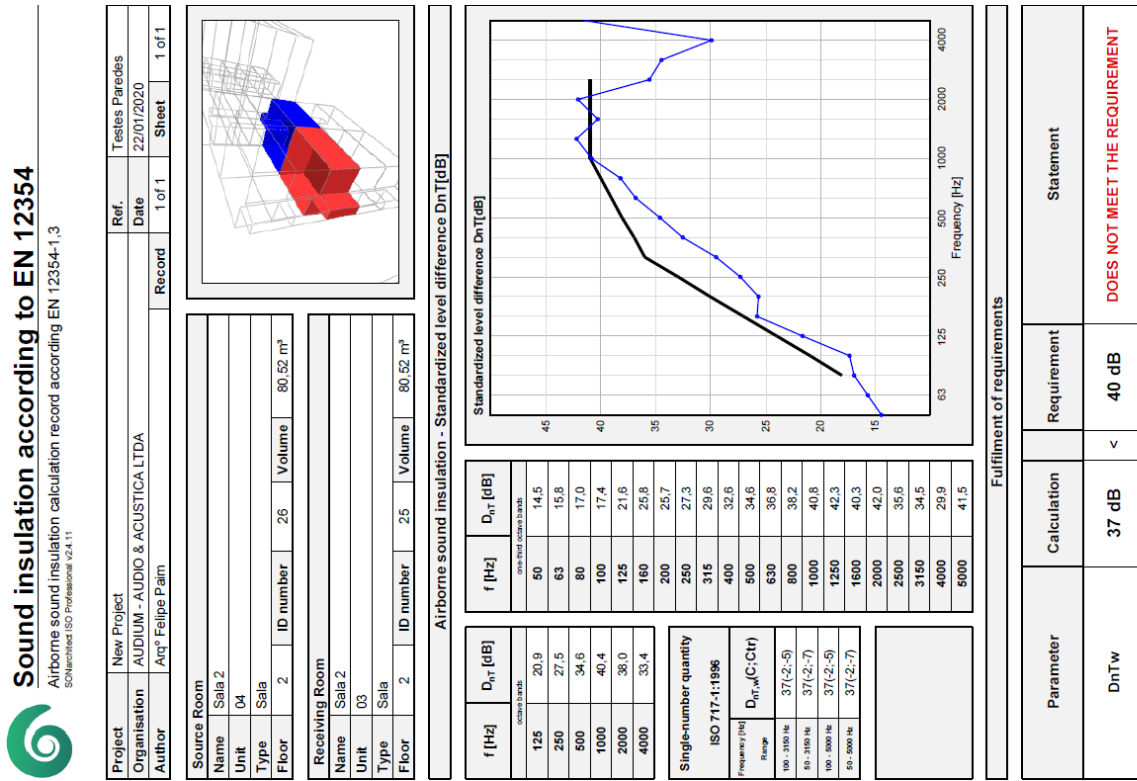
Fonte: Paim (2020).

Figura 122: Índice Dnt,w amostra E1– Sala - Classe Média



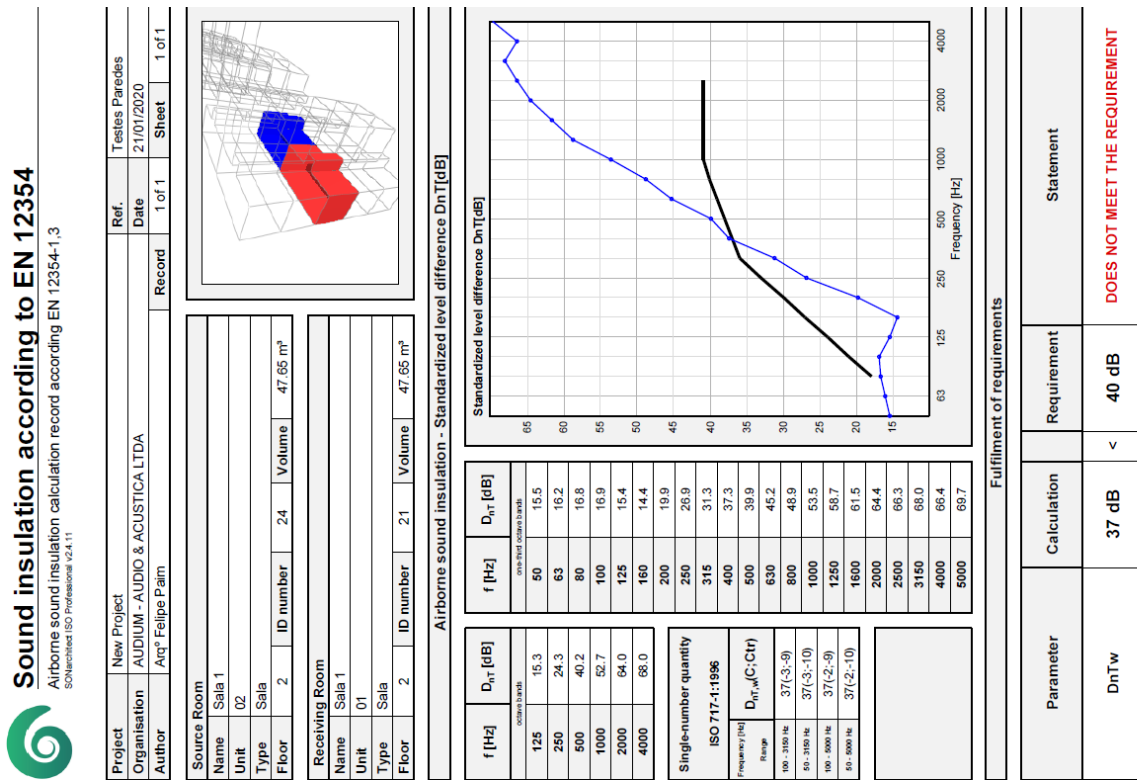
Fonte: Paim (2020).

Figura 123: Índice Dnt,w amostra E2– Sala - Classe Média



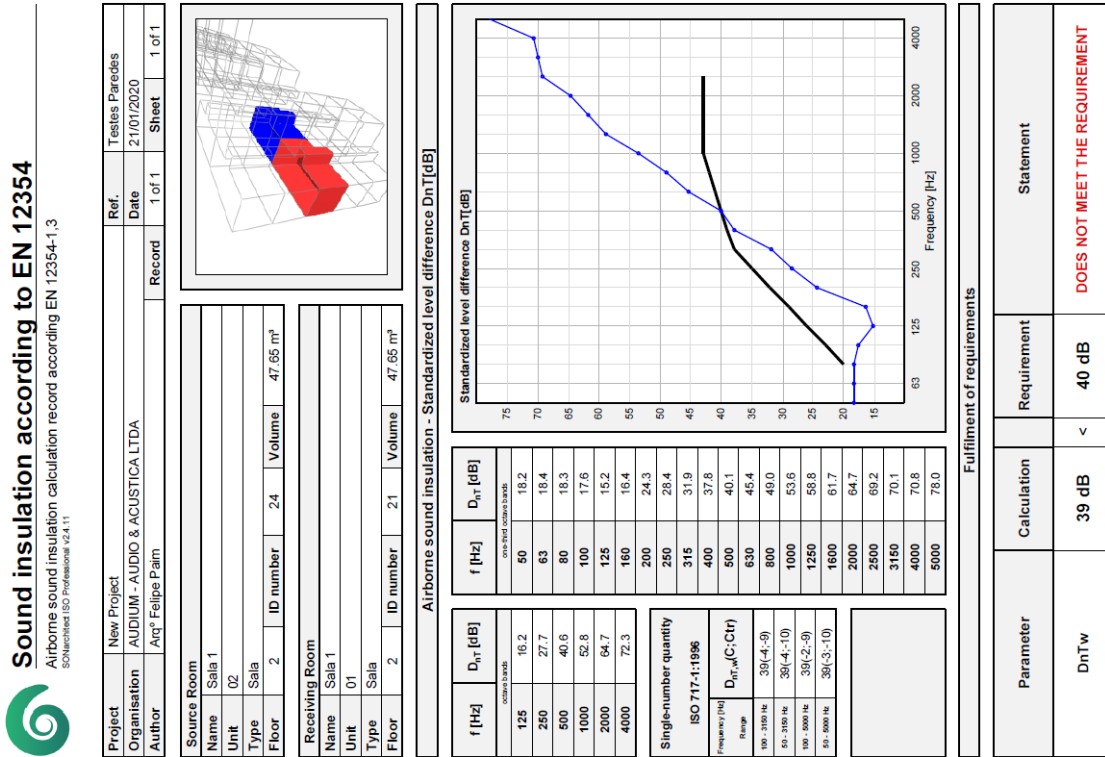
Fonte: Paim (2020).

Figura 124: Índice Dnt,w amostra A1– Sala – Casa Popular



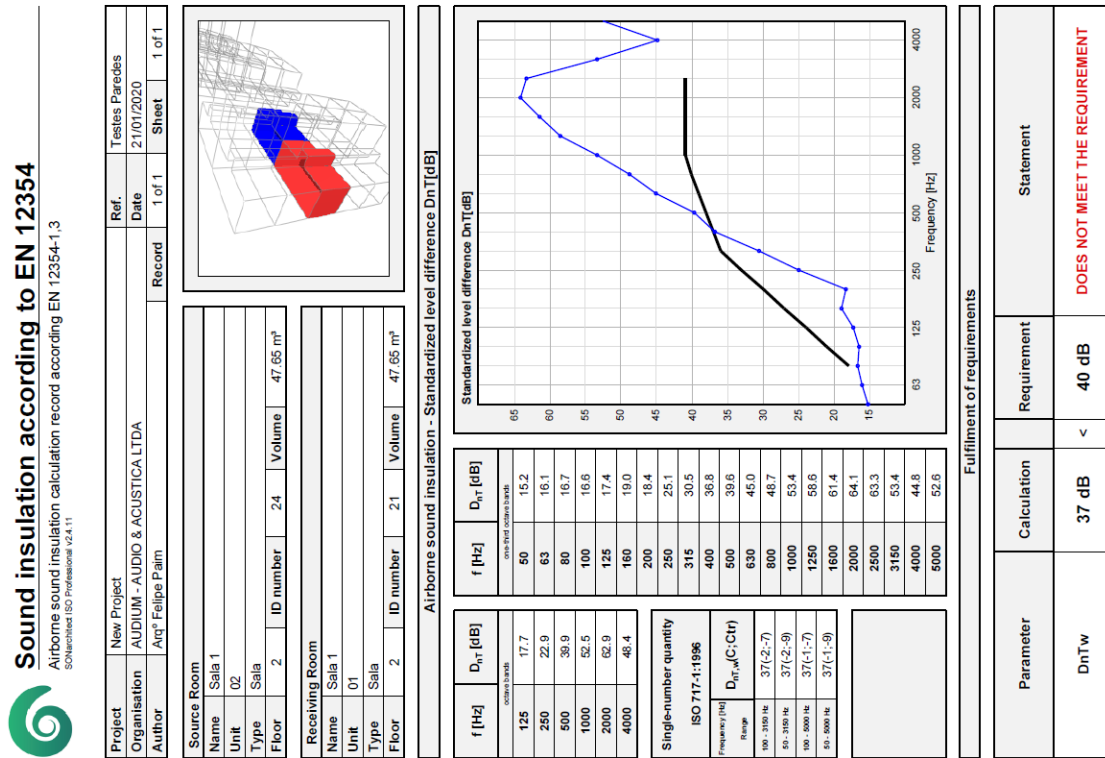
Fonte: Paim (2020).

Figura 125: Índice Dnt,w amostra A2– Sala – Casa Popular



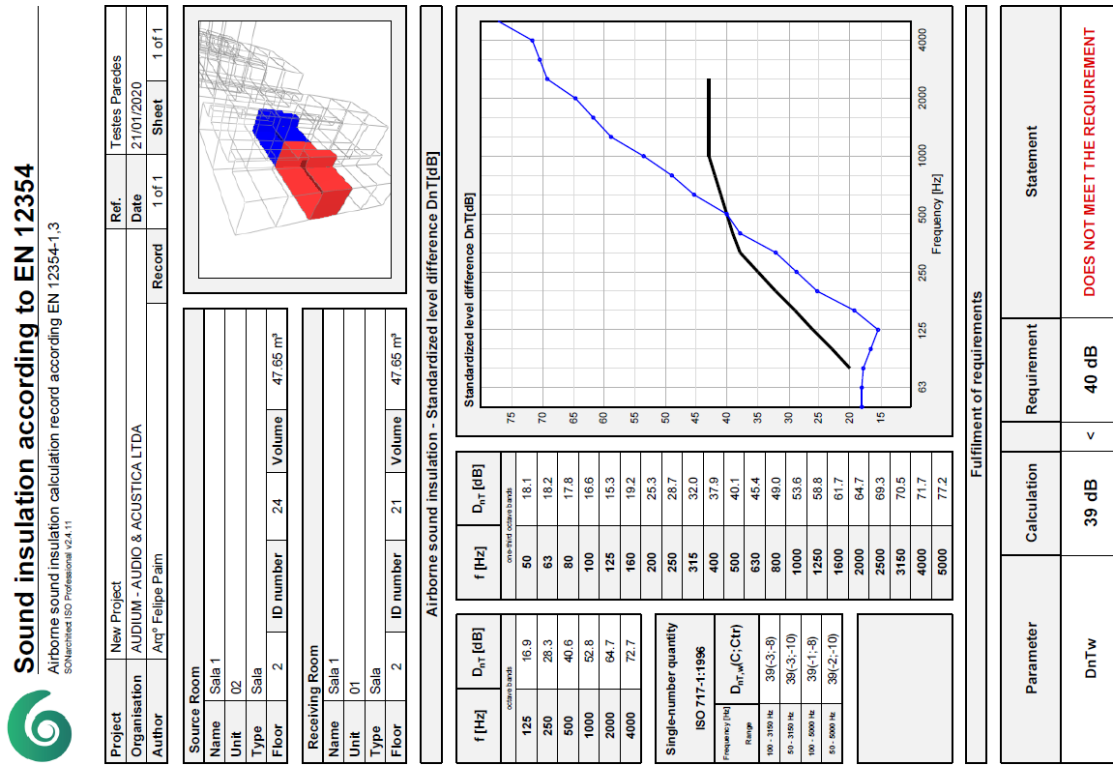
Fonte: Paim (2020).

Figura 126: Índice Dnt,w amostra A3– Sala – Casa Popular



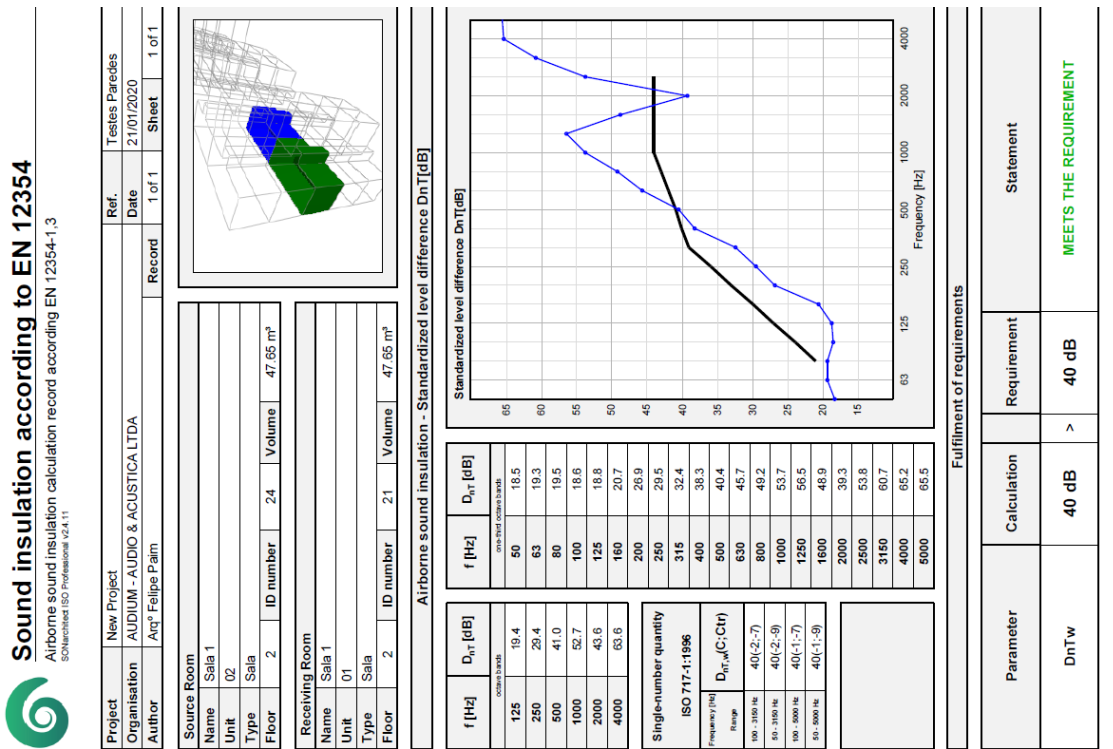
Fonte: Paim (2020).

