

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LEANDRO HENRIQUE MERINO MOMBACH

O CONTROLE DA UMIDADE DE EQUILÍBRIO NO PROCESSO DE CONFEÇÃO DO
VIOLÃO PARA EXPORTAÇÃO: (de clima úmido para seco)

CURITIBA

2021

LEANDRO HENRIQUE MERINO MOMBACH

O CONTROLE DA UMIDADE DE EQUILÍBRIO NO PROCESSO DE CONFECÇÃO DO
VIOLÃO PARA EXPORTAÇÃO: (de clima úmido para seco)

Tese apresentada ao curso de Pós-Graduação em Design (PPGDesign), Setor de Artes, Comunicação e Design, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Design (Área de concentração: SPU).

Orientador: Prof. Dr. Aloísio Leoni Schmid

CURITIBA

2021

Catálogo na publicação
Sistema de Bibliotecas UFPR
Biblioteca de Artes, Comunicação e Design/Cabral
(Elaborado por: Sheila Barreto (CRB 9-1242))

Mombach, Leandro Henrique Merino.

O controle da umidade de equilíbrio no processo de confecção do violão para exportação: (de clima úmido para seco). / Leandro Henrique Merino Mombach. – Curitiba, 2021.

200 f: il. color.

Orientador: Prof. Dr. Aloísio Leoni Schmid.

Tese (Doutorado em Design) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Artes, Comunicação e Design, Programa de Pós-Graduação em Design, 2019.

1. Design. 2. Violão. 3. Anisotropia. 4. Climatologia. I. Título.

CDD 745.2



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE ARTES COMUNICAÇÃO E DESIGN
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DESIGN -
40001016053P0

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação DESIGN da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **LEANDRO HENRIQUE MERINO MOMBACH** intitulada: **O CONTROLE DA UMIDADE DE EQUILIBRIO NO PROCESSO DE CONFECCAO DO VIOLAO PARA EXPORTACAO: (De clima umido para seco)**, sob orientação do Prof. Dr. ALOÍSIO LEONI SCHMID, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 15 de Março de 2021.

Assinatura Eletrônica
20/10/2021 15:40:15.0
ALOÍSIO LEONI SCHMID
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica
21/10/2021 10:22:31.0
ORLANDO CÉZAR FRAGA
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE ESTADUAL DO PARANÁ -
CAMPUS I - EMBAP)

Assinatura Eletrônica
20/10/2021 15:36:27.0
JUAREZ BERGMANN FILHO
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica
20/10/2021 18:22:31.0
STEPHANIA PADOVANI
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica
23/10/2021 08:13:29.0
RICARDO JORGE KLITZKE
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ -
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA FLORESTAL)

Dedicatória. . .

- Dedico este projeto aos que me tornaram o que sou: meus mestres ascensos, meus pais, minha amada parceira Edi Martini Mombach, meus filhos Victor e Valéria, meus irmãos, meus saudosos mestres Carlo Minelli, Enzo Bertelli, Guerriero Spataffi, Francesco Bissolotti, Gio Batta Morassi e aos que sempre estiveram presentes direta ou indiretamente em todos os momentos de minha formação como cidadão, luthier e professor.

AGRADECIMENTOS

Aos discentes do curso superior de luteria, funcionários e colegas docentes do Setor de Educação Profissional Tecnológica do Paraná, aos colegas do Curso Superior de Tecnologia em Luteria da UFPR, ao Departamento de Engenharia Florestal da UFPR. Especialmente ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Design da UFPR pela oportunidade, particularmente ao grande amigo e professor Dr. Aloísio Leoni Schmid pelo contínuo estímulo e suporte nesta pós-graduação e à professora Dra. Stephania Padovani que, acreditando no potencial deste trabalho viabilizou junto ao Programa de Pós Graduação em Design, a progressão do mestrado para um doutorado que não teria acontecido.

À professora Dra. Graziela Ines Bolzón De Muniz pelo apoio à introdução da pesquisa do Curso Superior de Tecnologia em Luteria do Paraná no ambiente do Departamento de Engenharia Florestal da UFPR, com a indicação do professor Dr. Pedro Henrique Gonzalez de Cademartori.

Ao professor Dr. Pedro Henrique Gonzalez de Cademartori, do departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, pela pronta disponibilidade e a valiosa orientação no início do processo de construção desta tese e também por sua participação junto à banca de qualificação.

Ao professor Dr. Ricardo Jorge Klitzke, do departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade de aprender com um dos maiores especialista da área de secagem da madeira no Brasil, pela co-orientação nos processos conclusivos de preparação e avaliação da secagem das amostras e a gentileza de estar sempre disponível para os meus questionamentos.

Ao professor Dr. Orlando César Fraga, por acreditar neste trabalho e ter sempre mostrado parceria no desenvolvimento de novos projetos do curso de luteria.

Ao colega professor Dr. Juarez Bergmann Filho, pelo incentivo e os muitos conselhos durante a construção desta pesquisa.

SOBRE O AUTOR

Co-mentor e professor do Curso Superior de Tecnologia em Luteria da Universidade Federal do Paraná, Iniciou na área da luteria em 1984 como aprendiz e ajudante do Luthier Carlo Minelli na cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. Posteriormente foi aluno de Enzo Bertelli em São Paulo, Brasil. Concluiu sua formação com Guerriero Spataffi na Escola Maestri Liutai di Gubbio / Itália em 1993. Nestes 37 anos de dedicação e aperfeiçoamento no ramo da luteria no Brasil e no exterior, acompanha as transformações do mercado nacional e internacional nas quatro áreas que compõem a atividade do luthier, (confeção, comércio, manutenção e restauração de instrumentos de cordas). Confeccionou diversas dezenas de instrumentos musicais, distribuindo-os pelo Brasil e pelo mundo. Atuou também como lojista comercializando instrumentos musicais e acessórios majoritariamente importados da Ásia, Japão, diversos países da Europa e EUA. Esta experiência ocorreu com a extinta empresa “Mombach Instrumentos Musicais” com mais de 34.000 atendimentos referentes a serviços de restauração de pequeno a grande porte, regulagens, manutenção e confecção de instrumentos novos.

RESUMO

Esta pesquisa faz um resumo dos fatores causadores dos distúrbios estruturais do violão, motivados por processos naturais de variação dimensional da madeira, quando exposta à condição de umidade relativa e temperatura do ar, inferiores ou superiores do clima ao qual já estava aclimatada. Variações climáticas intensas podem gerar diversos problemas estruturais no violão que necessita ser confeccionado sob certas condições de umidade relativa do ar e temperatura no ambiente de produção. Estes fatores motivaram a pergunta desta pesquisa: Como controlar em um atelier de luteria a umidade de equilíbrio das madeiras de um violão confeccionado para climas de destino seco e super-seco? Este trabalho responde as necessidades do Brasil (país de clima tropical úmido), se destina aos luthiers que pretendem exportar violões ou outros instrumentos de madeira, para países com clima predominantemente seco ou super-seco. Considerando o custo energético elevado para climatizar o inteiro ambiente de produção de instrumentos musicais (ateliers de luteria), optou-se com este, climatizar um pequeno ambiente, um protótipo de câmara climática que ordena as etapas de confecção do violão, pré estabelecendo a umidade final de suas madeiras em níveis compatíveis aos da região para onde se destina o instrumento. Os experimentos foram realizados com quatro espécies de madeira tradicionalmente usadas na luteria, com características anatômicas e densidades diferentes, cujo objetivo era evidenciar suas peculiaridades durante o processo de secagem. Tendo em vista a realidade do luthier brasileiro, a complexidade dos fatores envolvidos nas questões de secagem dos diferentes tipos de madeira, a câmara climática proposta neste trabalho, atendeu os principais requisitos estipulados, como: baixo consumo energético, baixo custo de seus materiais e equipamentos, fácil montagem e desempenho capaz de climatizar os instrumentos para qualquer país de clima seco do planeta.

Palavras chave: Design. Violão. Anisotropia da madeira. Climatologia.

ABSTRACT

This research summarizes the factors that cause the guitar's structural disturbances, motivated by natural processes of dimensional variation in wood when exposed to relative humidity and air temperature, lower or higher than the climate to which it was already acclimated. Intense climatic variations can generate several structural problems in the guitar that needs to be made under certain conditions of relative air humidity and temperature in the production environment. These factors motivated the question of this research: How to control, in a luthery atelier, the equilibrium humidity of the woods of a guitar made for dry and super-dry climates? This work responds to the needs of Brazil (a country with a humid tropical climate), is intended for luthiers who intend to export guitars or other wooden instruments to countries with a predominantly dry or super-dry climate. Considering the high energy cost to acclimatize the entire environment for the production of musical instruments (luthery workshops), it was decided to acclimatize a small environment with this, a prototype of a climatic chamber that organizes the steps of making the guitar, pre-establishing the humidity end of its wood at levels compatible with those of the region where the instrument is destined. The experiments were carried out with four species of wood, traditionally used in lutheria, with different anatomical characteristics and densities, whose objective was to highlight their peculiarities during the drying process. Considering the reality of the Brazilian luthier, the complexity of the factors involved in the drying issues of different types of wood, the climatic chamber proposed in this work met the main stipulated requirements, such as: low energy consumption, low cost of materials and equipment, easy to assemble and performance capable of acclimatizing the instruments for any dry climate country on the planet.

Keywords: *Design. Acoustic guitar. Wood anisotropy. Climatology.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – “O Luthier”	21
Figura 2 – Violoncelo “Duport”, confeccionado por Antonius Stradivarius em 1711	23
Figura 3 – Demonstrativo dos valores de importação de instrumentos musicais no Brasil	30
Figura 4 – Esquema simplificado da relação entre as espécies de árvores e o tipo de madeira	44
Figura 5 – Seção de um tronco típico de dicotiledônea e gimnosperma	45
Figura 6 – Seções transversais de (A) conífera e (B) árvore folhosa (latifoliada)	46
Figura 7 – Detalhamento da estrutura celular de folhosa e conífera	47
Figura 8 – Como se supõe que ocorra o processo de transferência da água capilar para superfície na madeira verde (recém-cortada)	48
Figura 9 – Os três principais sentidos anatômicos da madeira	50
Figura 10 – Alteração do gradiente de umidade em uma peça de madeira conforme o tempo de secagem	51
Figura 11 – Gradiente de umidade da madeira com reduzida permeabilidade	52
Figura 12 – Gradiente de umidade de madeira com alta permeabilidade	52
Figura 13 – Gradiente de umidade para madeiras com permeabilidade moderada	53
Figura 14 – Deformação por secagem, conforme a posição da peça na tora	54
Figura 15 – Representação esquemática da variação da capacidade de absorção de vapor de água da mesma porção de ar variando a temperatura	59
Figura 16 – Secagem natural de madeira em ambiente protegido	63
Figura 17 – Exemplos de disposição da madeira para secagem natural. (A) Empilhamento horizontal. (B) Seção de tronco fatiado. (C) Tábuas dispostas verticalmente em forma de tesoura	63
Figura 18 – Diagrama e imagem de uma estufa solar	65
Figura 19 – Visão geral da estrutura e do funcionamento de uma estufa de secagem de madeira serrada	66
Figura 20 – Representação gráfica dos percentuais de umidade na madeira, do momento do corte aos valores sugeridos para a exportação.	67
Figura 21 – Exemplos de medidores elétricos de agulha	69
Figura 22 – Exemplos de medidores de umidade de contato (reativos ou capacitivos)	70
Figura 23 – Violão clássico-romântico, confeccionado por Louis Panormo, 1832	73
Figura 24 – Antonio de Torres Jurado e um de seus violões	74
Figura 25 – Laboratório de acústica em ateliê de luteria moderno	76
Figura 26 – Sistema de “treliça” de madeira com fibra de carbono colado sob o tampo frontal do violão	77
Figura 27 – Sessão da roseta de um violão ampliada	78

Figura 28 – Identificação das partes que compõem o violão	79
Figura 29 – Estoque padrão para as madeiras da luteria de violões, nesta imagem: fundos, tampos e laterais	84
Figura 30 – Tabiques separando escalas de ébano	85
Figura 31 – Sistema de estocagem com a madeira pressionada	86
Figura 32 – Silhueta da caixa de ressonância	87
Figura 33 – Fôrmas da luteria	88
Figura 34 – Método da fôrma interna	89
Figura 35 – Método da fôrma externa	90
Figura 36 – Forma externa aberta para fixação do braço	90
Figura 37 – Método de construção “sem fôrma”	91
Figura 38 – Mapa do clima no Brasil	94
Figura 39 – Algumas das principais fábricas de instrumentos musicais do Brasil e os respectivos estados onde operam	95
Figura 40 – Zonas climáticas da terra	96
Figura 41 – Temperatura média anual do planeta	96
Figura 42 – Média anual da umidade do planeta	97
Figura 43 – Teores de umidade de equilíbrio recomendados para diversas regiões dos EUA.	101
Figura 44 – Representação gráfica do que ocorre com a superfície do tampo e do fundo do violão em diferentes níveis de umidade relativa do ar	104
Figura 45 – Resumo do processo de aclimação da madeira	109
Figura 46 – Elaborada pelo autor	109
Figura 47 – Partes do violão consideradas nesta pesquisa	111
Figura 48 – Dimensões do espaço de trabalho no interior da câmara climática, vistas (A) e (B)	116
Figura 49 – Posição dos pontos de medição da velocidade do ar nas extremidades da área de trabalho no interior da câmara climática	117
Figura 50 – Estrutura para a fixação do anemômetro	118
Figura 51 – Localização dos pontos para a medição de temperatura no interior da câmara climática	119
Figura 52 – Estrutura para a fixação dos termopares na área de trabalho	120
Figura 53 – Fiação dos termômetros digitais acessando a câmara climática pela abertura de acesso rápido	120
Figura 54 – Dimensões de comprimento, espessura e largura utilizadas para a con- fecção das amostras	122
Figura 55 – Conjunto das amostras e os elementos que compõem a câmara úmida .	123
Figura 56 – Sugestão de suporte para a secagem da madeira no interior da câmara climática, visão de topo e lateral	124

Figura 57 – Suporte para as avaliações de secagem da câmara climática	124
Figura 58 – Junção das chapas de compensado naval	128
Figura 59 – Visão frontal do compartimento de aclimação com algumas medidas do posicionamento da janela	129
Figura 60 – Visão frontal do compartimento de aclimação com a porta de acesso concluída	129
Figura 61 – Forração com a manta térmica concluída	130
Figura 62 – Esquema simplificado de estufa de secagem de madeira	131
Figura 63 – Representação da circulação do ar na primeira configuração do interior da câmara climática	132
Figura 64 – Visão superior da divisória interna utilizada na primeira versão do compartimento de aclimação com dois exaustores	132
Figura 65 – Interior do compartimento de aclimação com 3 áreas úteis de trabalho	133
Figura 66 – Esquema de funcionamento de uma desidratadora elétrica de alimentos	134
Figura 67 – Visão interna do compartimento de aclimação em sua segunda configuração	134
Figura 68 – Imagem das divisórias Ad e Cd no interior do compartimento de aclimação	135
Figura 69 – Distribuição do ar no interior do CA. As setas indicam o movimento ascendente na parte central e descendente pelas estruturas de condução laterais	136
Figura 70 – Identificação das partes que compõem o interior do compartimento de aclimação	137
Figura 71 – (A e B) posicionamento dos sopradores térmicos no vão superior do compartimento de aclimação. (C e D) encaixe do soprador térmico na estrutura de condução do ar	138
Figura 72 – Botões de acionamento dos sopradores térmicos e o bico dispersor do ar	139
Figura 73 – Representação da estrutura do estrado pronto, visão superior	140
Figura 74 – O estrado finalizado no interior do compartimento de aclimação	140
Figura 75 – A diferença na distribuição do ar ascendente entre o centro do estrado e suas extremidades	141
Figura 76 – Imagem (A), estrado finalizado com cobertura de tela. (B) tela flexível de poliamida	141
Figura 77 – As divisões do estrado e suas dimensões	142
Figura 78 – Conjunto de medidas do CA concluído	143
Figura 79 – Posição da chave seletora no desumidificador de ar (ajuste da umidade relativa desejada)	145
Figura 80 – Esquema do funcionamento de um desumidificador de ar	146

Figura 81 – Etapas do desmonte do desumidificador de ar, (1) visão frontal, (2) visão da traseira, (3) ventilador na parte frontal sobre o motor do compressor, (4) espiral do condensador na parte traseira e (5) fixação do desumidificador em uma lâmina de madeira compensada	147
Figura 82 – Isolamento inicial dos componentes do desumidificador de ar no processo de adaptação à câmara de aclimação	148
Figura 83 – Bandeja para a coleta da água de condensação com a mangueira de drenagem adaptada	148
Figura 84 – Etapas: (1) remoção do ventilador, (2) confecção do eixo de extensão e (3) filetagem das extremidades	149
Figura 85 – Etapas: (4) Fixação da hélice ao eixo, (5) fixação do eixo no motor e (6) adaptação concluída	150
Figura 86 – Etapas: (7) Regulagem da hélice junto ao dissipador de calor, (8) Alinhamento do eixo do motor e (9) fixação do motor na estrutura do desumidificador	151
Figura 87 – Etapas: (10) Motor posicionado fora do sistema de ar da CA e (11) sistema de ar fechado	151
Figura 88 – Adaptação do desumidificador reconFigurado	152
Figura 89 – Instalação dos tubos de condução do ar seco	152
Figura 90 – Instalação do desumidificador concluída	153
Figura 91 – Visão frontal e superior do desumidificador sobre a câmara de aclimação, medidas e identificação de suas partes	154
Figura 92 – A movimentação do ar no interior da câmara climática, vista frontal A e lateral B	155
Figura 93 – Dispositivos do painel de controle da câmara climática	156
Figura 94 – Esquema da ligação entre os componentes elétricos da câmara climática	156
Figura 95 – Média da velocidade do ar no interior da câmara climática, por ponto de medição	162
Figura 96 – Temperatura média nos pontos de medição	169
Figura 97 – Amostras de cedro confeccionadas para a pesquisa	180
Figura 98 – Caixa acústica de violão confeccionada conforme o processo sugerido neste trabalho	189

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resultado das medições da velocidade do ar (m/s) no interior da câmara climática	160
Quadro 2 – Temperaturas na primeira medição	163
Quadro 3 – Temperaturas na segunda medição	165
Quadro 4 – Temperaturas na terceira medição	167