Figura 127: Índice Dnt,w amostra A4– Sala – Casa Popular



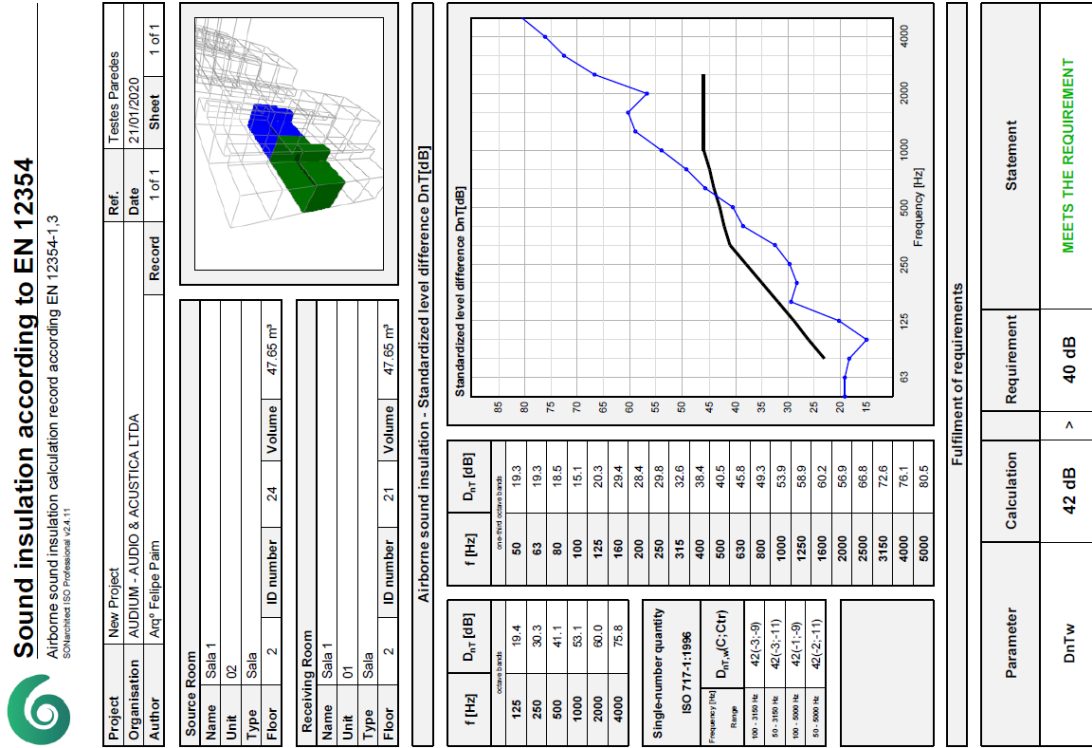
Fonte: Paim (2020).

Figura 128: Índice Dnt,w amostra A5– Sala – Casa Popular



Fonte: Paim (2020).

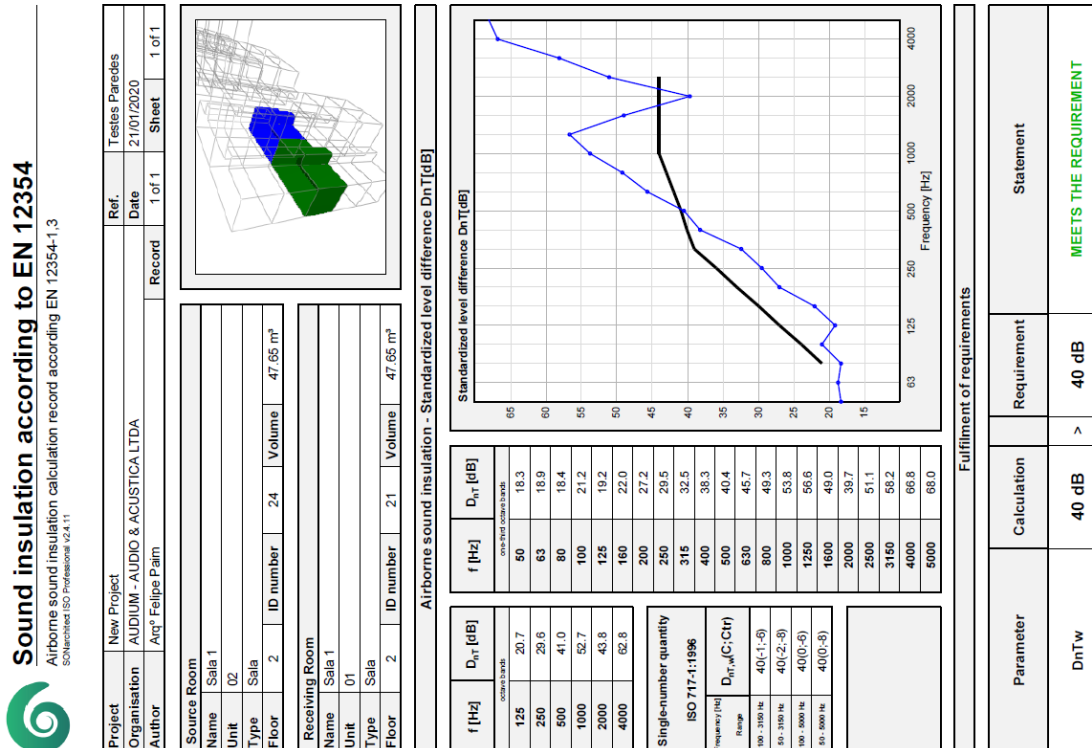
Figura 129: Índice Dnt,w amostra A6– Sala – Casa Popular



Report generated with SCHNITZER ISO - Sound of Numbers S.L. - www.schneider.com - Copy forward to Odebre Sanebr - AUDIUM - AUDIO & ACUSTICA LTDA

Fonte: Paim (2020).

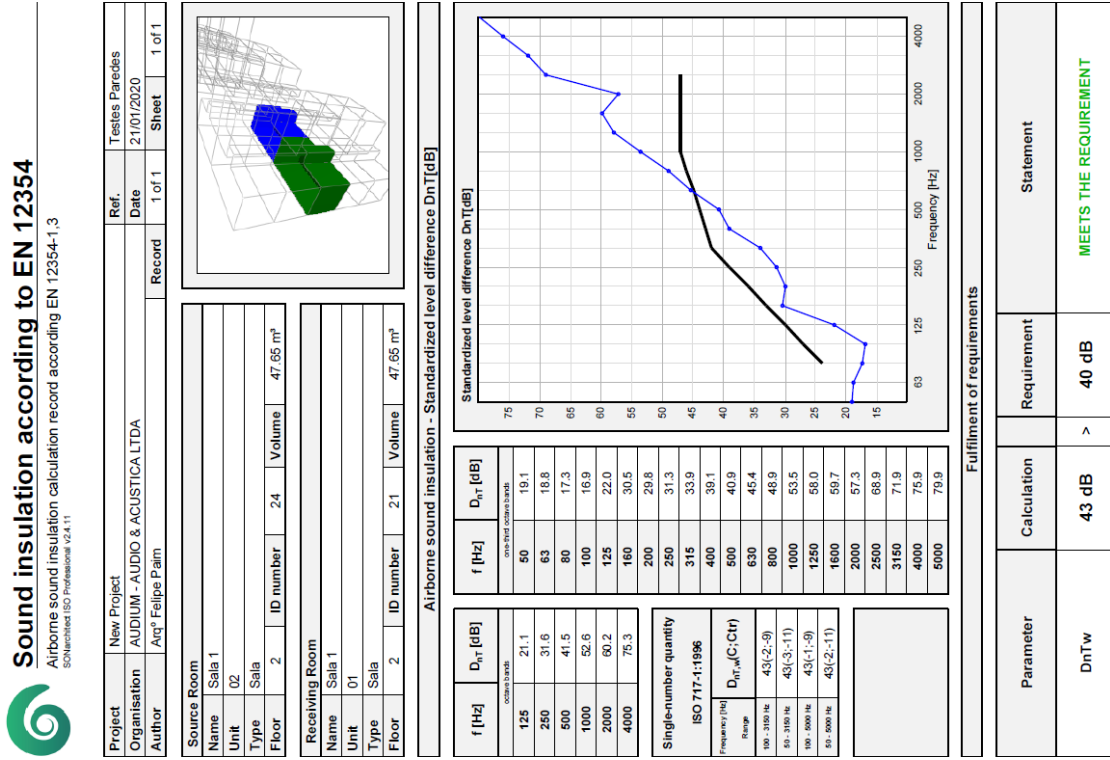
Figura 130: Índice Dnt,w amostra A7– Sala – Casa Popular



Report generated with SCHNITZER ISO - Sound of Numbers S.L. - www.schneider.com - Copy forward to Odebre Sanebr - AUDIUM - AUDIO & ACUSTICA LTDA

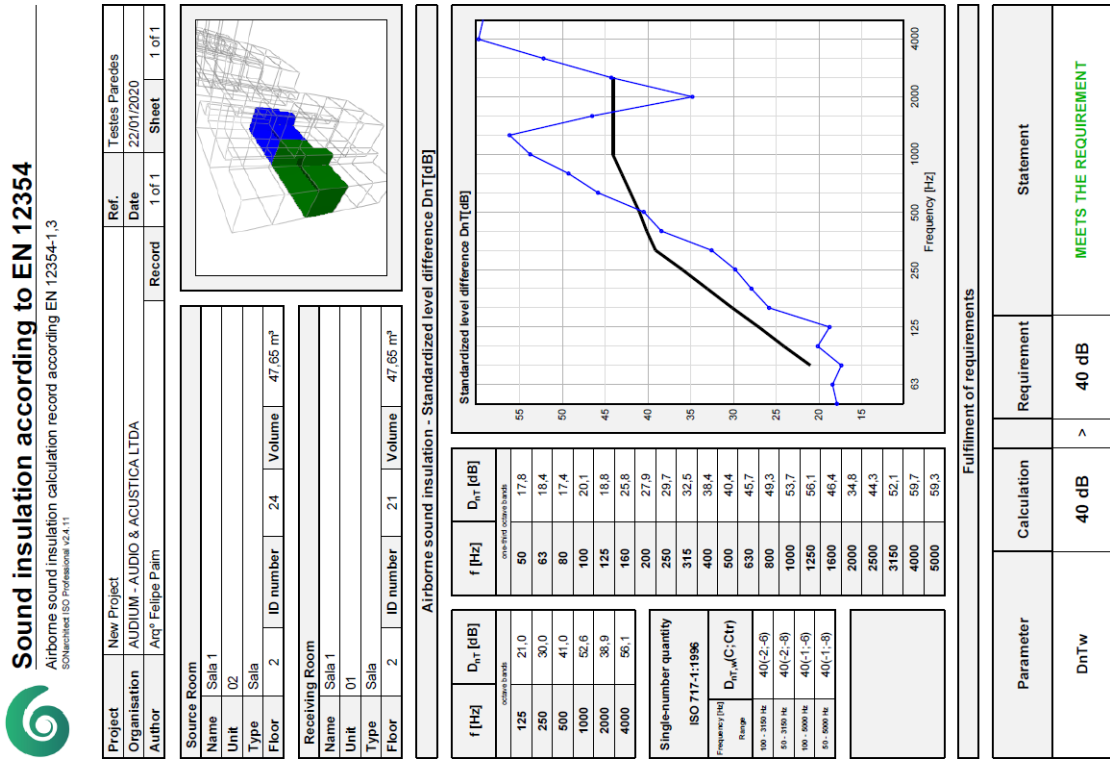
Fonte: Paim (2020).

Figura 131: Índice Dnt,w amostra A8– Sala – Casa Popular



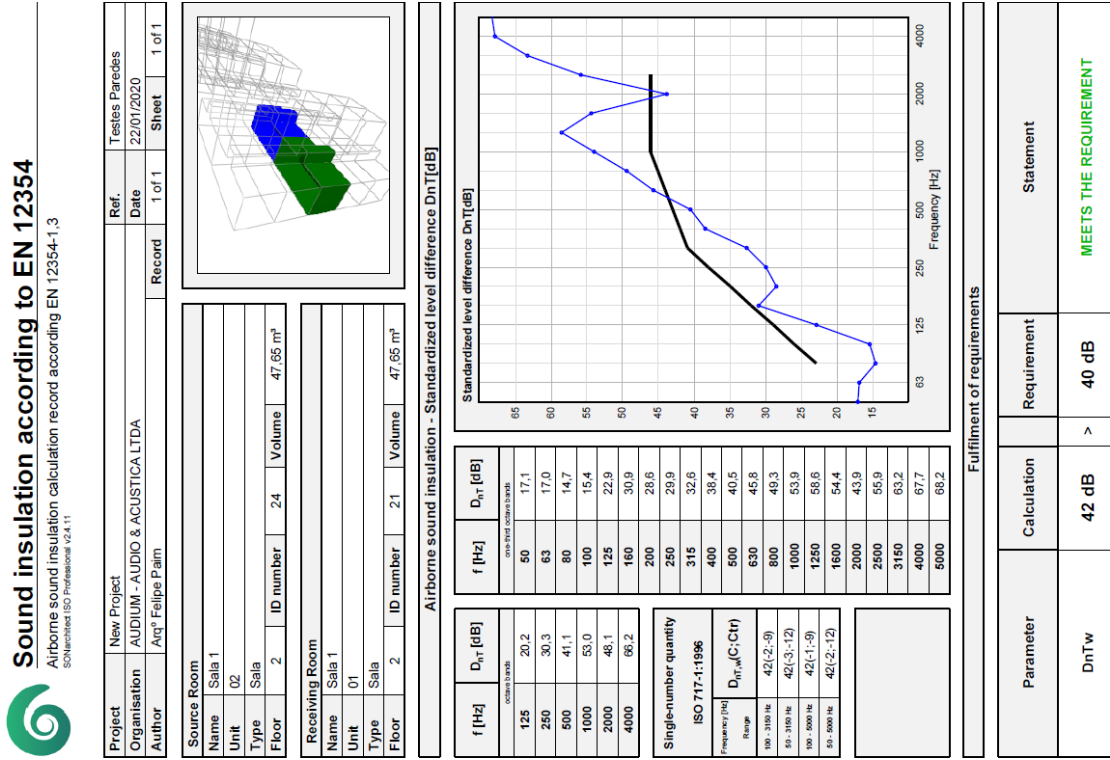
Fonte: Paim (2020).