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Itens correspondentes aos assuntos de interesse da pesquisa e a relação destes com os objetivos específicos	35
Tabela 2 – Listagem das obras mais significativas para esta pesquisa	36
Tabela 3 – Instituições de ordem governamental e privadas que forneceram material para esta pesquisa	39
Tabela 4 – Apresenta os valores (T/R) empregados para a classificação da madeira, de acordo com seu fator de anisotropia específico	55
Tabela 5 – Grau de estabilidade de algumas madeiras brasileiras entre 3 espécies de eucaliptos	56
Tabela 6 – Coeficiente de anisotropia de algumas das principais madeiras estrangeiras, utilizadas na luteria	58
Tabela 7 – Relação entre a temperatura e a velocidade do ar nas quatro categorias de secagem mais praticadas	61
Tabela 8 – Distinções entre os métodos de secagem da madeira	68
Tabela 9 – Listagem com as partes do violão	79
Tabela 10 – Valores mínimo e máximo das espessuras empregadas nas partes do violão	81
Tabela 11 – Médias de comprimento e largura das madeiras do tampo, fundo e laterais do violão no comércio internacional e nacional	82
Tabela 12 – Etapas da confecção do violão	93
Tabela 13 – Teores mínimos e máximos de umidade final recomendado para algumas regiões da Europa	98
Tabela 14 – Teores mínimos e máximos de umidade final para alguns produtos de madeira	99
Tabela 15 – Teores de umidade final (%) recomendados para diversas áreas nos Estados Unidos da América	100
Tabela 16 – Estimativa de umidade de equilíbrio da madeira para algumas cidades do Brasil	102
Tabela 17 – Empresas fornecedoras de ferramentas e insumos para a luteria	106
Tabela 18 – Parâmetros para a pesquisa por meio do <i>design science research</i> em conformidade com os resultados deste trabalho	115
Tabela 19 – Identificação dos pontos de medição no interior da câmara climática	118
Tabela 20 – Tabela psicrométrica	121
Tabela 21 – Identificação das madeiras utilizadas para a confecção das amostras	121
Tabela 22 – Tabela psicrométrica	125
Tabela 23 – Comparativo entre as estufas de secagem forçada convencional e a câmara climática	145

Tabela 24 – Redução do teor de umidade TU das amostras de maple apresentadas no gráfico 8	170
Tabela 25 – Redução de massa das amostras de maple apresentadas no gráfico 9 .	171
Tabela 26 – Redução dimensional das amostras de maple apresentadas no gráfico 10, medidas tomadas conforme o sentido do corte radial (r)	172
Tabela 27 – Redução do teor de umidade TU das amostras de jacarandá apresentadas no Gráfico 11	173
Tabela 28 – Redução de massa das amostras de jacarandá apresentadas no gráfico 12	173
Tabela 29 – Redução dimensional das amostras de jacarandá apresentadas no gráfico 13, medidas tomadas conforme o sentido do corte radial (r) e tangencial (t)	174
Tabela 30 – Redução do teor de umidade TU das amostras de imbuia apresentadas no Gráfico 14	175
Tabela 31 – Redução de massa das amostras de imbuia apresentadas no gráfico 15	176
Tabela 32 – Redução dimensional das amostras de imbuia apresentadas no gráfico 16, medidas tomadas conforme o sentido do corte radial (r)	176
Tabela 33 – Redução do teor de umidade TU das amostras de pinho alemão apresentado no Gráfico 17	177
Tabela 34 – Redução de massa das amostras de pinho alemão apresentado no gráfico 18	178
Tabela 35 – Redução dimensional das amostras de pinho alemão apresentado no gráfico 19, medidas tomadas conforme o sentido do corte radial (r) . . .	179
Tabela 36 – Redução do teor de umidade TU das amostras de cedro apresentadas no gráfico 20	181
Tabela 37 – Redução de massa das amostras de cedro apresentadas no gráfico 21	181
Tabela 38 – Redução dimensional das amostras de cedro apresentadas no gráfico 22, medidas tomadas conforme o sentido do corte tangencial (t)	182
Tabela 39 – Redução de massa das amostras de Jacarandá apresentadas no gráfico 23	183
Tabela 40 – Redução de massa das amostras de imbuia apresentadas no gráfico 24	184
Tabela 41 – Redução de massa das amostras de pinho alemão apresentadas no gráfico 25	184
Tabela 42 – Redução de massa das amostras de maple apresentadas no gráfico 26	185
Tabela 43 – Redução de massa das amostras de cedro apresentadas no gráfico 27	186
Tabela 44 – Teores de umidade de equilíbrio (UE), atingidos pelas amostras	187
Tabela 45 – Relação dos equipamentos eletrônicos e de medição da câmara climática	191
Tabela 46 – Relação e custo dos materiais utilizados na confecção da câmara climática.	193
Tabela 47 – Somatória entre os valores dos equipamentos da câmara climática e dos materiais para a confecção da câmara climática.	194
Tabela 48 – Medidores de umidade da madeira, modelo, especificações e custo . .	195

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
1.1	Contextualização	20
1.1.1	A luteria e a atividade do luthier	20
1.2	Problema	23
1.3	Objetivos	24
1.3.1	Objetivo geral	24
1.3.2	Objetivo específico	24
1.4	Caracterização da pesquisa	25
1.5	Justificativa da pesquisa, relevância social e acadêmica	26
2	REVISÃO DA LITERATURA	28
2.1	O desenvolvimento da pesquisa com a madeira nacional para luteria	28
2.2	A transformação do mercado da luteria	30
2.3	O momento econômico nacional e internacional	32
2.4	Referencial teórico	34
2.4.1	A madeira	41
2.4.2	Madeiras brasileiras na luteria do violão	41
2.4.3	Classificação das árvores	42
2.4.4	Características da microestrutura	45
2.4.5	O movimento da água na madeira	46
2.4.6	Conceito de anisotropia	48
2.4.7	Anisotropia dimensional	53
2.4.8	Coeficiente de anisotropia	55
2.4.9	A condição do ar na secagem industrial da madeira	58
2.4.10	A condição higrométrica do ar	59
2.4.11	A circulação do ar no interior das estufas de secagem	60
2.4.12	Principais características das estufas de secagem	60
2.4.13	Estufas e métodos de secagem para madeira	61
2.4.14	Os métodos mais empregados na secagem da madeira	62
2.4.14.1	Secagem ao ar livre ou “natural”	62
2.4.14.2	Vantagens e desvantagens da secagem natural	64
2.4.14.3	Secagem com estufa solar	64
2.4.14.4	Vantagens e desvantagens da secagem com estufa solar	65
2.4.14.5	Secagem convencional da madeira	66
2.4.15	Proposta de secagem em câmara climática	67
2.4.16	Métodos de determinação dos teores de umidade da madeira	68
2.4.16.1	Aparelho elétrico (resistivo)	69

2.4.16.2	Aparelho elétrico (reativo ou capacitivo)	70
2.4.16.3	Análise gravimétrica (com secagem completa em estufa)	70
2.4.17	O violão como instrumento de referência	71
2.4.18	A história do violão moderno a partir do século XVII	72
2.4.19	Antonio de Torres e o violão clássico moderno	73
2.4.20	Descrição básica das partes que compõem o violão	78
2.4.21	A distribuição das espessuras nas madeiras do violão e a relação com a secagem	81
2.4.22	Medidas de comprimento e largura das madeiras do tampo, fundo, laterais e braço do violão	82
2.4.23	A estocagem da madeira na luteria de violões	83
2.4.24	Métodos de construção do violão	86
2.4.25	A fôrma	87
2.4.26	A construção do violão conforme o tipo de fôrma	89
2.4.26.1	Fôrma interna	89
2.4.26.2	Fôrma externa simples	89
2.4.26.3	Fôrma externa (escola espanhola)	90
2.4.26.4	Sem a fôrma	91
2.4.27	A montagem do violão	91
2.4.28	A climatologia nas principais áreas de produção do violão no Brasil . . .	94
2.4.29	Zonas climáticas do planeta	95
2.4.30	Teores de umidades finais recomendados para produtos de madeira . .	97
2.4.31	A umidade de equilíbrio no Brasil	102
2.4.32	Alterações físicas da caixa de ressonância devido à alteração da umidade relativa do ar	103
2.4.33	Estado da arte	105
2.4.34	A coleta do material na literatura	105
3	MÉTODO	108
3.1	Delimitação	110
3.2	Unidade de análise	112
3.2.1	A escolha do método Design Science Research	112
3.2.2	Operacionalização do método	113
3.2.3	Compreensão do problema	113
3.2.4	Geração de alternativas e o desenvolvimento do artefato	114
3.3	Coleta de dados	115
3.3.1	O espaço de trabalho no interior da câmara climática	116
3.3.2	A velocidade do ar no interior da câmara climática	117
3.3.3	Temperatura e umidade no interior da câmara climática	119