Figura 132: Índice Dnt,w amostra B1– Sala – Casa Popular



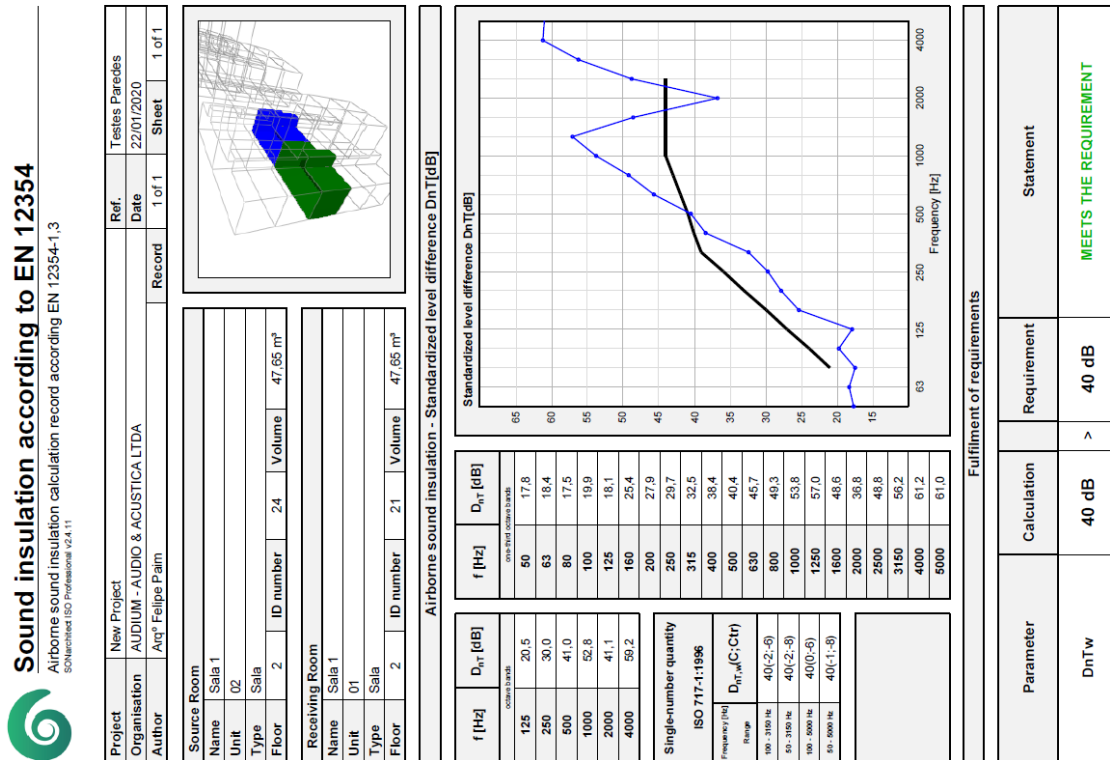
Fonte: Paim (2020).

Figura 133: Índice Dnt,w amostra B2– Sala – Casa Popular



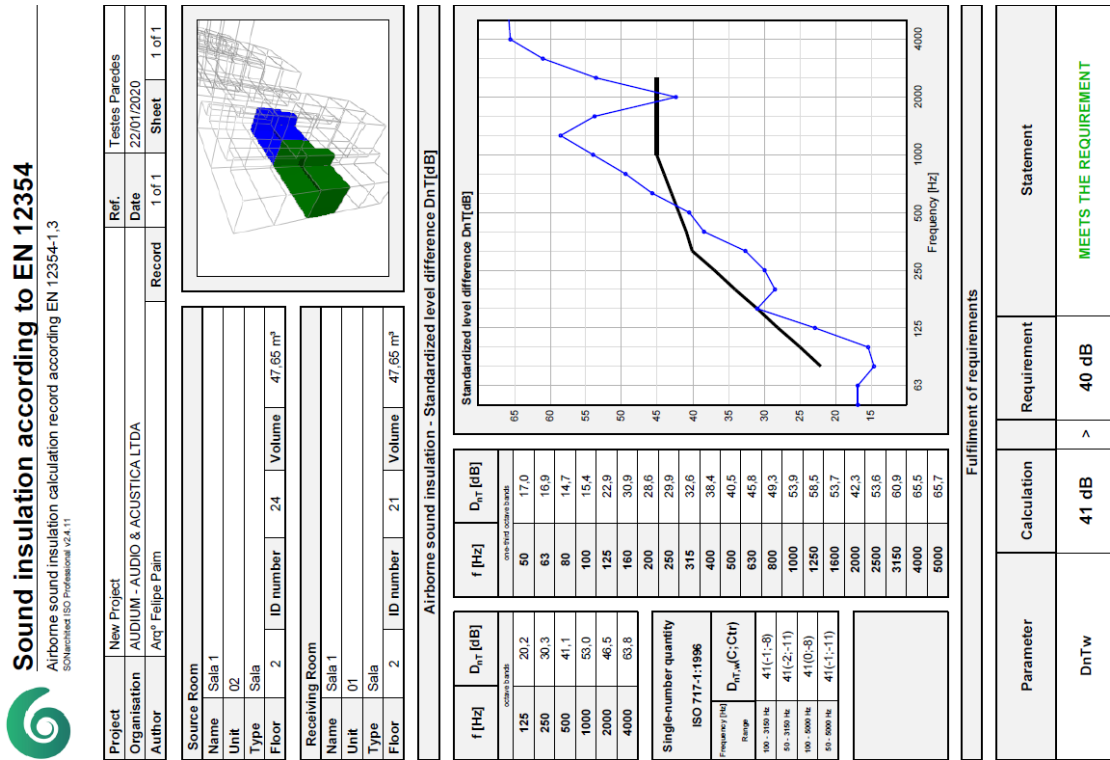
Fonte: Paim (2020).

Figura 134: Índice Dnt,w amostra C1– Sala – Casa Popular



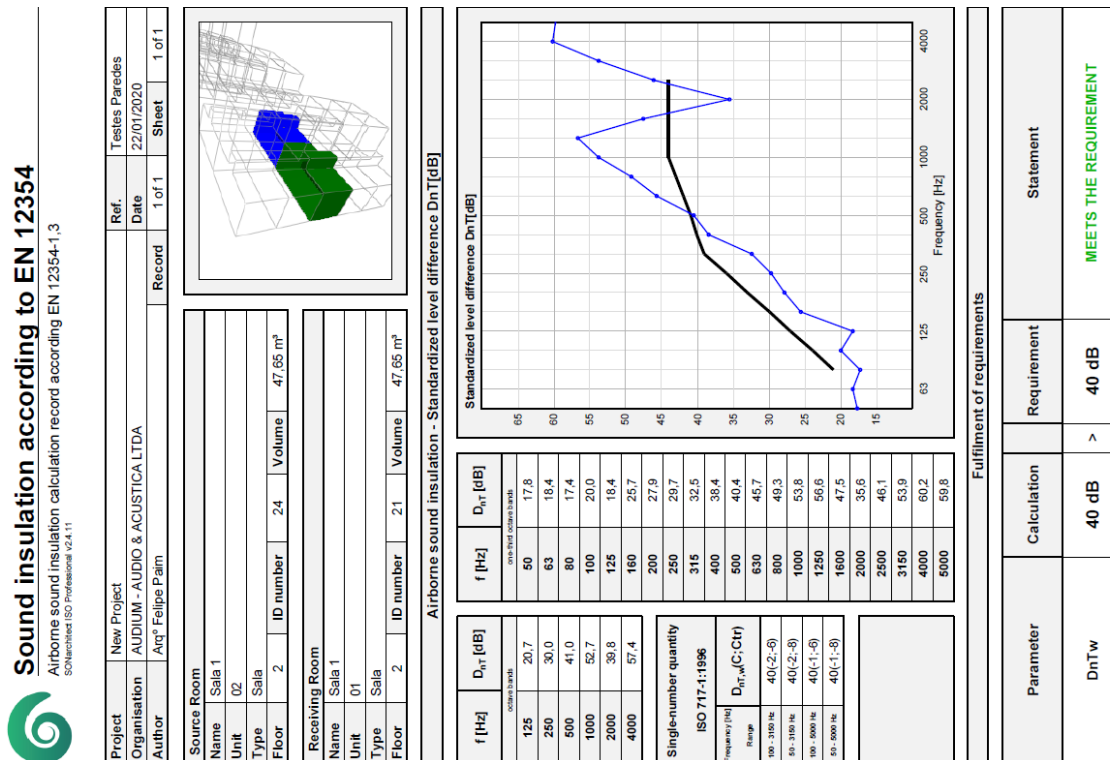
Fonte: Paim (2020).

Figura 135: Índice Dnt,w amostra C2– Sala – Casa Popular



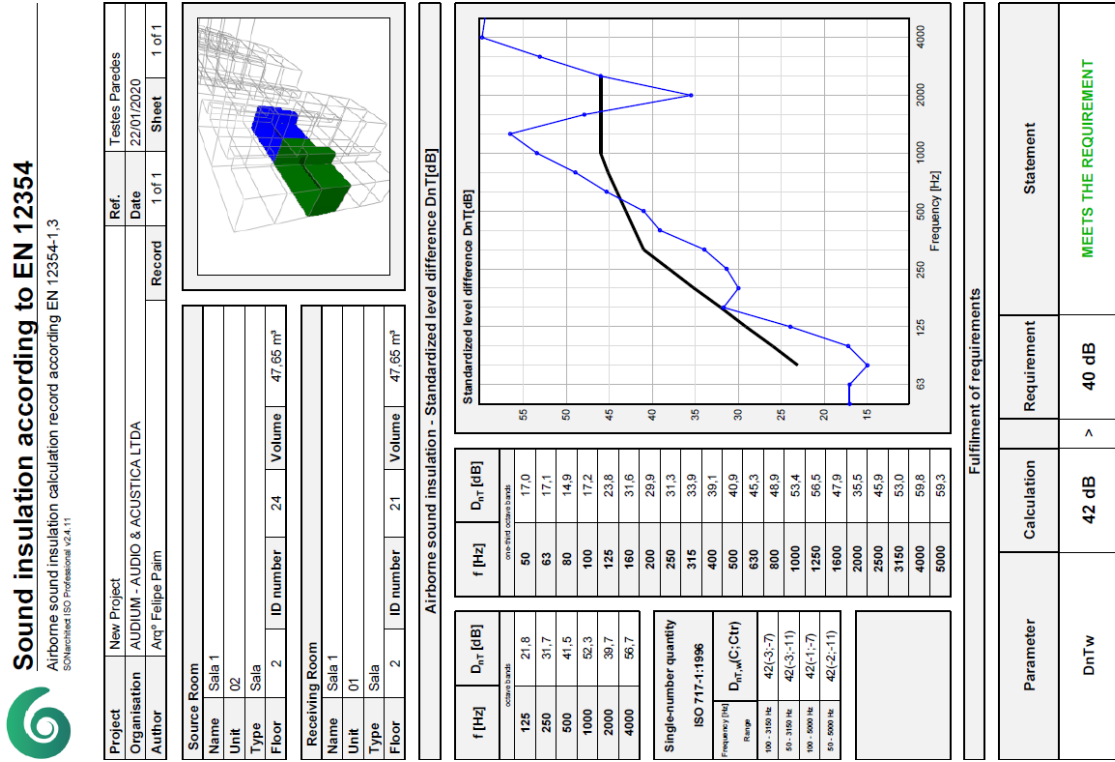
Fonte: Paim (2020).

Figura 136: Índice Dnt,w amostra D1– Sala – Casa Popular



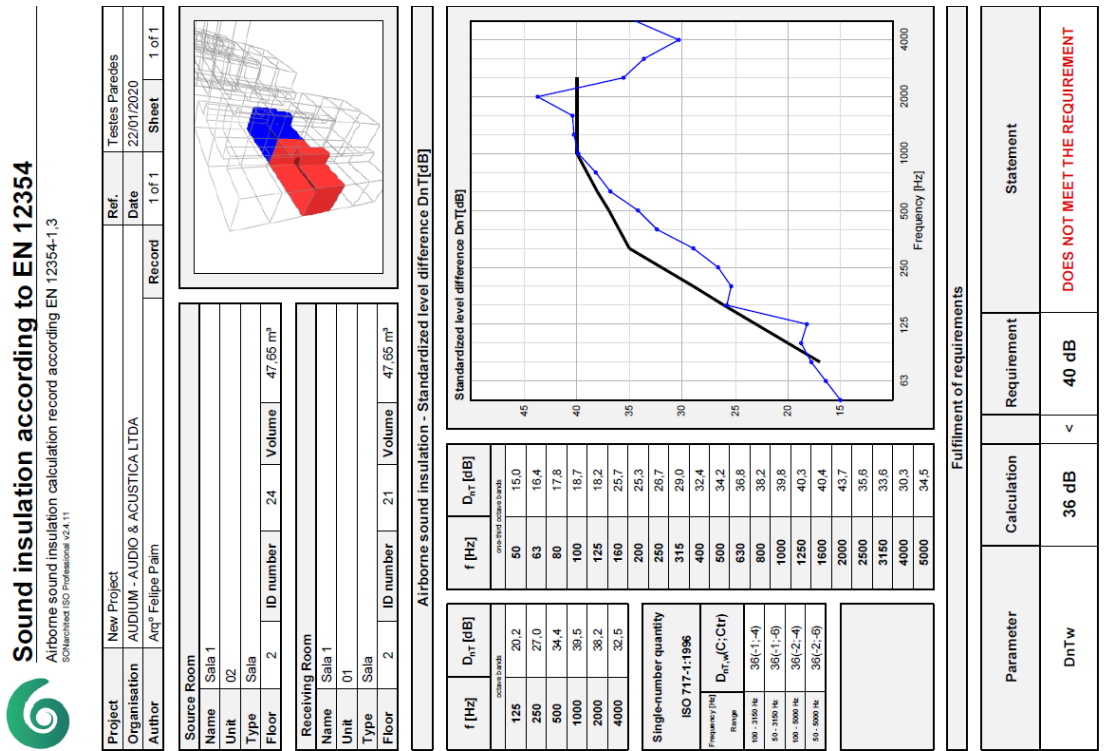
Fonte: Paim (2020).

Figura 137: Índice Dnt,w amostra D2– Sala – Casa Popular



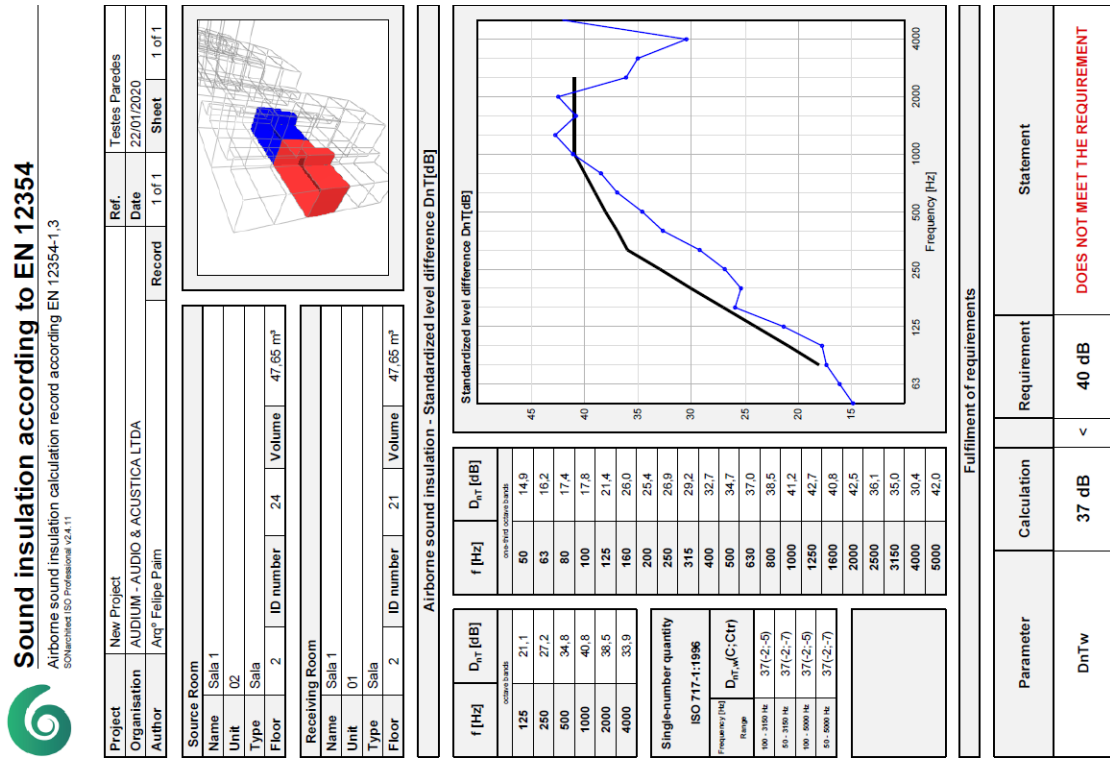
Fonte: Paim (2020).