3.3.4	Seleção das madeiras e a preparação das amostras	121
3.3.5	O condicionamento das amostras para o teste de secagem	122
3.3.6	Orientação das amostras no interior da câmara climática durante a prova de secagem	123
3.3.7	A regulação do umidostato para as avaliações de temperatura	124
3.3.8	A secagem das amostras em câmara climática	126
3.4	Confecção da câmara climática	127
3.4.1	O compartimento de aclimação	127
3.4.2	Conclusão do compartimento de aclimação e suas versões	130
3.4.2.1	Primeira configuração interna para o compartimento de aclimação . . .	131
3.4.2.2	Segunda configuração interna para o compartimento de aclimação . .	133
3.4.2.3	Configuração final para o compartimento de aclimação e a conclusão da câmara climática	136
3.4.3	A confecção do estrado	139
3.4.3.1	A distribuição do ar ascendente	140
3.4.3.2	A distribuição da tela de poliamida sobre o estrado	141
3.4.4	A remoção da umidade do interior do compartimento de aclimação . .	144
3.4.5	O desumidificador de ar	145
3.4.6	Adaptação do desumidificador de ar à câmara de aclimação.	147
3.4.7	Incorporação do desumidificador de ar (adaptado), à câmara de aclimação	152
3.4.8	A instalação elétrica e o acionamento da câmara climática	155
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	158
4.1	Resultados da circulação do ar	159
4.2	Avaliações da temperatura no interior da câmara climática	162
4.2.1	Primeira avaliação da temperatura	163
4.2.2	Segunda avaliação da temperatura	165
4.2.3	Terceira avaliação da temperatura	167
4.2.4	Resultado das avaliações de temperatura	168
4.3	Avaliação do desempenho da secagem das amostras com a câmara climática	169
4.3.1	Secagem das amostras de maple (<i>acer pseudoplatanus</i>)	170
4.3.2	Secagem das amostras de jacarandá (<i>dalbergia nigra</i>)	172
4.3.3	Secagem das amostras de imbuia (<i>ocotea porosa</i>)	174
4.3.4	Secagem das amostras de pinho alemão (<i>picea abies</i>)	177
4.3.5	Avaliação dos resultados com a secagem das amostras empregando os medidores resistivos e capacitivos	179
4.3.6	Secagem das amostras de cedro (<i>cedrela spp.</i>) com a câmara climática	180
4.3.7	Resultados dos testes gravimétricos das amostras	182

4.3.8	Avaliação geral dos resultados de secagem	186
5	CONCLUSÃO	188
5.1	Teste piloto	189
5.2	Aprimoramentos necessários	190
5.2.1	Relação e custo dos equipamentos utilizados na operação da câmara climática	191
5.2.2	Relação e custo dos materiais utilizados na confecção da câmara climática.	193
5.2.3	Soma dos gastos com o protótipo de câmara climática.	194
5.2.4	Equipamentos de medição resistivo e capacitivo empregados	194
	REFERÊNCIAS	196

1 INTRODUÇÃO

Esta pesquisa busca informações relacionadas com elementos climáticos causadores de expansão e contração da madeira empregada para a construção de instrumentos musicais de cordas tanto plectradas¹ como os de cordas friccionadas². Nesta pesquisa utiliza-se o violão como exemplo, instrumento muito sensível às alterações climáticas que podem afetar consideravelmente seu desempenho acústico e estrutural ao ponto de inutilizá-lo.

Foram avaliados os processos de confecção do violão observando o controle climático no ambiente de produção das suas partes e a ordem como é montado. As madeiras selecionadas para pesquisa foram submetidas a condições de temperatura e umidade pré-determinadas em um protótipo de câmara climática desenvolvida e confeccionada pelo autor, com o objetivo de verificar a possibilidade de um luthier em seu atelier, controlar e definir o nível de umidade de equilíbrio desejado.

O método empregado para o levantamento das informações utilizadas nesta pesquisa foi a revisão da literatura, relatos de lojistas e especialistas em instrumentos musicais e da experiência do próprio autor como luthier profissional possibilitando assim identificar os fenômenos causadores das alterações dimensionais da madeira e os métodos empregados na construção de violões.

1.1 Contextualização

1.1.1 A luteria e a atividade do luthier

O dicionário da língua portuguesa Infopédia³ define a luteria como “*a arte de fabricar ou reparar instrumentos musicais de corda com caixa de ressonância, como a guitarra, o violino, etc.; profissão do luteiro ou luthier*”.

O luthier é o profissional que de forma artesanal, confecciona e repara instrumentos de cordas (cordófonos)⁴ como o violoncelo, violino, violão, bandolim, alaúde, banjo, guitarra

¹ **Instrumentos de cordas plectradas** ou dedilhadas: São instrumentos musicais cujo som é produzido por meio de toques nas cordas empregando palhetas, unhas ou as pontas dos dedos. Exemplos: Violão, viola caipira, alaúdes, cavaquinho.

² **Instrumentos de cordas friccionadas**: Instrumentos musicais que necessitam de um “arco” que friccione suas cordas para gerar som. Exemplos; Violino, viola, violoncelo, viola da gamba, contrabaixo acústico.

³ **Dicionário Infopédia**: Dicionário online da língua portuguesa. Disponível em: <https://www.infopedia.pt/dicionarios/lingua-portuguesa/luteria>. Acesso em outubro de 2020.

⁴ **Cordófonos**: Como são classificados os instrumentos de cordas conforme o sistema de classificação

e baixo elétrico, enfim todos os tipos de instrumentos de cordas com ou sem **caixa de ressonância**⁵. Também são denominados luthiers os profissionais que trabalham com instrumentos de sopro (aerofones) em metal ou madeira.

Dependendo muito da pungência do mercado onde está inserido o luthier, este, pode se dedicar exclusivamente a uma ou a todas as quatro atividades comuns na luteria que são a **confeção** de instrumentos novos, **restauração**, **manutenção** ou **comércio** de instrumentos de estudo (e) ou de alto rendimento (antigos e modernos), acessórios, etc.

A palavra luthier vem da palavra francesa *luth*, que significa alaúde⁶. A luteria é uma arte com tradição secular da qual encontramos o registro dos primeiros profissionais especializados no início do século XVI como mostra a Figura1.

Figura 1 – “O Luthier”



SACHS, 1568

de instrumentos musicais Hornbostel-Sachs e como aerofones os instrumentos de sopro. Concebido por Erich von Hornbostel e Curt Sachs, em 1914, atualmente é o sistema de classificação mais utilizada em organologia, etnomusicologia. Fonte: (ARAÚJO, 2012).

⁵ **Caixa de ressonância** ou caixa acústica é o principal componente que caracteriza todos os instrumentos musicais acústicos, tem a função de absorver e amplificar o som gerado pelas cordas. É a maior porção do corpo dos instrumentos acústicos, confeccionadas de forma oca com uma ou mais aberturas para a saída do som junto ao deslocamento do ar (Dicionário Priberam, 2018).

⁶ **Alaúde**, Instrumento de cordas dedilhadas, de origem árabe, muito usado na Europa da Idade Média ao Barroco. (Dicionário Michaelis, 2019).

Durante o Renascimento⁷, a Itália viveu um período de fervor na arte da luteria, iniciando por Cremona e Brescia. Foram as primeiras cidades a serem reconhecidas por suas muitas oficinas de alaúde e instrumentos de arco. Cremona era lar de famosos *luthiers* como Andrea Amati⁸, Antonio Stradivari e Giuseppe Guarneri⁹. Posteriormente se espalhou para o resto da Europa, por meio de seus aprendizes e com a abertura de escolas nacionais (POWERS, 2003).

Os músicos procuram os luthiers para manter seus instrumentos sempre em condições ideais de tocabilidade e sonoridade. É comum na luteria a manutenção e a restauração de instrumentos musicais muito antigos, utilizados por instrumentistas de renome internacional. Alguns instrumentos podem ter mais de quatrocentos anos e possuírem valores muito altos, como já aconteceu em leilões recentes, alguns exemplares de autores famosos atingindo a casa de dezenas de milhões de dólares (SILVER, 2014).

O valor do instrumento não está necessariamente relacionado com o tempo de existência deste ou o valor dos materiais empregados, mas sim a um complexo conjunto de fatores. Consiste na associação entre a importância histórica do luthier que o construiu e os músicos ou personagens que passaram pelo instrumento. Para exemplificar, cito uma história relatada pelo historiador francês Antoine Vidal, ocorrida em 1812 com um violoncelo confeccionado por Antonius Stradivarius (TARISIO, 2018).

A posição de Jean Pierre Duport (1749 – 1819) como violoncelista favorito de Napoleão quase resultou em um desastre para o seu Stradivarius quando o imperador apareceu, em um recital particular nas Tuileries. Ele ouviu com prazer e, logo que a peça terminou, se aproximou de Duport, o elogiou e, agarrando o violoncelo com sua força habitual, perguntou: Como diabos você segura isso, Monsieur Duport? Enquanto se sentava experimentou e apertou o infeliz instrumento entre suas botas. Alguns dizem que as marcas das esporas ainda podem ser claramente vistas nos lados do violoncelo.

⁷ **Renascimento**, [História] Movimento de teor artístico, cultural e filosófico que, durante os séculos XV e XVI, teve sua origem na Itália e defendia a volta da Antiguidade greco-romana, principalmente a valorização do indivíduo e de suas qualidades; renascença ou renascentismo. Fonte, Dicio. Acesso em abril de 2019.

⁸ **Andrea Amati**, (Cremona 1520 - Cremona 1578), Construtor de violinos italiano, fundador da escola de Cremona, seus primeiros violinos conhecidos datam de 1564. No essencial, eles definem o estilo para todos os modelos feitos por membros posteriores da família e, com as modificações introduzidas posteriormente por Antonio Stradivari para o violino moderno. Fonte, Britannica.com. Acesso em 03 de 2019.