Figura 138: Índice Dnt,w amostra E1– Sala – Casa Popular



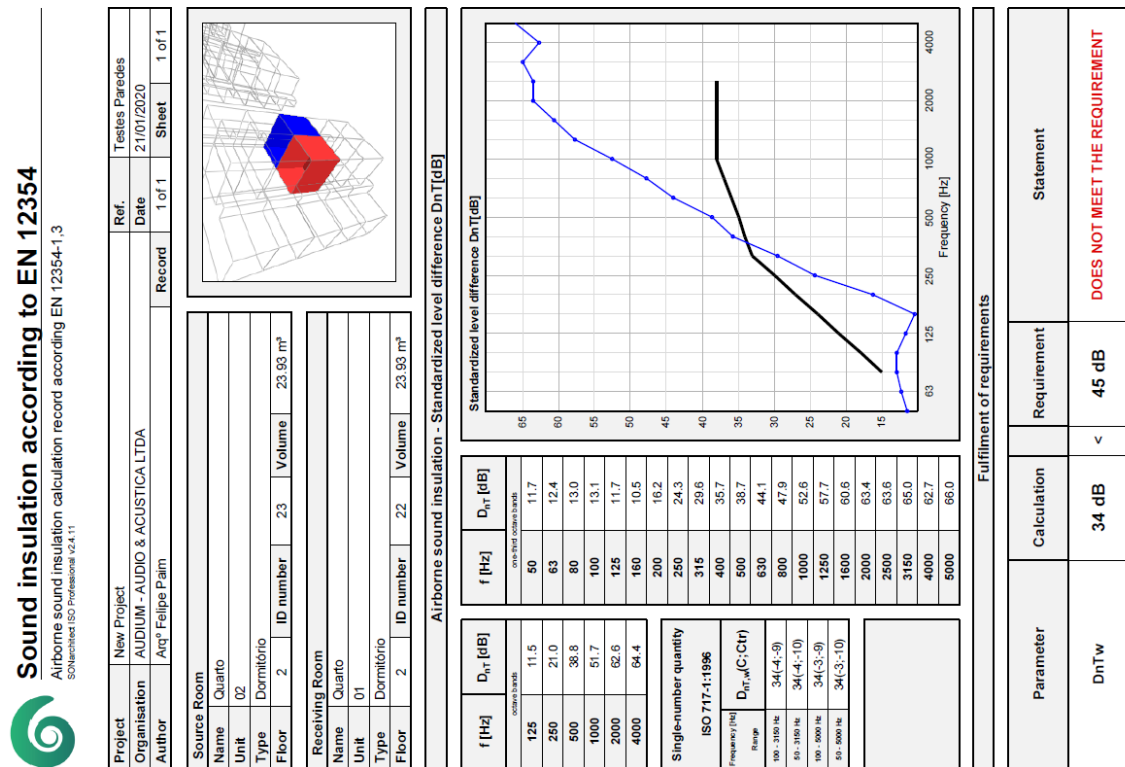
Fonte: Paim (2020).

Figura 139: Índice Dnt,w amostra E2– Sala – Casa Popular



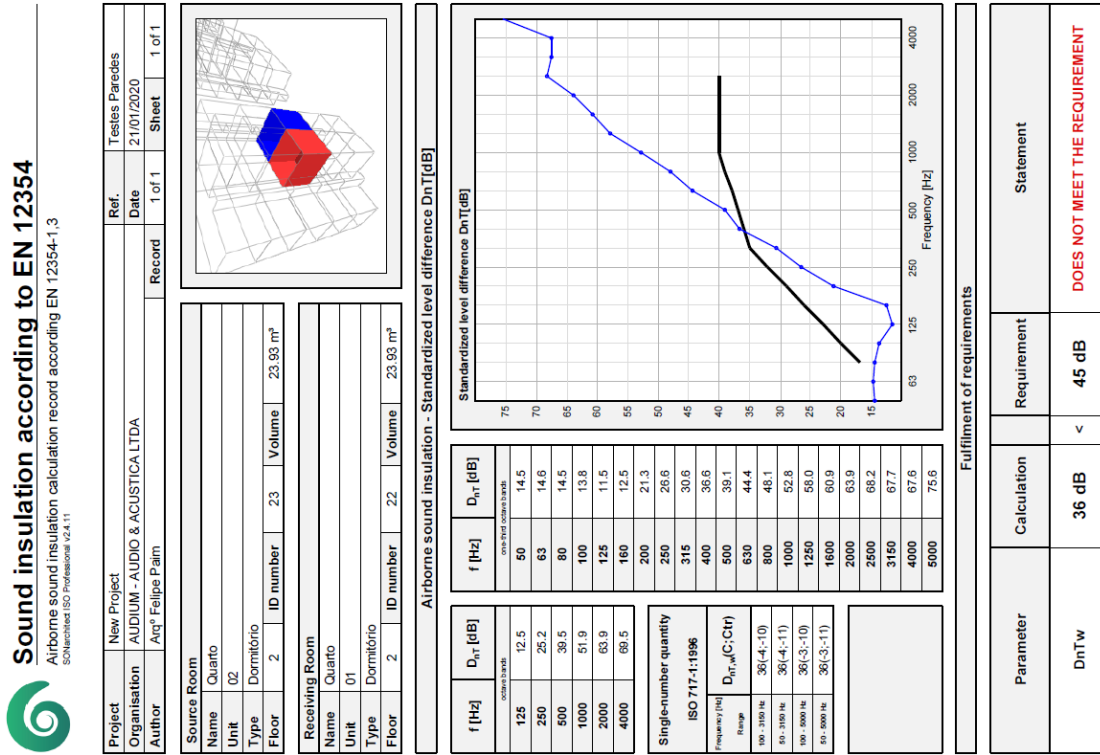
Fonte: Paim (2020).

Figura 140: Índice Dnt,w amostra A1– Dormitório – Casa Popular



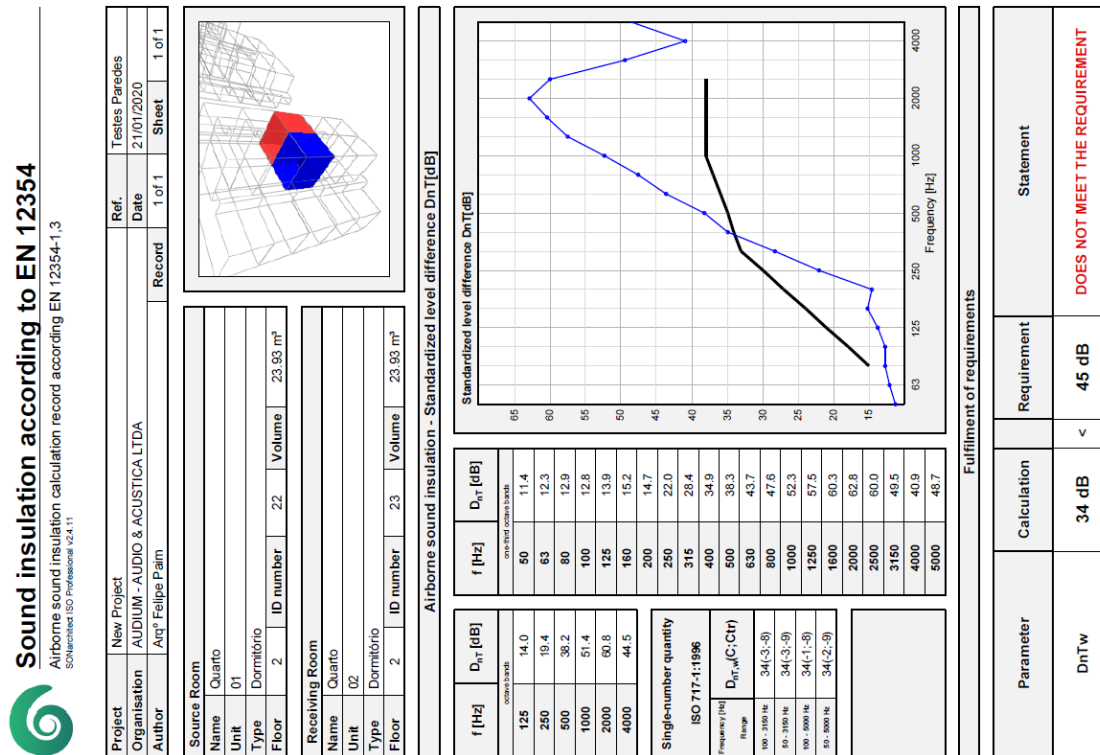
Fonte: Paim (2020).

Figura 141: Índice Dnt,w amostra A2– Dormitório – Casa Popular



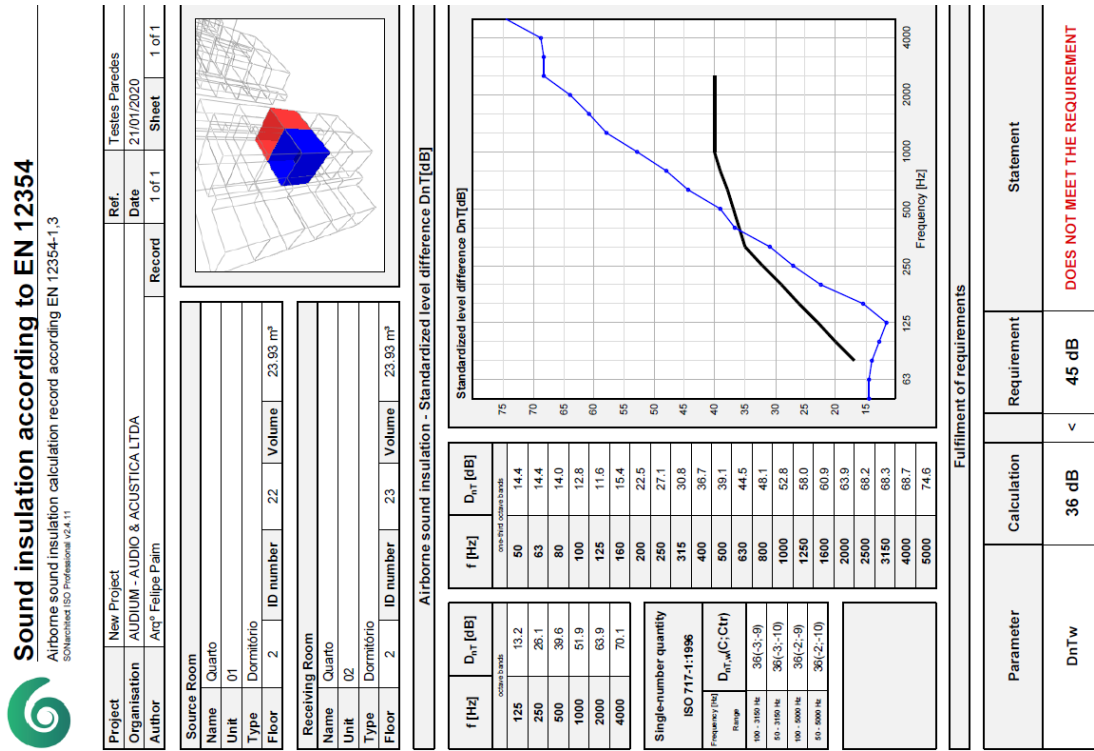
Fonte: Paim (2020).

Figura 142: Índice Dnt,w amostra A3– Dormitório – Casa Popular



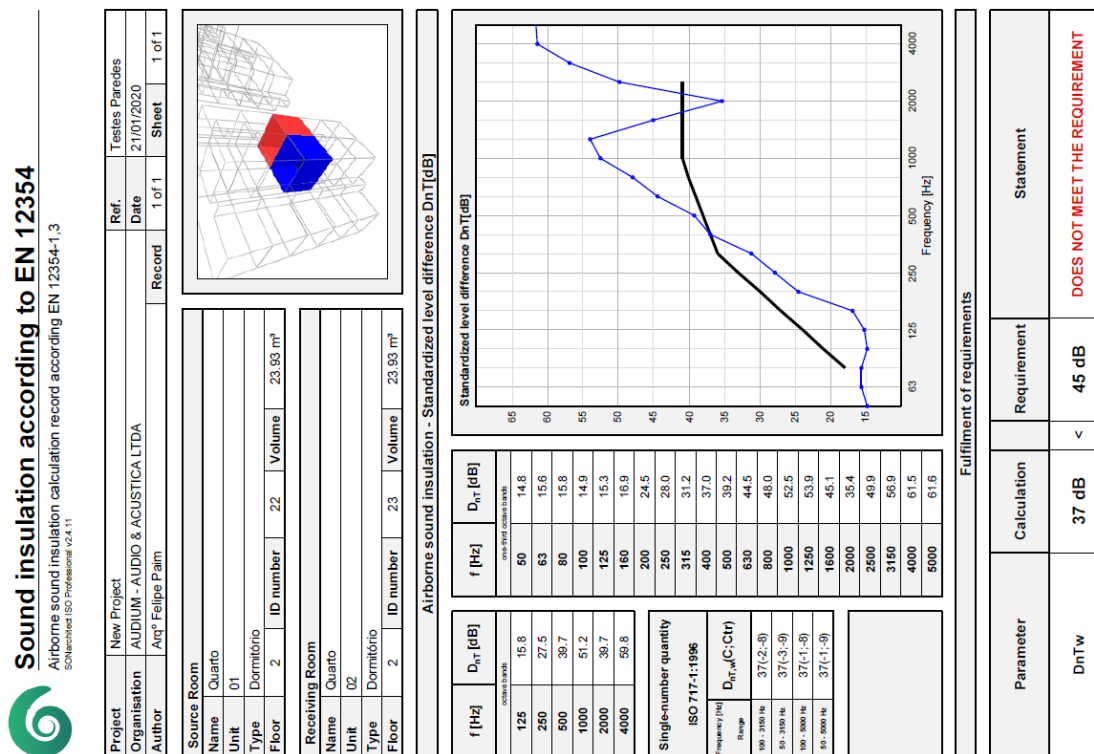
Fonte: Paim (2020).

Figura 143: Índice Dnt,w amostra A4– Dormitório – Casa Popular



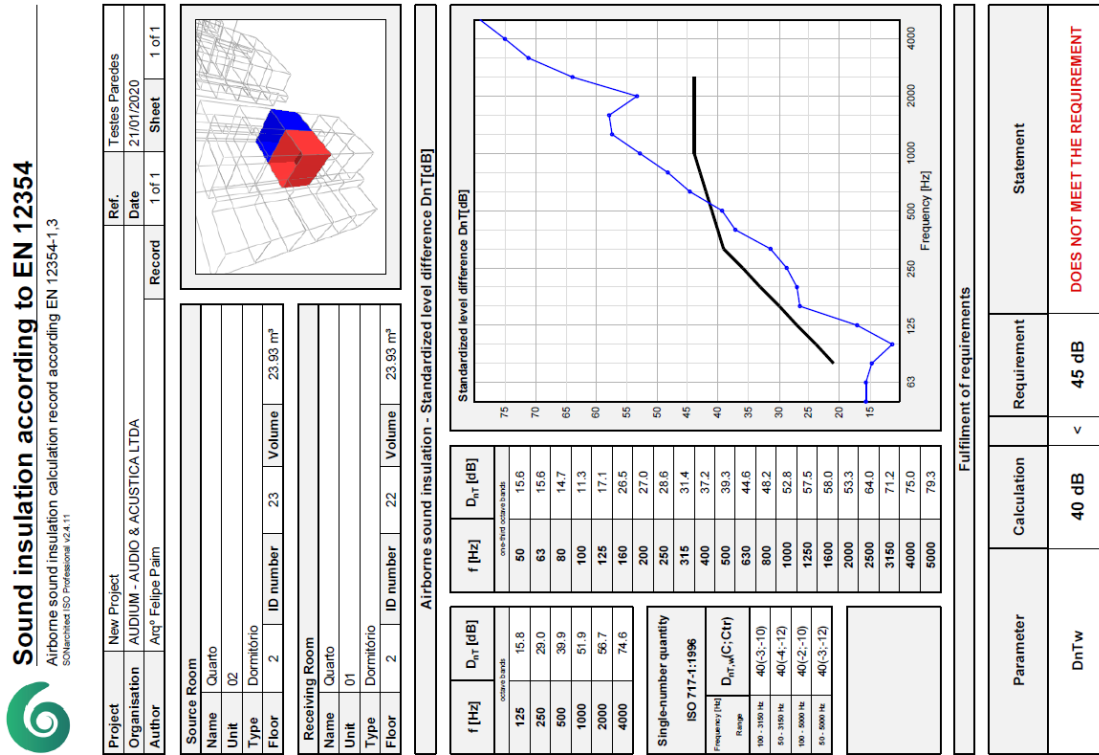
Fonte: Paim (2020).

Figura 144: Índice Dnt,w amostra A5– Dormitório – Casa Popular



Fonte: Paim (2020).

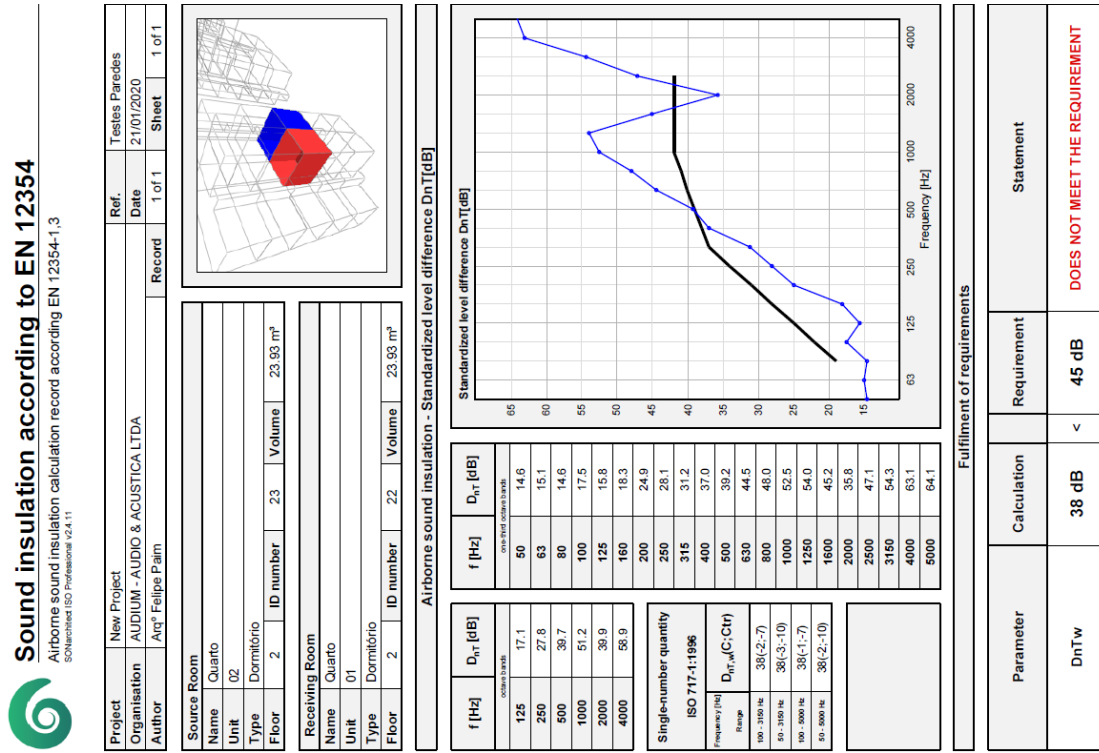
Figura 145: Índice Dnt,w amostra A6– Dormitório – Casa Popular



Report generated with SCHNabel ISO - Sound of Hübner, S.L. - www.schnabel.com - Copy licensed to Diadora Barreto - AUDIUM - AUDIO & ACUSTICA LTDA

Fonte: Paim (2020).

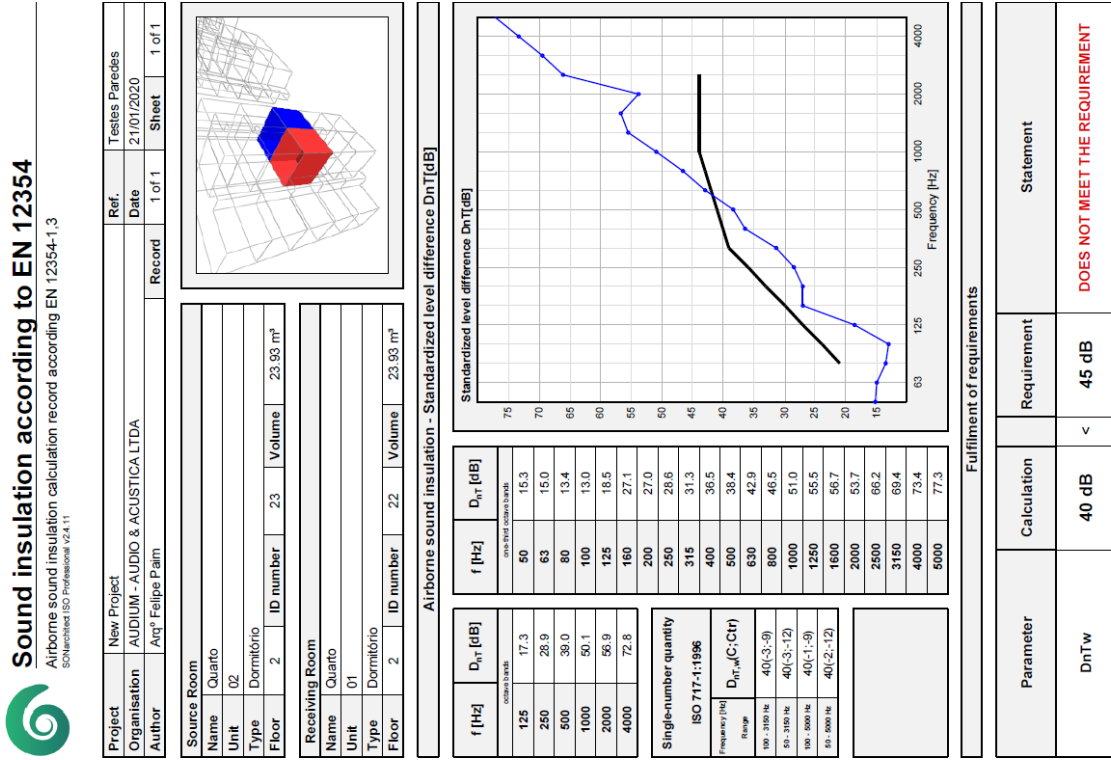
Figura 146: Índice Dnt,w amostra A7– Dormitório – Casa Popular



Report generated with SCHNabel ISO - Sound of Hübner, S.L. - www.schnabel.com - Copy licensed to Diadora Barreto - AUDIUM - AUDIO & ACUSTICA LTDA

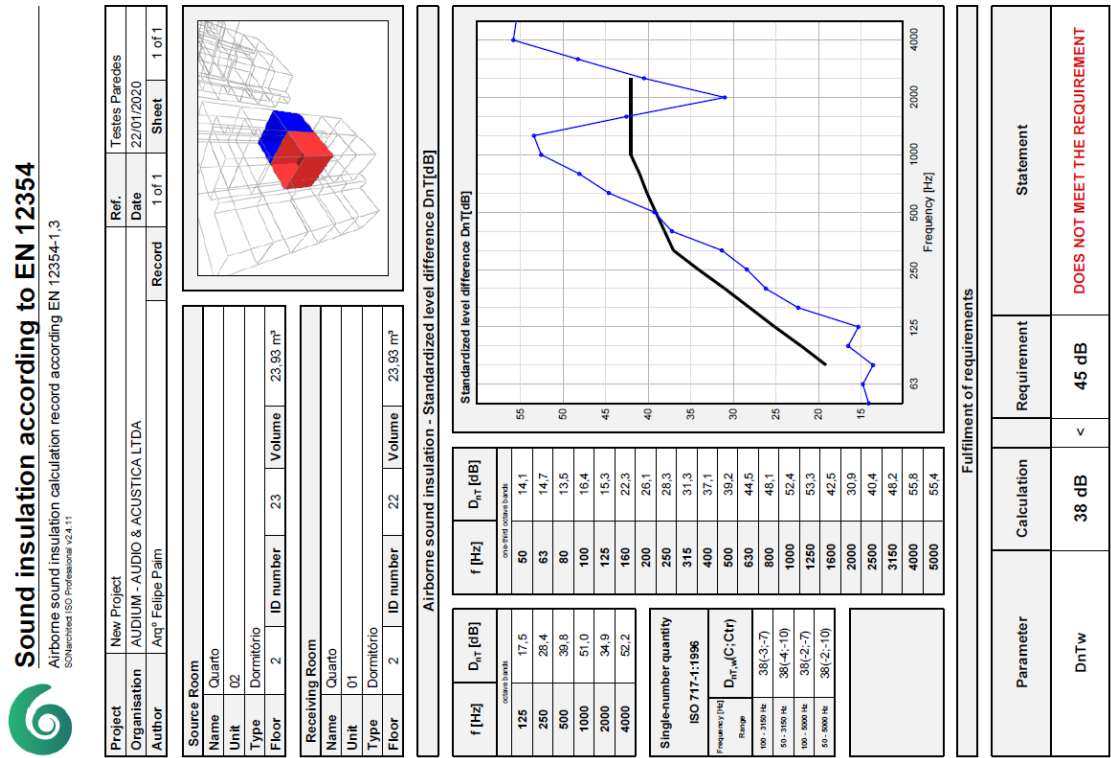
Fonte: Paim (2020).

Figura 147: Índice Dnt,w amostra A8– Dormitório – Casa Popular



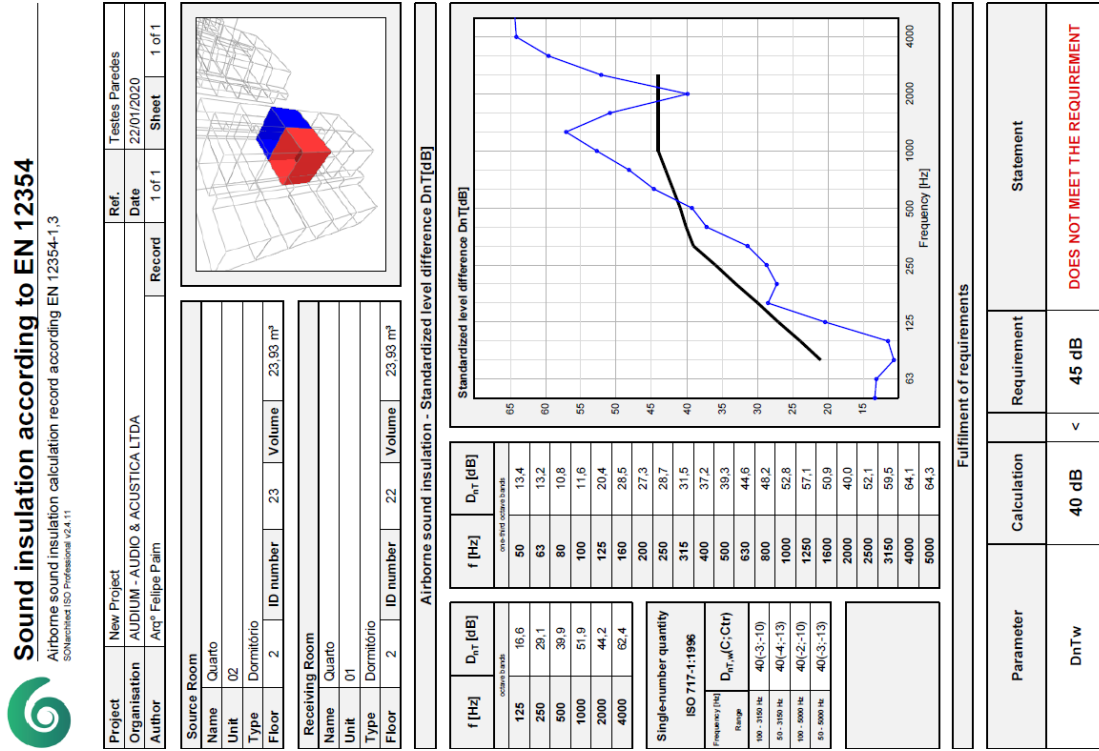
Fonte: Paim (2020).

Figura 148: Índice Dnt,w amostra B1– Dormitório – Casa Popular



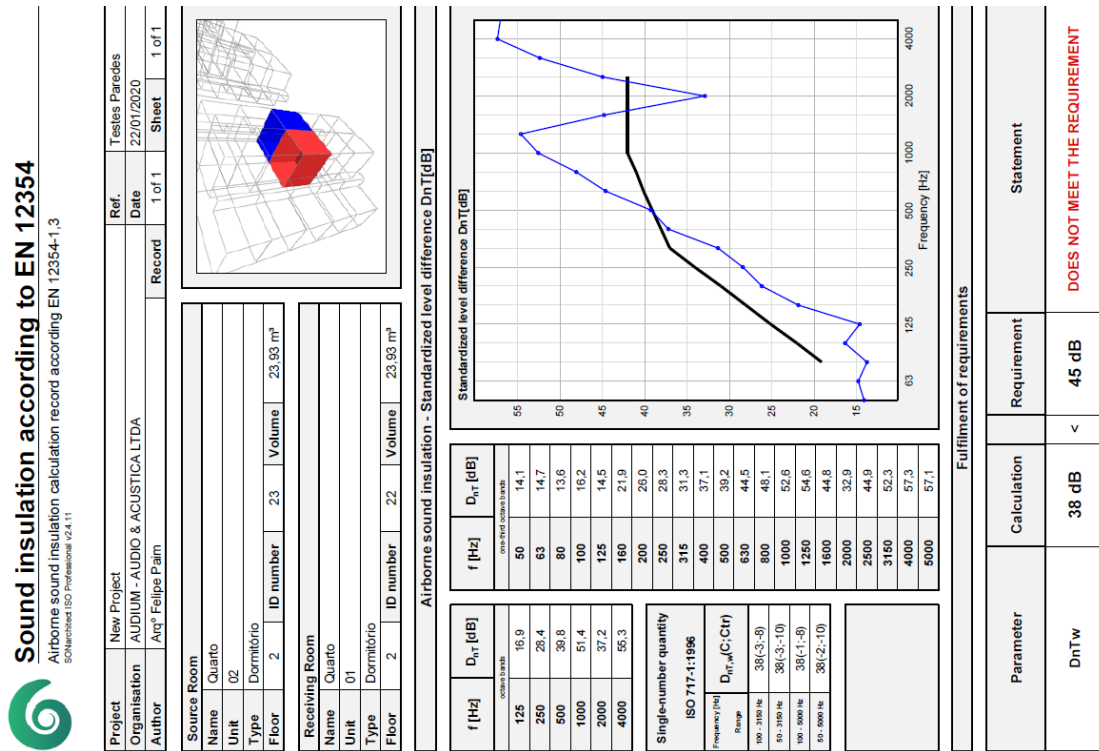
Fonte: Paim (2020).