⁹ **Giuseppe Guarneri**, “Giuseppe del Gesù” (1698–1745), cujo título tem origem no “IHS” inscrito em suas etiquetas (selos colados dentro do instrumento). Considerado como “O maior de todos os Guarneri”, ele foi muito influenciado pelas obras da escola que havia se desenvolvido na cidade de Brescia – Itália. Confeccionou violinos com enorme variedade de tamanhos, modelos e formas. Fonte, Britannica.com. Acesso em 03 de 2019

Neste relato temos a associação de três grandes nomes de nossa história recente, *Antonius Stradivarius*, conhecido como um dos mais importantes e influentes construtores de instrumentos musicais de todos os tempos, *Jean Pierre Duport*, por sua vez um dos maiores violoncelistas do século XIX e *Napoleão Bonaparte*, líder político e militar durante os últimos estágios da revolução francesa e o próprio (artefato) violoncelo, hoje conhecido como “*Violoncelo Duport*” na Figura 2, confeccionado em 1711 e ainda em uso, somando continuamente em seu corpo as marcas daqueles que o utilizam.

Figura 2 – Violoncelo “Duport”, confeccionado por Antonius Stradivarius em 1711



Sacconi (1979)

É comum que grandes instrumentistas procurem mais de um luthier para atender suas necessidades, podem adquirir seus instrumentos com um luthier comerciante e levar para outro com reconhecidas habilidades como restaurador, e ainda otimizar o desempenho sonoro do instrumento com um terceiro luthier. Atualmente existem instrumentos com valores comerciais tão elevados que se tornaram impossíveis de serem adquiridos por um musicista não importando o quão bem-sucedido ele seja.

1.2 Problema

O envelhecimento natural a longo prazo reduz a higroscopicidade da madeira, melhorando simultaneamente a sua qualidade acústica e reduzindo as alterações volumétricas (OBATAYA, 2016). Porém, só o envelhecimento natural não basta para condicionar a madeira para todos os tipos de clima.

Madeiras ambientadas naturalmente (secagem natural)¹⁰ nas regiões sul e sudeste do Brasil, que correspondem respectivamente às áreas de clima temperado (super-úmido) e tropical (úmido), preservam valores de umidade de equilíbrio muito altas em relação aos países de clima seco. Desta forma faz-se necessária uma correção da umidade de equilíbrio no local de produção ajustando-a para os níveis recomendados das regiões onde o instrumento será utilizado. Como é possível então um luthier, com produção artesanal de instrumentos musicais de madeira, compatibilizar os teores de umidade das madeiras de seus instrumentos aos recomendados para as regiões onde estes serão utilizados? O ajuste da umidade da madeira poderia ser realizado em um atelier de luteria, com baixo custo e eficiência?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho constitui-se em criar uma forma simples, econômica e confiável de controlar a umidade de equilíbrio das madeiras empregadas na construção de um violão em um atelier de luteria artesanal.

É desejável que instrumentos musicais feitos no Brasil tenham a produção adaptada conforme o clima da região ou país para onde se destinam. Na atualidade, os grandes mercados consumidores internacionais se encontram majoritariamente em regiões de clima temperado a frio, regiões mais secas por questões naturais ou devido à climatização artificial nos períodos de inverno.

Faz-se necessário privilegiar o trabalho de todo artesão que produz artefatos de madeira, auxiliando-os com conhecimentos que podem viabilizar futuras relações comerciais em um comércio globalizado e altamente exigente.

1.3.2 Objetivo específico

1- Desenvolver um protótipo de câmara climática capaz de controlar a umidade de equilíbrio desejada para madeiras, durante o processo de manufatura de instrumentos musicais com caixa de ressonância.

2- Compreender o fenômeno da variação dimensional das madeiras empregadas nos violões.

¹⁰ **Secagem natural**, é o processo mais simples de retirada de água da madeira, expondo-a às condições atmosféricas. Baseia-se na circulação natural de ar entre as peças. Como não há controle sobre as condições atmosféricas, é um processo lento que pode durar vários meses (Montana, 2019).

3- Detalhar quais são os riscos em produzir um violão em região de clima úmido ou super-úmido, destinado para comércio em região de clima seco ou super-seco.

4- Identificar no processo de confecção do violão, o tempo médio para o tratamento de climatização em câmara climática das partes que o compõem, considerando os diferentes tipos de madeiras, dimensões e densidades.

5- Distinguir, entre as etapas de produção do violão, quais são as mais significativas para o processo de aclimação.

1.4 Caracterização da pesquisa

O método científico caracteriza-se pela escolha dos procedimentos sistemáticos que descrevem e explicam uma situação sob estudo. Sua escolha é fundamentada na natureza do objetivo que se pretende no estudo (FACHIN, 2005).

A finalidade deste trabalho foi adquirir o conhecimento necessário para que se controle o teor de umidade contida nas madeiras de violões produzidos de forma artesanal. Adotando como método de fundo o Design Science Research, junto a “uma pitada” de Pesquisa Participante devido à imersão do autor nas pesquisas e citações das suas próprias experiências, esta pesquisa se caracteriza como aplicada, e conforme seus objetivos gerais, assume um caráter exploratório e explicativo. Exploratório, durante o desenvolvimento de um protótipo de câmara climática, específica para madeiras cortadas para instrumentos musicais. Explicativo por descrever as etapas da confecção desta câmara climática, e como esta ocasiona mudanças físicas nas madeiras, durante a alteração dos teores de umidade em seu interior.

A coleta de dados é quantitativa, com pesquisa experimental em ambiente controlado. Os dados coletados são provenientes das avaliações do desempenho da câmara climática, e das amostras de madeiras submetidas aos testes de alteração do teor umidade em seu interior.

Os dados sobre o desempenho da câmara climática apresentam-se conforme o documento de caráter orientativo, DOQ-CGCRE-028 / Orientação Para A Calibração De Câmaras Climáticas Sem Carga. Os dados sobre a condução da secagem das amostras de madeira para instrumentos musicais foram avaliados conforme as orientações na literatura especializada.

1.5 Justificativa da pesquisa, relevância social e acadêmica

São diversos os fatores que atualmente favorecem a produção artesanal de instrumentos musicais de madeira no Brasil e, dentre os principais, temos a redução do custo das ferramentas manuais e do maquinário, de produção chinesa, o forte comércio internacional de madeiras do interesse da luteria, a livre importação de acessórios e componentes e, o fácil acesso aos consumidores através dos meios disponibilizados pela internet. Isto confere aos luthiers independência e celeridade na produção de instrumentos, agilizando a aquisição de insumos e propiciando contato direto com o consumidor final. Vivemos um período de comércio globalizado, com novas possibilidades de comércio a todo instante.

Atualmente a parcela correspondente de produtos musicais confeccionados por luthiers e por fábricas no Brasil ocupa 10% do mercado nacional, e os outros 90% correspondem aos instrumentos importados (ESTADÃO, 2018). Esta informação mostra quão promissora é a situação da luteria no Brasil, pois, ainda estamos muito longe de abastecer o nosso mercado com autonomia e certamente este estudo contribui para que se considere as diferenças climáticas dentro do Brasil.

A luteria trabalha com a produção e manutenção dos três principais grupos de instrumentos de cordas da atualidade, que são os **instrumentos de cordas friccionadas**, da família do violino e os **instrumentos de cordas dedilhadas**, correspondendo aos violões, cavaquinhos, bandolins, banjos, violas caipiras e semelhantes, e os **instrumentos de cordas eletrificados**, instrumentos musicais cujo som é amplificado eletronicamente, como a guitarra e o baixo elétrico. Isto corresponde a uma vasta gama de instrumentos musicais que são produzidos por luthiers e fábricas no Brasil. Acredito que boa parte da queda nas importações de instrumentos de cordas eletrificados, como mostram os capítulos 2.2 e 2.3, cabe ao crescimento da produção artesanal no Brasil. A escalada do dólar nestes últimos anos encareceu muito o produto importado, o que fez reduzir as importações, mas favoreceu a produção nacional e a exportação de produtos e serviços.

A criação do Curso Superior de Tecnologia em Luteria da Universidade Federal do Paraná em 2009, foi consequência de uma demanda crescente por serviços e produção de instrumentos novos em uma área carente de profissionais especializados. Este trabalho se deve ao desenvolvimento da luteria no Brasil por meio do aprimoramento técnico fundamentado na ciência, objetivando desde já o melhor caminho para o Brasil reduzir as importações nesta área, atingir autonomia na produção de instrumentos musicais e oferecer para o mercado internacional, produtos com qualidade e competitividade.