Figura 149: Índice Dnt,w amostra B2– Dormitório – Casa Popular



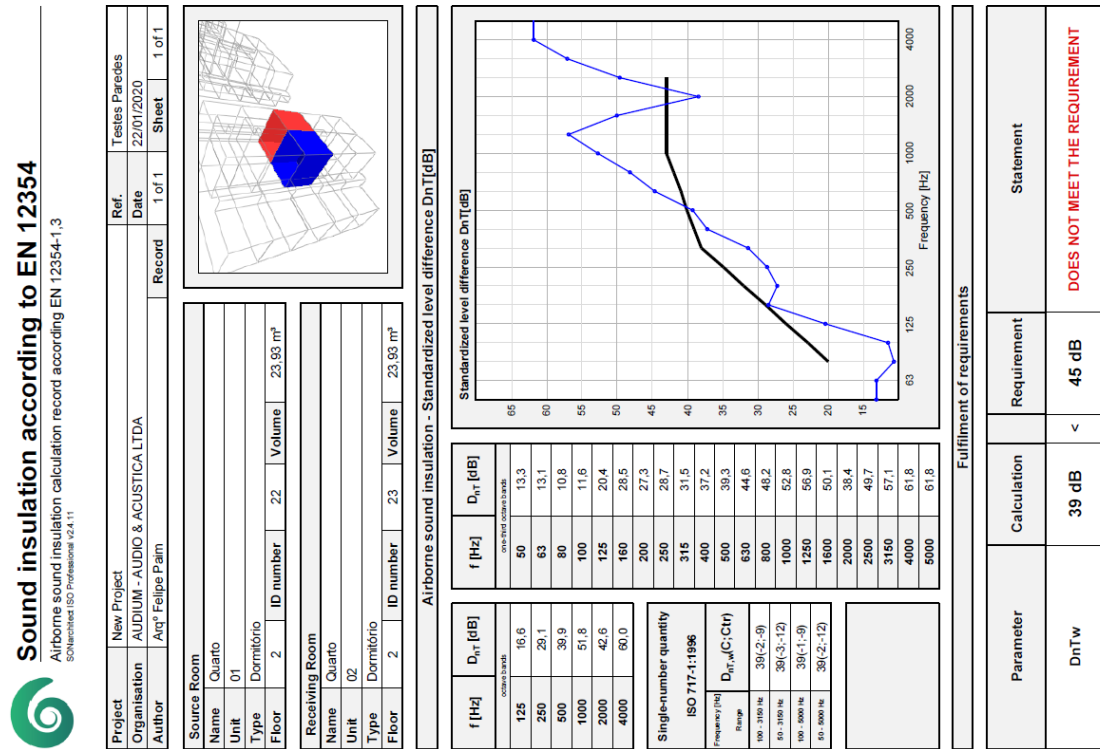
Fonte: Paim (2020).

Figura 150: Índice Dnt,w amostra C1– Dormitório – Casa Popular



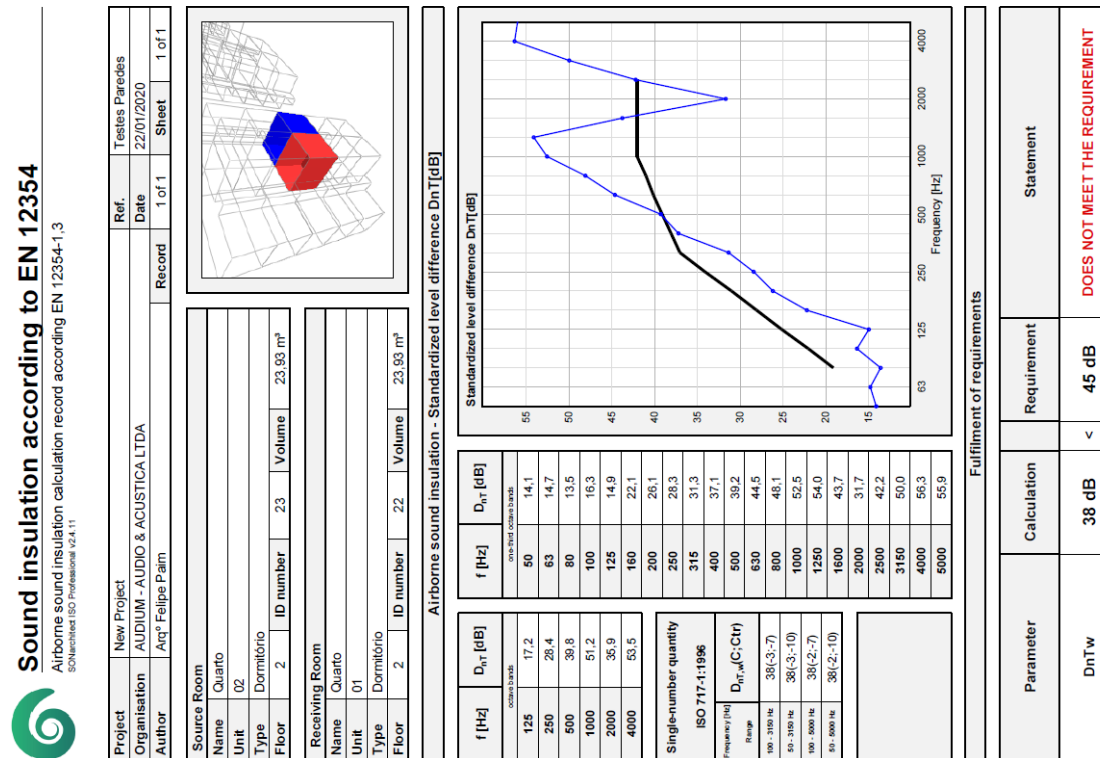
Fonte: Paim (2020).

Figura 151: Índice Dnt,w amostra C2– Dormitório – Casa Popular



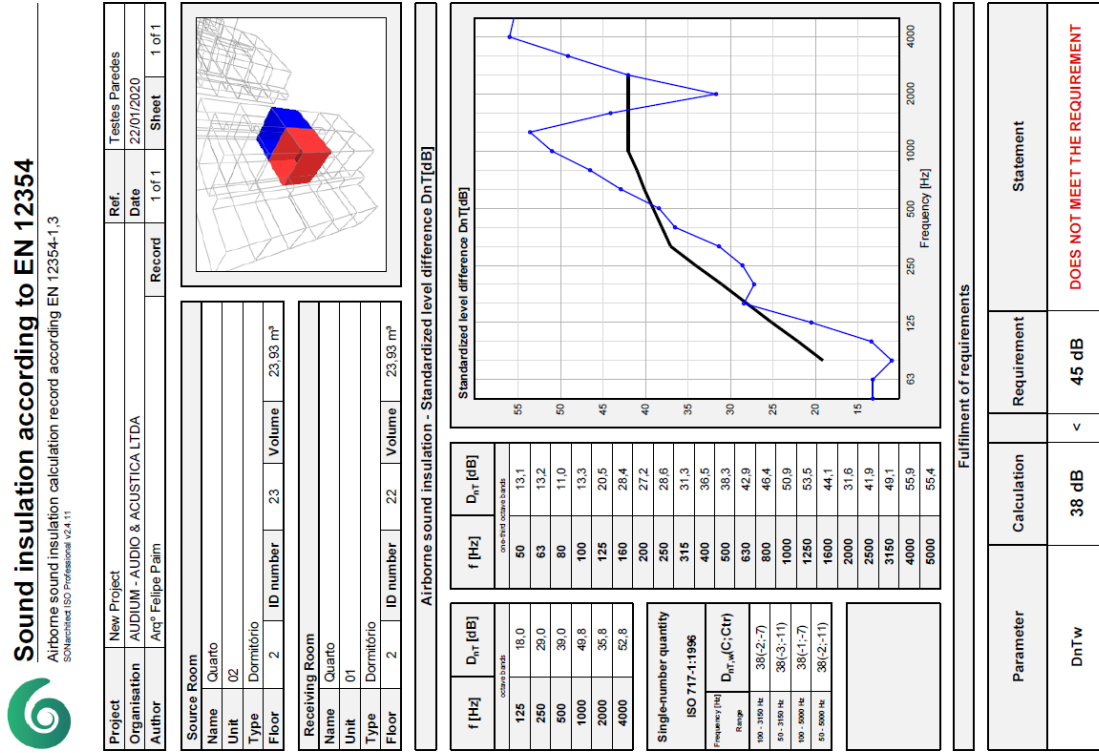
Fonte: Paim (2020).

Figura 152: Índice Dnt,w amostra D1– Dormitório – Casa Popular



Fonte: Paim (2020).

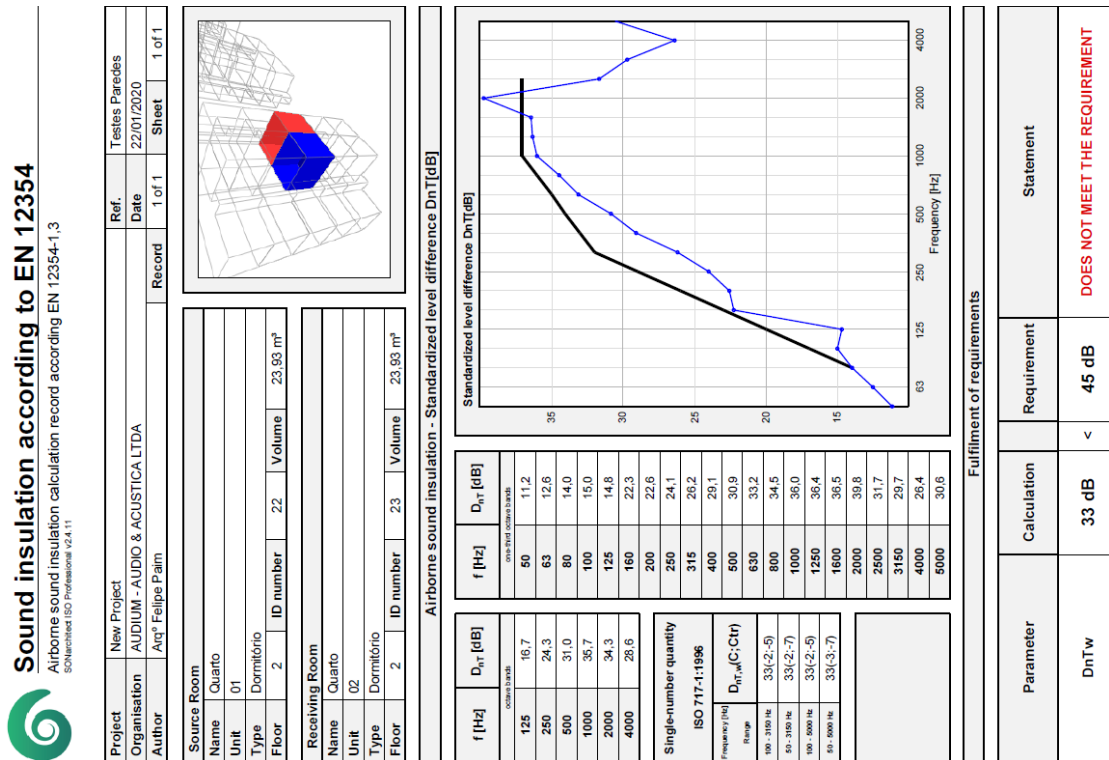
Figura 153: Índice Dnt,w amostra D2– Dormitório – Casa Popular



Report generated with SONmetest ISO - Sound of Harkens S.L. - www.sonmetest.com - Copy licensed to Diabro Saneas - AUDIUM - AUDIO & ACUSTICA LTDA

Fonte: Paim (2020).

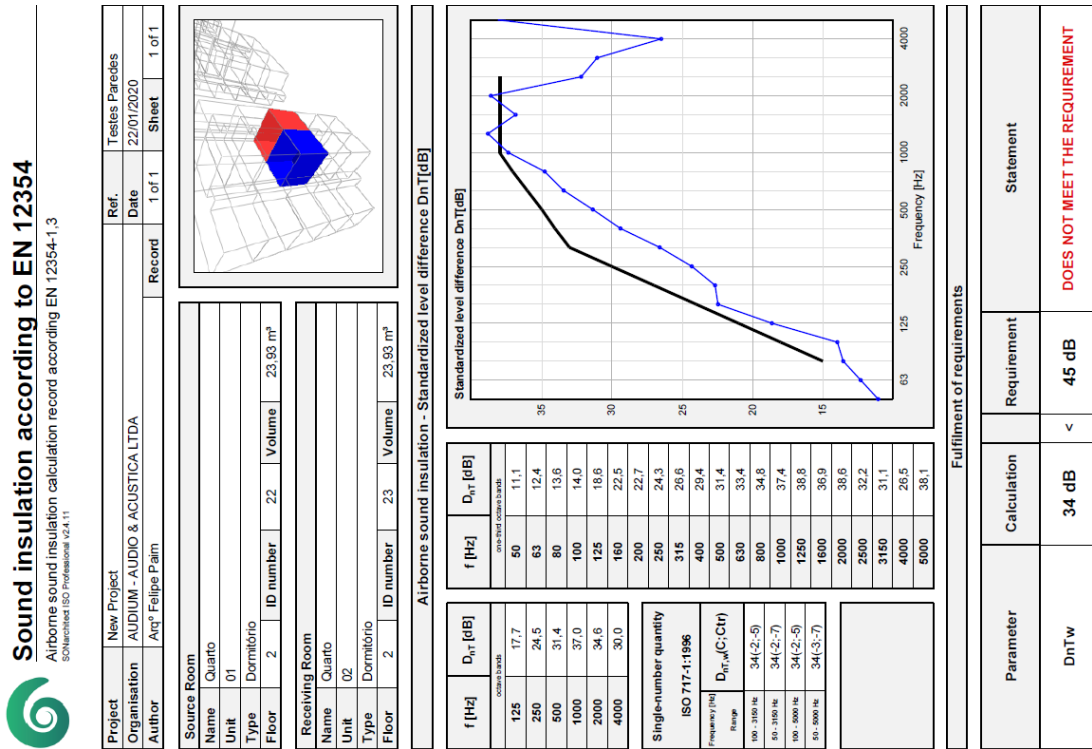
Figura 154: Índice Dnt,w amostra E1– Dormitório – Casa Popular



Report generated with SONmetest ISO - Sound of Harkens S.L. - www.sonmetest.com - Copy licensed to Diabro Saneas - AUDIUM - AUDIO & ACUSTICA LTDA

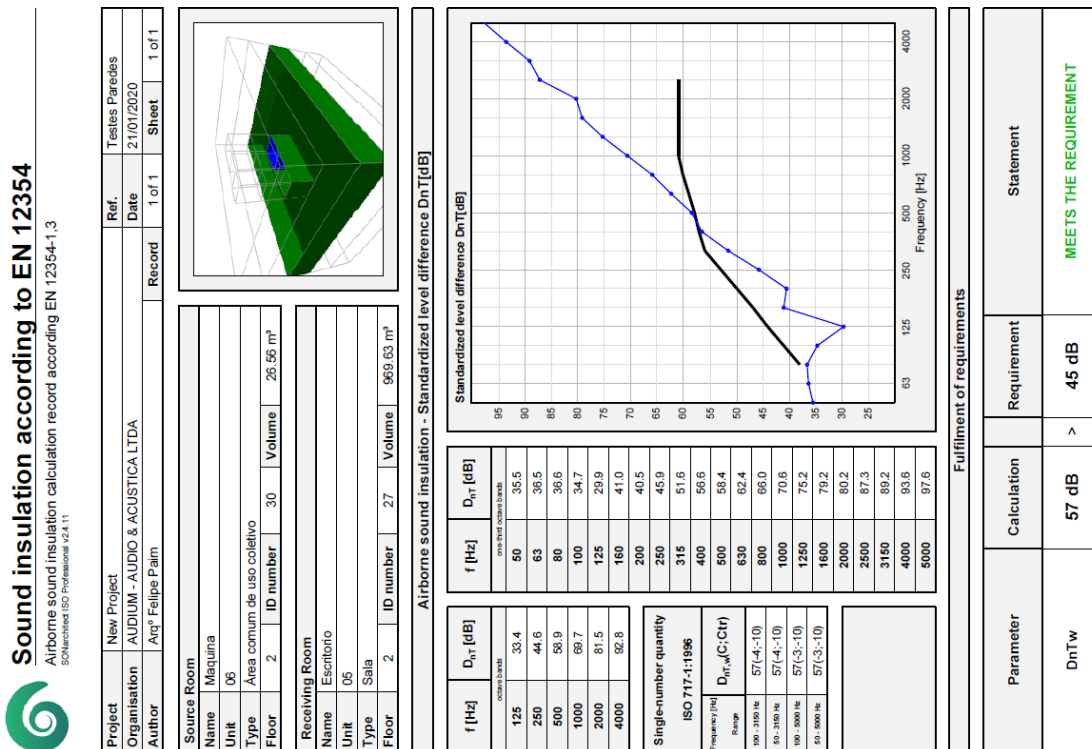
Fonte: Paim (2020).

Figura 155: Índice Dnt,w amostra E2 – Dormitório – Casa Popular



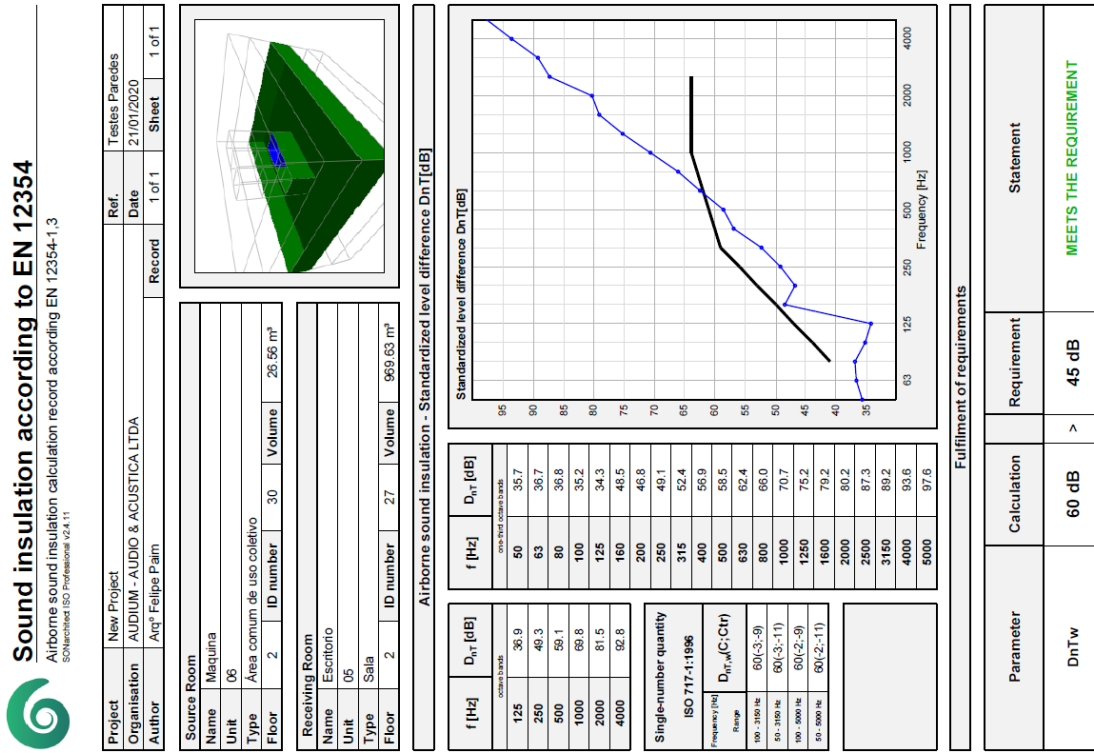
Fonte: Paim (2020).

Figura 156: Índice Dnt,w amostra A9 – Escritório



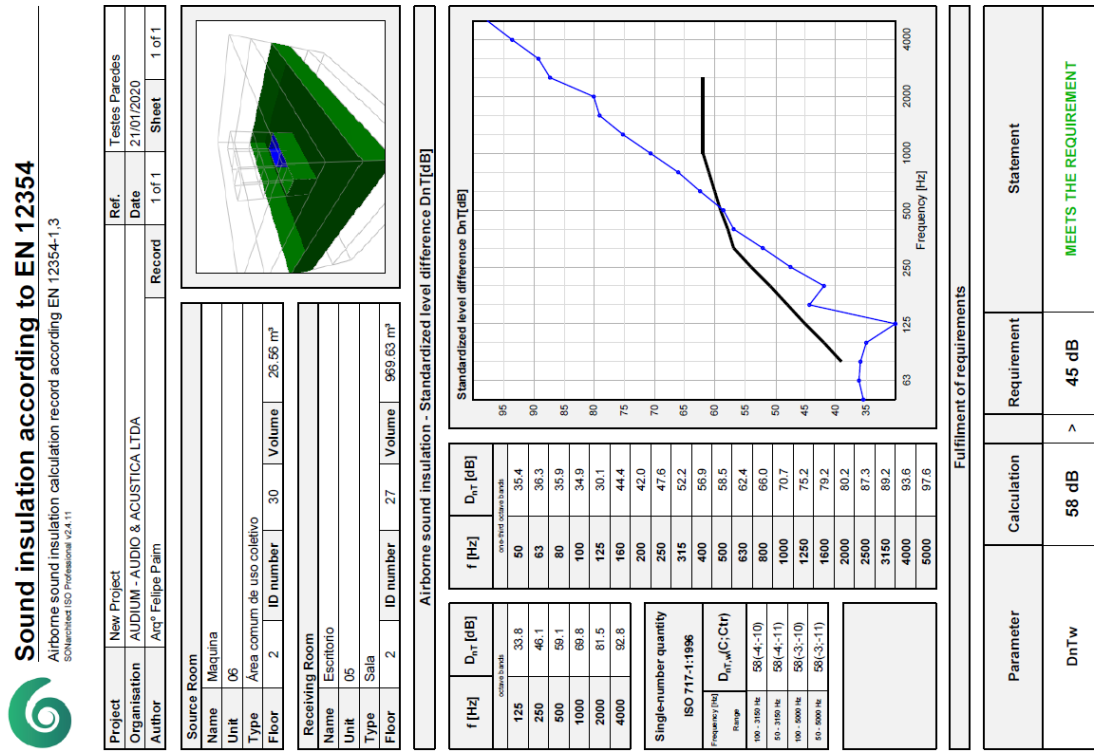
Fonte: Paim (2020).

Figura 157: Índice Dnt,w amostra A10 – Escritório



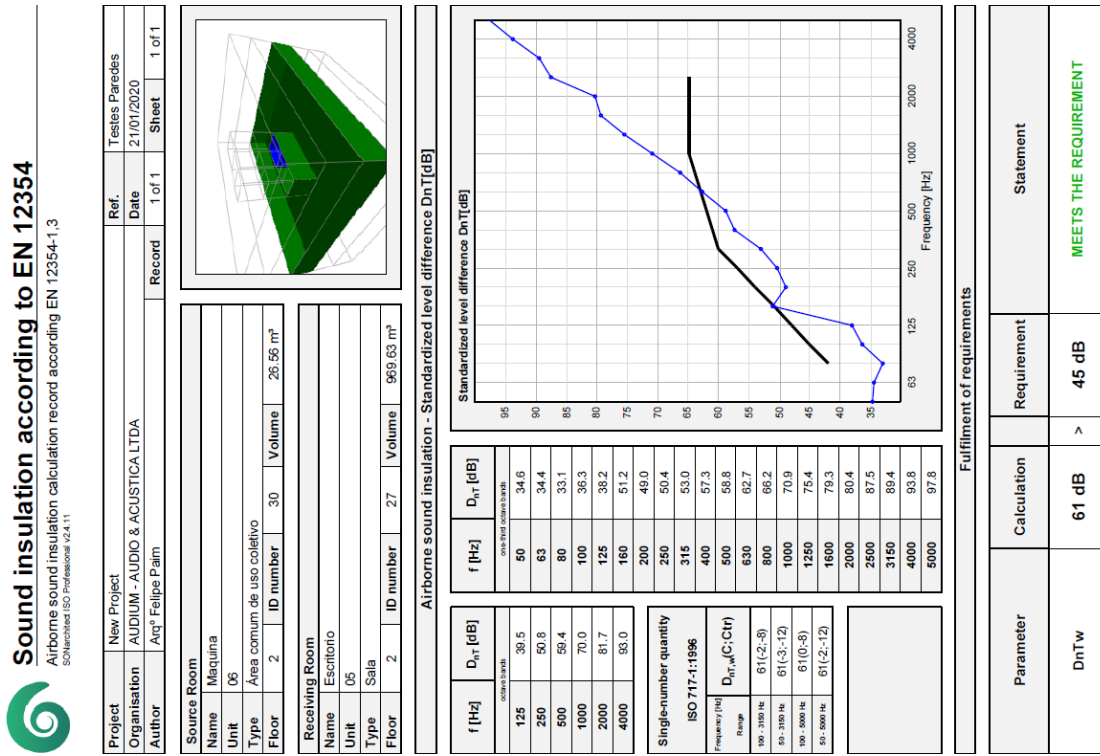
Fonte: Paim (2020).

Figura 158: Índice Dnt,w amostra A11 – Escritório



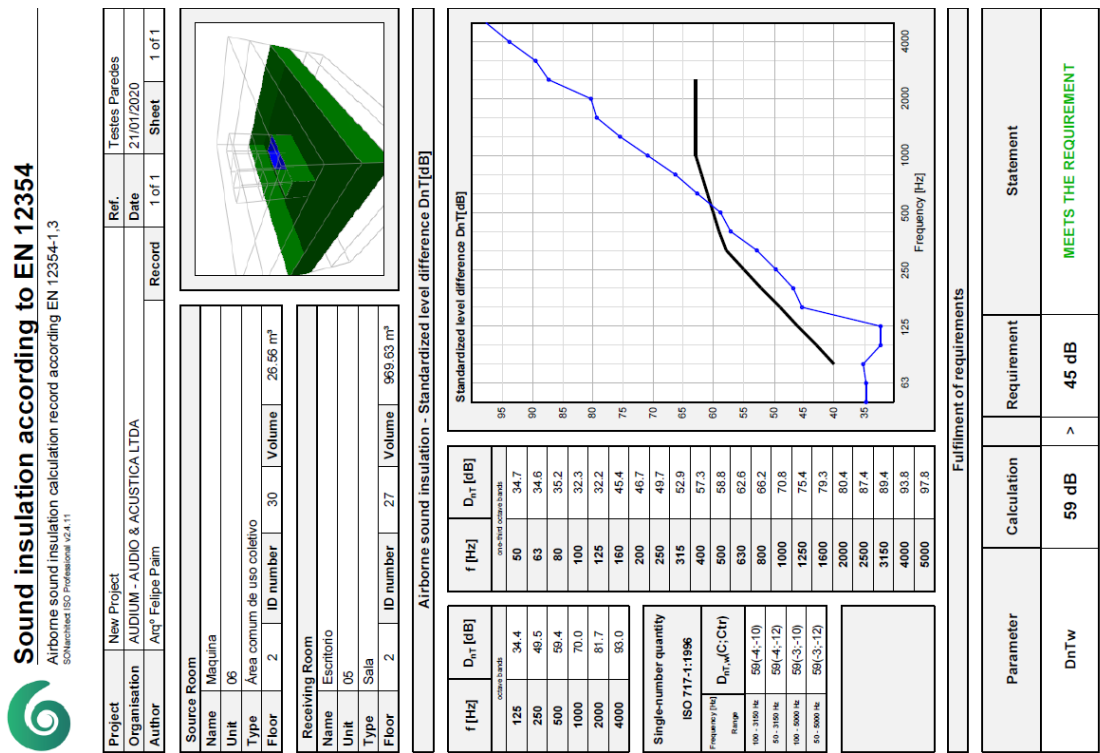
Fonte: Paim (2020).

Figura 161: Índice Dnt,w amostra A14 – Escritório



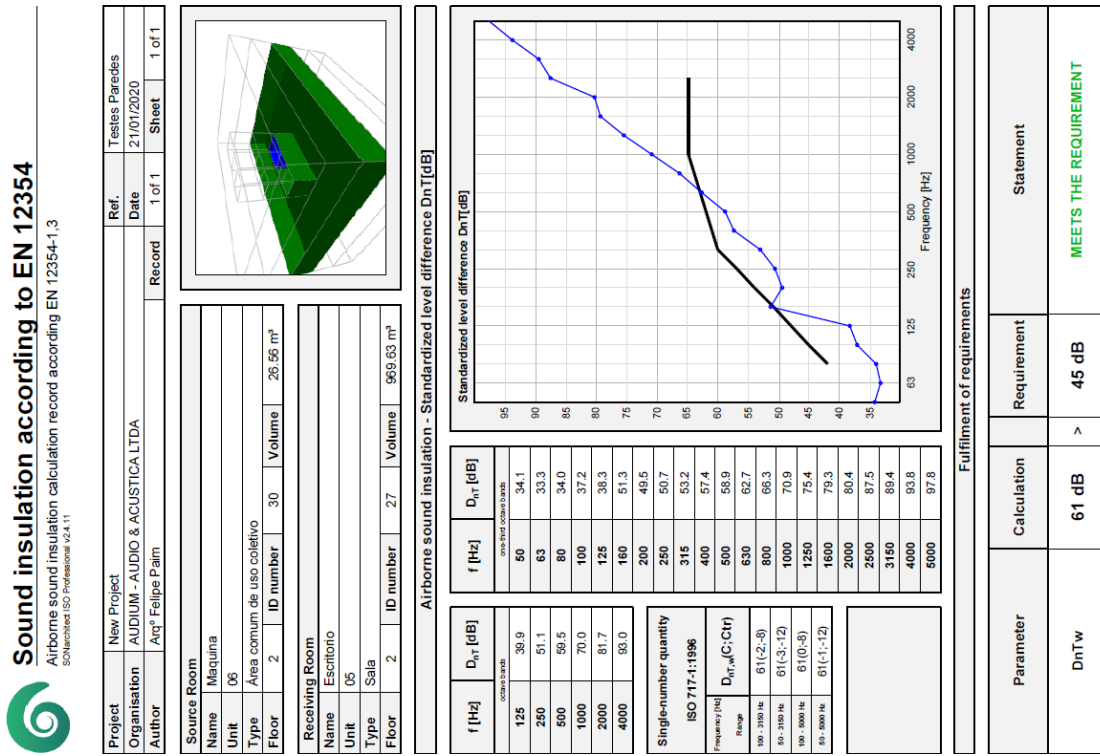
Fonte: Paim (2020).