A luteria é uma atividade profissional secular, constituída pela arte do entalhe da madeira, a música, pela química de seus vernizes, história dos seus artífices e usuários de seus instrumentos. Se desenvolveu fortemente com a física, desde quando começou a analisar de modo racional os fenômenos acústicos que ocorriam nos instrumentos musicais. Desta forma, o curso de luteria da UFPR, ao mesmo tempo em que se apoia, possibilita ao Departamento de Design e ao Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal uma troca de conhecimentos harmoniosa com vantagens recíprocas para todos, sendo este trabalho um dos primeiros frutos da junção destes setores e seus respectivos saberes.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 O desenvolvimento da pesquisa com a madeira nacional para luteria

Quando iniciei a pesquisar sobre a luteria e a produzir os meus primeiros instrumentos de cordas em 1982, as poucas informações que encontrava estavam quase que exclusivamente nas mãos de luthiers e professores de música que emigraram para o Brasil, refugiados da Europa na primeira e segunda Guerra Mundial. A literatura especializada na área da luteria era muito escassa e praticamente tudo o que encontrava era de origem estrangeira, produzida em países com forte tradição na luteria como a Alemanha, Canadá, Estados Unidos, França, Itália e Japão. Grande parte do material bibliográfico encontrava-se com professores de música que compravam livros e revistas da área da luteria no exterior, e que me relatavam a necessidade de aprender algumas técnicas de manutenção nos instrumentos, pois, naquela época eram muito raros os luthiers fora das capitais do país e, na grande maioria das vezes em suas viagens para o interior do Brasil, eles mesmos regulavam os instrumentos de seus alunos. Eram livros e revistas em língua estrangeira que não podiam sair de perto ou (sob os olhos) de seus proprietários, eram considerados e mantidos como joias inestimáveis, mas estes ajudavam mais voluntariamente os interessados em trabalhar como luthiers.

Ter acesso à literatura de natureza luteria à época era muito complicado, pois receosos de uma provável formação de concorrência profissional em sua cidade de atuação, os luthiers profissionais cediam o que possuíam para exame somente após muita negociação e conquistas no campo da amizade, e, foi graças a este processo de negociação que acabou por me fazer ajudante e aprendiz de luteria do luthier italiano Carlo Minelli em Porto Alegre.

Apesar da escassez de literatura e com a ajuda do “Minelli”, encontrei suficientes informações sobre a construção do violino e pude dar início em alguns trabalhos com madeira nacional, e posteriormente com as tradicionais madeiras europeias, empregadas a séculos por luthiers como Andrea Amati e Antonio Stradivari, respectivamente séculos XVI e XVIII, cujos instrumentos funcionam muito bem e ainda hoje são utilizados profissionalmente.

Foi então que percebi que eu tinha um problema que estava fora de meu alcance: nossos mestres luthiers de origem europeia conheciam muito bem as madeiras empregadas em seus países de origem e as importavam para confeccionar seus instrumentos no Brasil. Raramente encontrávamos instrumentos confeccionados com madeiras brasileiras por

luthiers europeus no Brasil. Meu professor, mestre luthier Enzo Bertelli¹, me dizia o quanto ficava receoso de empregar madeiras brasileiras desconhecidas ou pouco testadas na luteria nacional, pois, poderiam apresentar posteriormente algum problema de natureza acústica, ou estrutural.

Como jovem aprendiz de luteria e sem condições de importar as madeiras tradicionais da Europa, me via obrigado a procurar opções dentre as madeiras disponíveis na minha região. Foi quando comecei a buscar informações sobre a empregabilidade das madeiras brasileiras para a produção de instrumentos de cordas, especialmente as compatíveis para a família do violino. Paralelamente, sem meu conhecimento, estas informações já estavam sendo elaboradas e quase na mesma época (1983) chegou às minhas mãos a pesquisa do extinto Instituto Brasileiro De Desenvolvimento Florestal, intitulada “Classificação De Madeiras Para Instrumentos Musicais”. Devido às restrições de importação de madeiras à época, o Brasil iniciou uma extensa pesquisa com madeiras da flora amazônica com potencial de substituir as que eram empregadas na indústria nacional de instrumentos musicais, em sua grande maioria, madeiras importadas de diferentes continentes como o pinho alemão (*Picea abies*), acero europeu (*Acer pseudoplatanus*), ébano africano (*Diospyros crassiflora*) entre outras. Esta pesquisa selecionou preliminarmente 100 espécies de madeiras da Região Amazônica para análise científica, qualificando 20 espécies potencialmente aptas para substituir as madeiras estrangeiras utilizadas na confecção de diversos tipos de instrumentos musicais de cordas, sopro e percussão.

Este trabalho pioneiro foi de grande valor para os construtores brasileiros de instrumentos musicais da época que, mesmo utilizando diversas variedades de madeiras nacionais para seus instrumentos, estas eram majoritariamente naturais das regiões sul, sudeste e centro-oeste. Os principais produtores de instrumentos musicais ainda hoje estão muito distantes da Amazônia (como veremos a seguir neste trabalho) e sentiam a necessidade de uma publicação com mesma abordagem científica sobre as madeiras brasileiras fora da Região Amazônica. Esta necessidade foi sanada em 1985, no período em que frequentava meu primeiro ano no Curso de luteria do Conservatório Dramático e Musical Doutor Carlos de Campos em Tatuí – São Paulo, onde recebemos do IPT - Instituto De Pesquisa Tecnológica por iniciativa da Fundação Nacional da Arte – FUNARTE, o relatório final Nº 22.770/85, intitulado “Madeiras Brasileiras Para Instrumentos De Música” naquele trabalho foram apresentadas avaliações físicas, mecânicas, acústicas e anatômicas das madeiras que ocorrem nas regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste do Brasil.

¹ **Enzo Bertelli**, Verona (Itália) 1918 – Chegou ao Brasil em 1948, atuou como luthier de instrumentos de arco na cidade de São Paulo até sua morte. Fundou em 1980 o curso de luteria no Conservatório Dramático e Musical Dr. Carlos de Campos na cidade de Tatuí em São Paulo. Em 1956 em Roma, junto a seu pai Luigi Bertelli foram premiados respectivamente com uma medalha de prata e outra de ouro no concurso de luteria do Conservatório de Música de Santa Cecília. Fonte, VANNES R., LEBET C. 1985.

As pesquisas não só deram o impulso necessário para que utilizássemos as madeiras de nossas regiões, como serviram para um trabalho inicial de desconstrução de preconceitos no ambiente lutaio e musical que depreciavam a qualidade de nossas madeiras em relação às madeiras tradicionais da luteria europeia. Lembro bem quando meu professor, mestre Carlo Minelli, vendo-se em dificuldade com os processos de importação de madeira à época, confeccionou e enviou para muitas cidades do Brasil violas de arco confeccionadas com belíssimas madeiras de “açoita-cavalo”² nas partes do fundo, laterais e braço, mas para o tempo, sempre empregava madeira de pinheiro alemão ou italiano.

2.2 A transformação do mercado da luteria

Segundo a revista Música & Mercado, que publica os dados levantados pela ANA-FIMA (Associação Nacional da Indústria da Música), o Brasil vem tendo vendas e importações de instrumentos musicais continuamente incrementadas desde 2014. Esta revista acompanha e divulga os dados de importação, fabricação nacional com venda ao varejo e venda direta, variáveis de impostos e mercado informal, quantificando o volume do mercado e seu impacto na economia brasileira. O setor movimentou em 2018 pouco mais de 2 bilhões de reais, que corresponde à média de 0,03% do PIB do Brasil (2017) ou 50% do valor estimado para o PIB da cultura brasileira.

A Figura 3, apresenta a variação do crescimento das importações brasileiras de instrumentos musicais em dólar, entre os anos de 2005 a 2018 e o respectivo valor aproximado do dólar no mesmo período. A partir de 2011 tivemos um crescimento contínuo nas importações até 2016 e, desde então nos mantemos pouco abaixo dos US 180.000.000,00 de dólares.

Figura 3 – Demonstrativo dos valores de importação de instrumentos musicais no Brasil



MUSICA & MERCADO (2019)

² **Açoita-cavalo**, *Luehea divaricata* (Malvaceae), ocorre naturalmente do sul da Bahia, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso. Fonte IBF, Instituto Brasileiro de Florestas.

Passamos por um momento significativo na transformação da venda a varejo de instrumentos musicais de cordas, e como principais causas temos a mudança da cultura atual em que, a partir de 2010, o consumo de instrumentos acústicos superou os instrumentos elétricos (EDGERS, 2017), e o consumo da música eletrônica ultrapassou a analógica (NEVES, 2018). Isso tudo associado à massiva produção da China que em 2012 superou os Estados Unidos da América e se tornou o maior fornecedor de instrumentos musicais do mundo. Além da China, países como a Coreia, Índia, Indonésia e México produzem instrumentos com bom rendimento e baixo custo, o que prejudica financeiramente as grandes fábricas nos EUA, que ofertam ótimos produtos, mas atualmente com valor muito elevado. E este é certamente o diferencial que os instrumentos chineses oferecem em relação aos instrumentos produzidos nos Estados Unidos da América, onde muitos dos consumidores alegam não adquirir instrumentos produzidos em seu país por serem muito caros (KNOWLES, 2014). Isto atinge em particular as fábricas de guitarras elétricas de renome como a Gibson, Fender, Epiphone, Dobro, Valley Arts, Kramer, Steinberger e Tobias, entre outras (COX, 2018).

Em 2018 a Gibson, importante fábrica de guitarras elétricas entrou com um pedido de concordata, com mais de quinhentos milhões de dólares em dívidas (NELLIS; RUCINSKI, 2018). A Fender, por sua vez, teve que abandonar uma oferta pública em 2012, e caiu de US\$ 675 milhões em receita para US\$ 545 milhões. Conseguiu diminuir sua dívida nos últimos anos, mas permaneceu com um déficit de US\$ 100 milhões (EDGERS, 2017).