Figura 162: Índice Dnt,w amostra A15 – Escritório



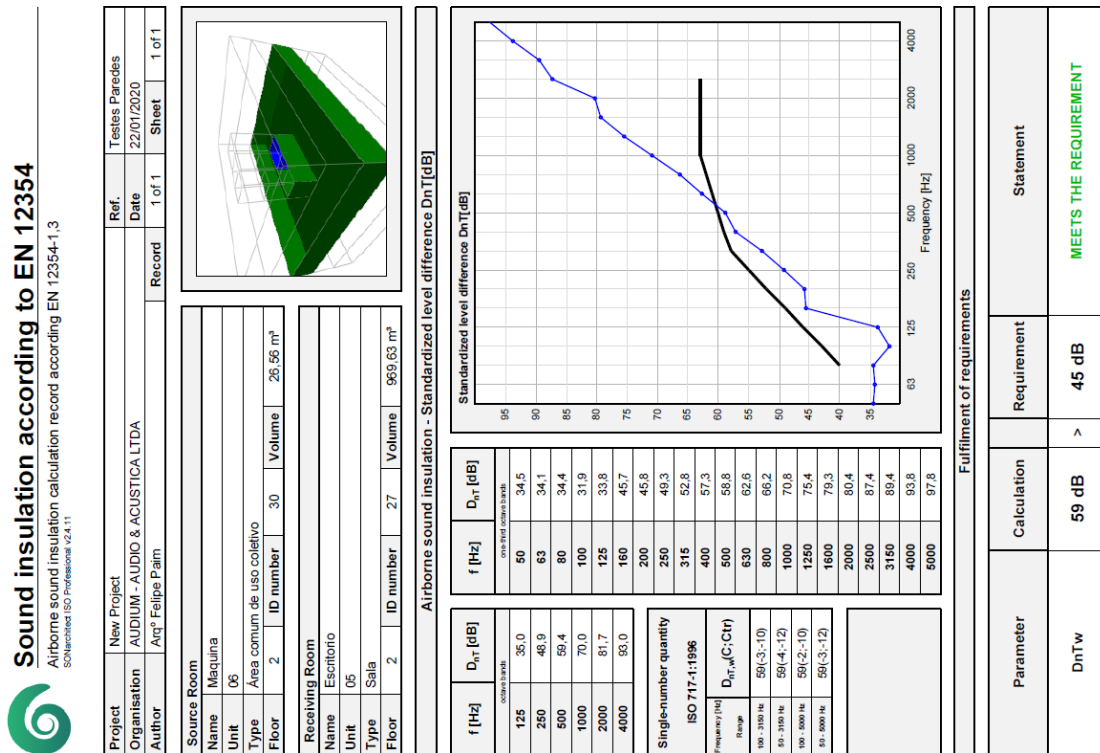
Fonte: Paim (2020).

Figura 163: Índice Dnt,w amostra A16 – Escritório



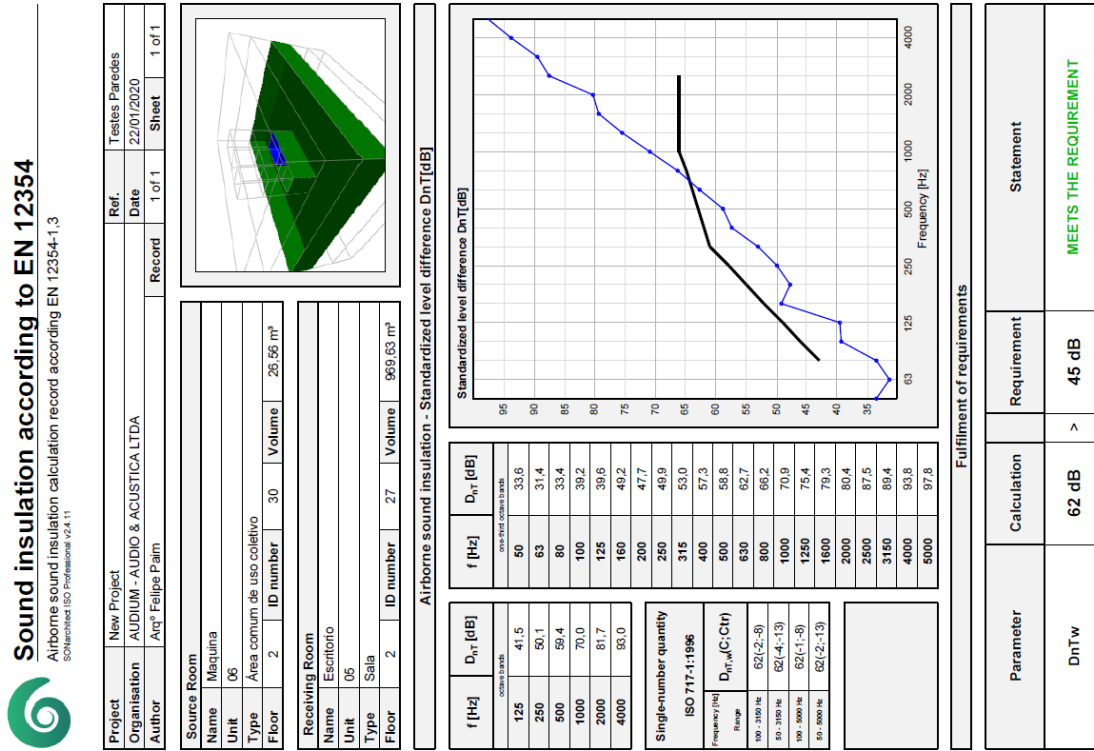
Fonte: Paim (2020).

Figura 164: Índice Dnt,w amostra B3 – Escritório



Fonte: Paim (2020).

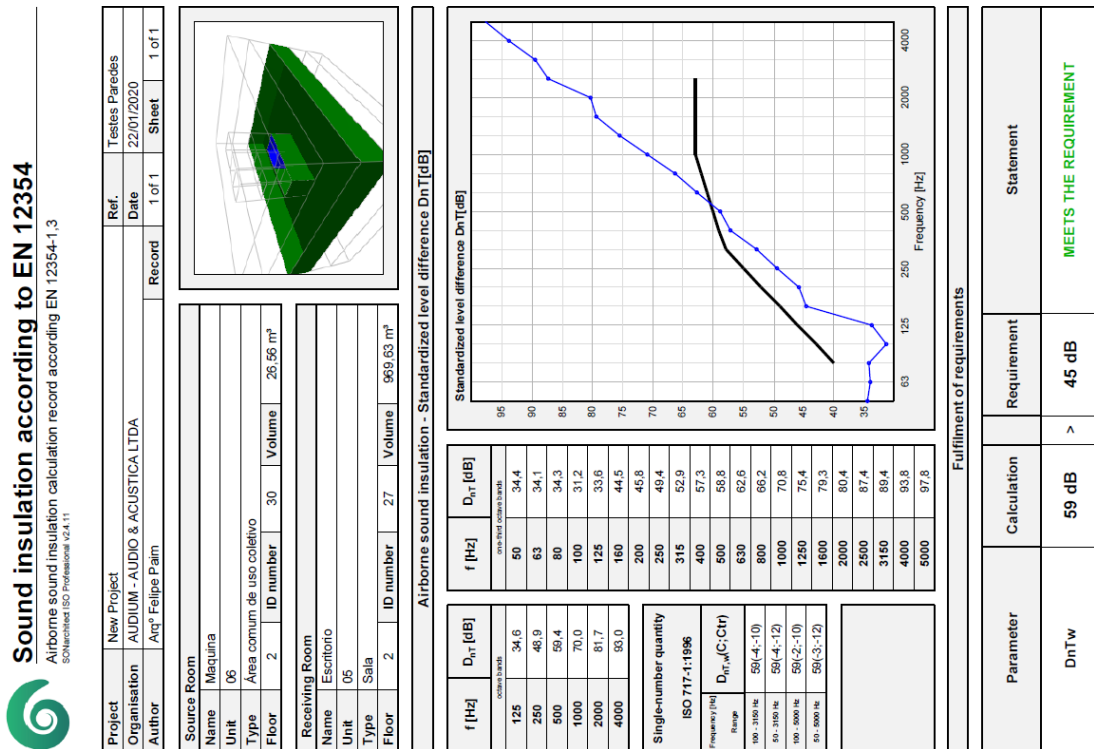
Figura 165: Índice Dnt,w amostra B4 – Escritório



Report generated with SONarTest ISO - Sound of Hübner S.L. - www.sonartest.com - Copy forward to: Osborn Barreto, AUDIUM - AUDIO & ACUSTICA LTDA

Fonte: Paim (2020).

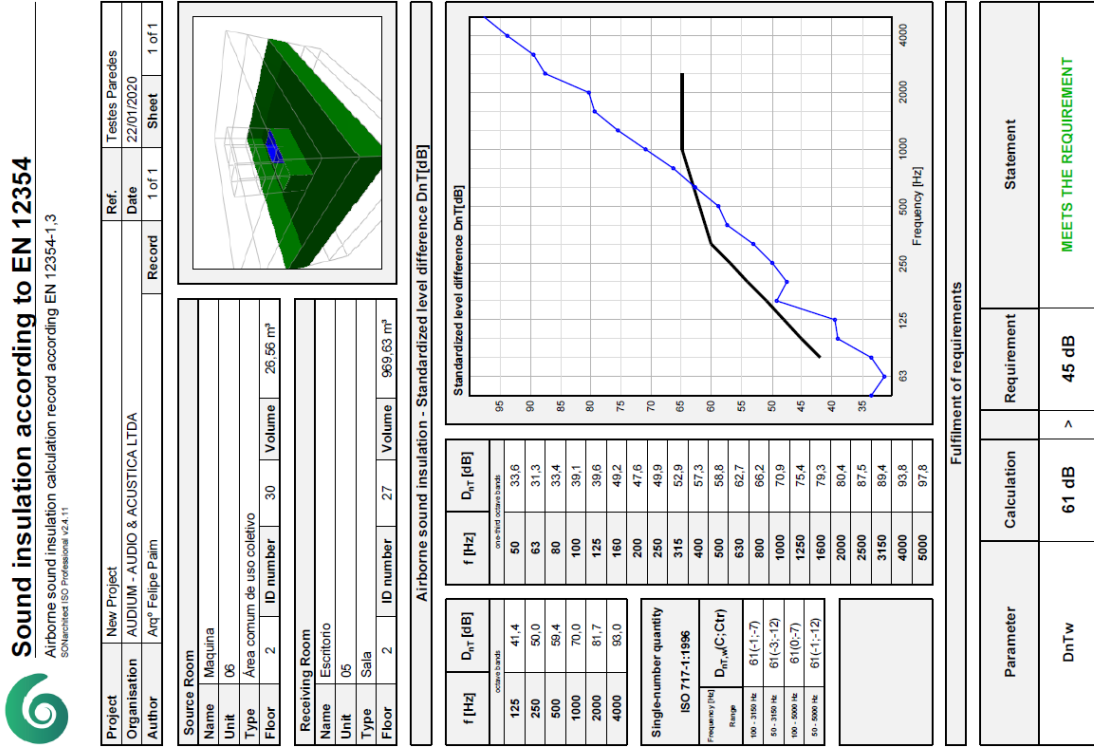
Figura 166: Índice Dnt,w amostra C3 – Escritório



Report generated with SONarTest ISO - Sound of Hübner S.L. - www.sonartest.com - Copy forward to: Osborn Barreto, AUDIUM - AUDIO & ACUSTICA LTDA

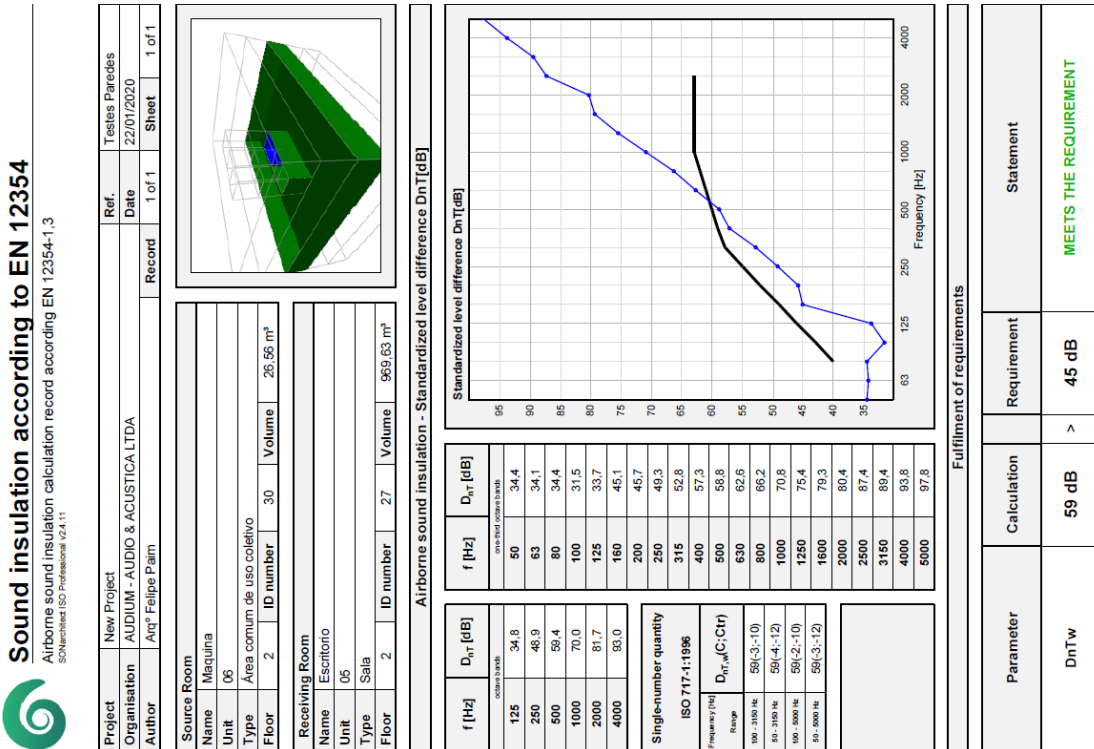
Fonte: Paim (2020).

Figura 167: Índice Dnt,w amostra C4 – Escritório



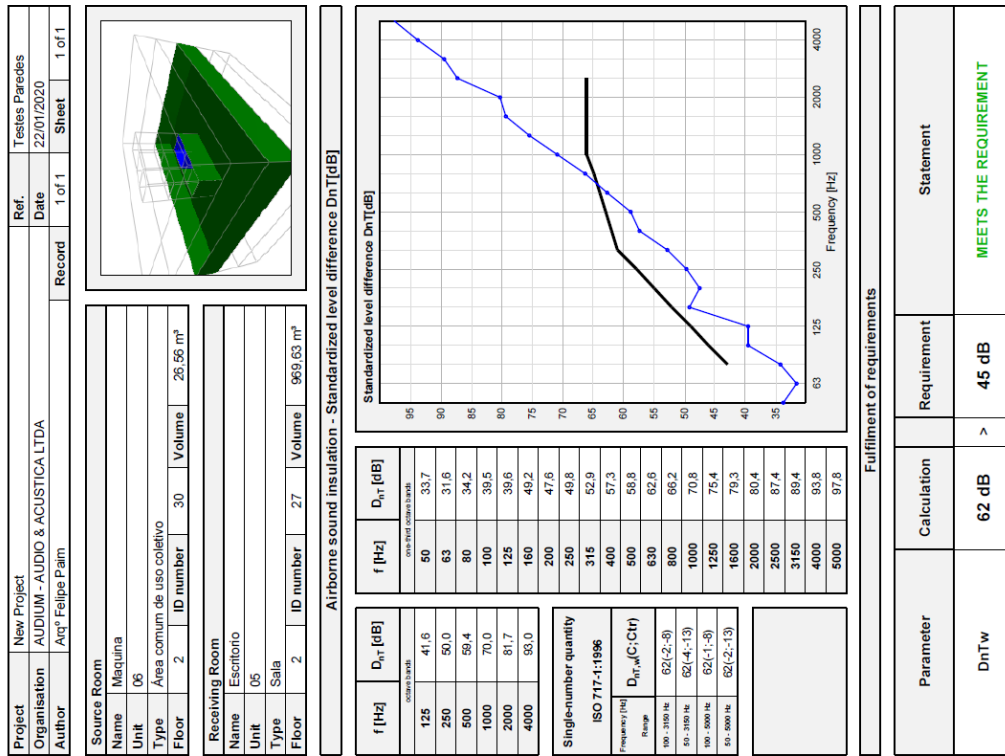
Fonte: Paim (2020).

Figura 168: Índice Dnt,w amostra D3 – Escritório



Fonte: Paim (2020).

Figura 169: Índice Dnt,w amostra D3 – Escritório



Fonte: Paim (2020).