Hoje, grande parte dos consumidores de guitarras elétricas (importante setor da luteria) preferem substituir os famosos e caros instrumentos americanos por instrumentos produzidos na China e Coreia do Sul, sendo estes confeccionados com os mesmos materiais e sob os mesmos modelos, tornando-se assim muito semelhantes ou praticamente iguais aos das grandes marcas americanas, porém, custando 1/3 do valor ou menos. Muitos compradores de instrumentos chineses substituem alguns componentes eletrônicos ou acessórios de seus instrumentos por componentes originais de marcas famosas, fazendo-os atingir o mesmo grau de excelência dos instrumentos mais caros.

Quanto ao comércio de instrumentos no exterior, Laet (2014) afirma que:

Segundo dados do Governo Chinês, o valor do mercado de instrumentos musicais da China aumentou para US\$ 6,5 bilhões em 2012, superando os Estados Unidos e se tornando o maior mercado de instrumentos musicais do mundo. Para se ter ideia, o volume de vendas da indústria chinesa de instrumentos musicais triplicou na última década, segundo as estatísticas da Music China que acontece em Shanghai. No mesmo ano, a China importou mais de US\$ 302 milhões em instrumentos musicais. E é pensando em disputar uma fatia desse mercado que

três grandes marcas brasileiras (Meteoro, Odery e Tagima) resolveram participar da Music China, a maior feira de música da Ásia.

Como especialista, acompanho a transformação do mercado e a tendência crescente que os músicos profissionais ou em processo de profissionalização estão tendo pela aquisição de instrumentos artesanais. A China assumiu a posição de maior fabricante de instrumentos musicais no mundo, porém, seus instrumentos ainda são vistos como provisórios ou válidos para o período de formação do profissional, instrumentos que permitem um desempenho ainda insatisfatório não atendendo as necessidades de um músico profissional.

A atual condição de crescimento do mercado internacional na área da luteria e o crescente interesse de consumo por marcas produzidas no Brasil justificam o investimento em pesquisa para o setor de produção de instrumentos musicais de cordas. Devemos considerar que nosso país ainda importa cerca de 90% dos instrumentos musicais que utiliza (ESTADÃO, 2018), mesmo possuindo uma das mais variadas ofertas de matéria prima deste planeta.

Aprimorar a qualidade de nossos produtos contribuirá para inversão da atual condição que o nosso país tem, de importador, para exportador de instrumentos musicais de cordas.

2.3 O momento econômico nacional e internacional

George Gruhn, um dos mais experientes comerciantes de guitarras nos EUA, com 46 anos no mercado, afirma: “Há mais fabricantes agora do que nunca na história do instrumento, mas o mercado não está crescendo”. “Eu não sou todo dia pessimista, mas isso não é sustentável” (EDGERS, 2017).

Apesar de o cenário parecer desolador, e de certa forma o é, para as grandes fábricas de guitarras americanas em seus países de origem, percebo que a médio prazo há um futuro mais promissor para a luteria artesanal, pois, como afirma o Sr. Gruhn, existe atualmente um número de fabricantes como nunca se viu antes, o que significa dizer que a produção de instrumentos musicais está passando das mãos das grandes corporações para as pequenas indústrias de produção artesanal, pois não se tem notícias do aparecimento de uma nova Gibson, Martin, Fender ou Yamaha.

A redução na venda das guitarras elétricas é o reflexo mais imediato da crise que afeta as grandes fábricas que também produzem violões de cordas de aço e nylon. Estas,

por motivos econômicos, viram-se forçadas a transferir suas fábricas para dentro da China, Coreia, e ainda países do ocidente com a condição aproximada do México, para conseguir se manter competitivas no mercado internacional. Mudar a produção para a China foi a solução para muitas fábricas, mas em consequência houve uma redução considerável na qualidade de seus produtos e, por consequência, a perda de mercado. Atualmente estas mesmas fábricas investem continuamente para recuperar e manter alto o nível de seus produtos, apresentando resultados sempre melhores (KNOWLES, 2014).

Pelo que percebi ao longo destes últimos 27 anos, o período de interstício entre o início da crise dos grandes fabricantes, com a migração destes para países em que o custo de produção é menor, e a recuperação da qualidade de seus produtos, o que até este momento não aconteceu plenamente, foi o principal fator no desenvolvimento da luteria no Brasil. Inicialmente a China inundou o Brasil com instrumentos de baixíssima qualidade e muitos professores reclamavam com razão destes instrumentos.

Na época as opções de instrumentos novos eram poucas e caras, e muitos pais de jovens interessados em aprender música ficavam impossibilitados de adquirir um instrumento novo devido ao custo elevado das opções que tínhamos no mercado. A diferença de valor era enorme, pois os instrumentos chineses custavam em média 30% do valor de um instrumento de fábrica europeia, japonesa ou americana. Mantendo o custo baixo, estes instrumentos foram se tornando melhores e oportunizaram uma revolução no mercado varejista e uma nova fase para o aprendizado da música no Brasil.

Em consequência da enorme quantidade de instrumentos de baixa qualidade (frágeis) e de difícil regulação no mercado brasileiro, a exigência de mão de obra especializada na área da luteria se tornou urgente. Como não tínhamos escolas de luteria suficientes para atender esta nova exigência, o mercado foi tomado por amadores e oportunistas, o que afetou muito negativamente a qualidade do instrumento produzido no Brasil, bem como a imagem do luthier brasileiro no exterior. Devido a este fato, diversos cursos de luteria surgiram no Brasil, entre estes o Curso Superior de Tecnologia em Luteria da UFPR.

Ao considerar o fato que a maior porção dos instrumentos musicais produzidos para a exportação no Brasil se encontra em região predominantemente de clima tropical (úmido e super-úmido), esta, deveria ser orientada para os climas dos países destinados para consumo, que em sua maioria se encontram em áreas de clima temperado a frio, busquei então o entendimento dos princípios motivadores das patologias destrutivas que ocorrem nos violões quando enfrentam variações climáticas.

Compreender amplamente os fatores que envolvem a variação dimensional das madeiras empregadas nos violões, pode orientar tanto o projeto estrutural deste instrumento, como as medidas preventivas necessárias para que este também enfrente as diferenças climáticas que lhe serão impostas.

Enfocando a produção artesanal de instrumentos, procurei por materiais e equipamentos com custos acessíveis, capazes de suportar um método de controle da umidade de equilíbrio final acessível, que atendesse as necessidades dos luthiers no Brasil, que, diferentemente das grandes fábricas, produzem poucos instrumentos por ano, mas com alto valor agregado.

O efeito do clima nos instrumentos musicais de madeira, em geral, é um tema muito discutido por músicos e luthiers, sendo comum encontrar no comércio de acessórios de instrumentos musicais, dispositivos que alteram os níveis de umidade relativa no interior dos estojos que transportam os instrumentos. Estes recursos tornam-se pouco eficientes após a permanência prolongada do instrumento em outros países ou regiões com clima muito diverso do qual estava aclimatado.

A diferença climática na luteria é um tema complexo que assusta todo luthier que pretenda comercializar seus instrumentos fora do Brasil, pois, podem ter prejuízos com a imagem de seus produtos, caso apresentem problemas.

2.4 Referencial teórico

Utilizando-se dos mecanismos de busca em diversos portais pela 'internet', verificou-se que a literatura especializada da luteria, faz pouca ou nenhuma menção sobre os cuidados com a umidade relativa no ambiente de produção dos violões. Verificou-se que no Brasil, a produção científica correspondente ao violão, costuma tratar majoritariamente, sobre as características estéticas e acústicas de suas madeiras, musicologia, história do instrumento no Brasil e sobre os métodos de construção. Encontrou-se pouco material sobre os danos causados por diferenças climáticas nos instrumentos, sem fornecer detalhes sobre os fenômenos fisiológicos que ocasionam as patologias que motivaram o desenvolvimento deste trabalho.

De forma inversa, encontram-se trabalhos de origem estrangeira, sobre a produção de instrumentos em países secos com destino aos países úmidos, abordando questões mercadológicas.

Desta forma, preservando o procedimento tradicional de construção do violão, o autor decidiu criar um método construtivo, que orienta a produção do violão, controlando continuamente a umidade final de suas madeiras em um protótipo de câmara climática desenvolvida durante esta pesquisa. Este método foca exclusivamente no cuidado com o controle da umidade final das madeiras de um violão produzido artesanalmente, sem incluir tratamentos químicos para a estabilização das madeiras.

Portanto, atendendo aos objetivos específicos desta pesquisa, o material localizado com a revisão bibliográfica foi classificado nos seguintes itens na tabela 1:

Tabela 1 – Itens correspondentes aos assuntos de interesse da pesquisa e a relação destes com os objetivos específicos

Itens	Relação com os objetivos específicos Nº
1. Processos de secagem da madeira e o controle da umidade de equilíbrio.	1, 2, 3 e 4
2. A influência do clima nas alterações dimensionais das madeiras.	2, 3 e 5
3. A estrutura celular da madeira, folhosas e (ou) coníferas.	2
4. A umidade de equilíbrio indicada em diversos países da Europa e (ou) nos Estados Unidos da América.	3
5. A distribuição do clima no Brasil e (ou) nos principais países consumidores da Europa e Estados Unidos da América.	3
6. Materiais e equipamentos para a confecção de uma estufa ou câmara climática.	1
7. A história do violão	3, 4 e 5
8. Comércio internacional de instrumentos musicais.	3 e 4
9. Luteria, técnicas construtivas.	3, 4 e 5

Elaborada pelo autor

A Tabela 2, abaixo, elenca as obras mais significativas para esta pesquisa, e indica com quais itens elencados acima estão relacionadas.

Tabela 2 – Listagem das obras mais significativas para esta pesquisa

Autor	Tipo	Título	Item(s)
ALLORTO E. et al. 1990	Livro	La Chitarra	7
ARAUJO, I. 2019	Apostila	Disciplina de Organologia	7
ARAUJO, J. 2014	Apostila	Aprendizagem significativa de botânica em laboratórios vivos	3
BAHIA, M. S. 2015	Tcc	Biodeterioração E A Durabilidade Da Madeira	1, 2 e 3
BEAN, K. R. 2018	Artigo	Tech Talk with Kendall Ross Bean	2
BERBEROVIC, A.,; MILOTA, M. R. 2011	Artigo	Impact of wood variability on the drying rate at different moisture content levels.	1, 2, 3, 4, 5 e 6
BERGMAN, R. 2010	Livro	Drying and Control of Moisture Content and Dimensional Changes Wood handbook	1, 2, 3, 4, 5 e 6
BOND, B. 2011	Livro	Design and Operation of a Solar-Heated Dry Kiln for Tropical Latitudes	1, 2 e 3
BORLAND, M. J. 2014	Artigo	The effect of humidity and moisture content on the tone of musical instruments	1 e 2
BRITEZ, C. A. 2006	Apostila	Inter-relação entre as propriedades e a microestrutura das madeiras	1, 2 e 3
BROMPTON'S, 2014	Artigo	Fine & Rare Instruments. Sale Information	8

Autor	Tipo	Título	Item(s)
BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. 1991	Livro	Anatomia da madeira	2 e 3
CAMPOS, W. 2019	Apostila	A História do Violão	8
CHEN, D.; CHEN, H. W. 2013	Artigo	Using the Köppen classification to quantify climate variation and change: An example for 1901–2010	5
COPPIARDI, C. 1980	Apostila	Quaderni di luteria nº 11	9
COX, J. 2018	Artigo	Gibson: Iconic Guitar Brand Reportedly On The Brink of Bankruptcy	8
CUMPIANO, w.; NATELSON, J. D. 1994	Livro	Guitarmaking, Tradition and technology	2, 7 e 9
DAKRON, 2020	Informe	Indústria e Comércio de Materiais de Construção Ltda	6
ENGEL, et al. 2016	Artigo	Tecnologias de atomização e desidratação: alternativas para a produção de farinhas a partir de vegetais	6
FOELKEL, et al. 2010	Artigo	Métodos Para Determinação Da Densidade Básica De Cavacos Para Coníferas E Folhosas	6
FREITAS, E. 2020	Artigo	Zonas térmicas da Terra	5
GALVAO, A. P. M; JANKOWSKY, I. P. 1985	Livro	Secagem racional da madeira	1, 2, 3 e 4
GALVÃO, A. P. M. 1975	Artigo	Estimativas da umidade de equilíbrio da madeira em diferentes cidades do Brasil	2 e 5
GUINÉ, R. P. F. et al. 2011	Artigo	Study of the convective drying of pumpkin (Cucurbita maxima)	1
JANKOWSKY, I. P.; GALINA, I. C. M. 2013	Apostila	Secagem de madeiras	1, 2 e 3

Autor	Tipo	Título	Item(s)
KAMEN, C. 2013	Artigo	Classic Guitars International, Exclusive World-wide announcement	8
KIRLIM, J. 2015	Artigo	Using A Guitar Humidifier And Other Guitar Humidity Tips. Article October	1, 3 e 8
KNOWLES, D. 2014	Artigo	American Companies are Producing Higher-quality Affordable Acoustics in China	8 e 9
MACIEIRA, A. P. et al. 2014	Informe	Conhecendo Espécies de Plantas da Amazônia: Morototó (Schefflera morototoni (Aubl.)	3
MARCHI, N. 1983	Livro	Tecnologia del legno	1, 2, 3 e 4
MORESCHI, J. C. 2014	Apostila	Propriedades da madeira	1, 2 e 3
MUÑOZ, G. I. B, 1993	Tese	Caracterização e desenvolvimento de modelos para estimar as propriedades e o comportamento na secagem da madeira de Pinus elliottii Engelm. E Pinus taeda L.	1 e 2
OBATAYA, E. 2017	Artigo	Effects of natural and artificial ageing on the physical and acoustic properties of wood in musical instruments	1, 2, 3, 8 e 9
PFEIL, W.; PFEIL, M. 2003	Livro	Estruturas de madeira	2 e 3
PONCE; R. H.; WATAI, L. T. 1985	Apostila	Secagem da madeira	2 e 3
RASMUSSEN, E. F. 1961	Livro	Dry Kiln operator's manual	1, 2, 3, 4 e 6
REZENDE, R. N. et al. 2010	Artigo	Secagem ao ar livre de toras de Eucalyptus grandis em Lavras, MG	1 e 2
ROMANILLOS, J. L. 1990	Livro	Antonio de Torres, Guitar Maker – His Life & Work	7, 8 e 9
SACCONI, S. F. 1989	Livro	LES “SECRETS” DE STRADIVARIUS	7 e 9

Autor	Tipo	Título	Item(s)
SIMPSON, W.T. 1991	Livro	Dry Kiln Operator's Manual	1, 2, 3, 4, e 6
SIMPSON, W. T. 1999	Livro	Physical properties and moisture relations of wood	1, 2, 3, 4, e 6
SKAAR, C. 1972	Livro	Water in Wood	1, 2, 3, 4, e 6
SLOANE I. 1989	Livro	Classic Guitar Construction	7 e 9
SOUZA, M. R. 1983	Apostila	Classificação De Madeiras Para Instrumentos Musicais	3, 8 e 9
SZUCS, C. A. et al. 2016	Apostila	Estruturas de Madeira	1 e 2
TOMASELLI, I.; KLITZKE, R. J. 2000	Apostila	Secagem da madeira	1, 2 e 3
VANNES, R., LEBET C. 1985	Livro	Dictionnaire Universel Des Luthiers	7, 8 e 9

Elaborada pelo autor

Na Tabela 3, encontram-se discriminadas as instituições de ordem governamental e privadas que forneceram material para esta pesquisa. Estão assinalados os itens correspondentes às informações coletadas.

Tabela 3 – Instituições de ordem governamental e privadas que forneceram material para esta pesquisa

Autor	Tipo	Título	Item(s)
ANAFIMA -Associação Nacional da Indústria da Música.	Artigo	Industria brasileira de instrumentos musicais aposta no mercado chinês.	7

Autor	Tipo	Título	Item(s)
APESC	Artigo	Tecnologias de atomização e desidratação alternativas para a produção de farinhas a partir de vegetais	1
DAKRON- Indústria e Comércio de Materiais de Construção Ltda	Informe	Manta para isolamento acústico e térmico	6
IBF- Instituto Brasileiro de Florestas	Informe	A estrutura celular da madeira	3
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística	Livro	Atlas Geográfico Escolar	5
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística	Livro	Anuário Estatístico do Brasil. Volume 57. pg 96	5
INMET- Instituto Nacional de Metrologia Qualidade e Tecnologia	Informe	Históricos climáticos do Brasil	5
INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia Qualidade e Tecnologia	Cartilha	Orientação Para a Calibração de Câmaras Térmicas Sem Carga	6
LMI - Luthiers Mercantili International	Informe	Acoustic guitar backs and sides	8 e 9
MONTANA - Montana Química Ltda.	Informe	Guia da Madeira	1 e 2
MÚSICA & MERCADO	Artigo	Por que não devemos acreditar que o mercado de instrumentos musicais morreu	8
NELSON INSTITUTE	Informe	Médias climáticas do planeta	5
NICAWÉ - Equipamentos e Soluções para a Indústria	Informe	Medidores de umidade com sensor capacitivo e resistivo: entenda a diferença	1 e 6
STEWMAC - Stewart MacDonald	Informe	Wood supplies, bodies and necks	9

Autor	Tipo	Título	Item(s)
YAMAHA CORPORATION	Informe	Bamboo model guitar FGB1 e FGXB1	7, 8 e 9
ZANOTTI REFRIGERAÇÃO	Informe	Câmaras climáticas	6

Elaborada pelo autor

2.4.1 A madeira

Quando escutamos o som de um instrumento musical de cordas acústico, portanto, não eletrificado, este som provém do corpo físico do instrumento o qual foi projetado para amplificar uma enorme gama de frequências geradas pelas cordas. Desta forma, a madeira que compõe o instrumento torna-se material intermediário do processo, absorve as vibrações das cordas e as transmite para o ar que conduz até nossos ouvidos por meio de ondas sonoras. O material que assumir esta função intermediadora, não importando sua natureza, madeira, metal, vidro ou plástico, imprimirá características próprias ao som gerado, e no caso específico das madeiras, a qualidade sonora que estas conferem aos instrumentos de cordas as tornam praticamente insubstituíveis.

As madeiras utilizadas na confecção do violão costumam ser expostas pelos luthiers de forma a valorizar a sua estética orgânica. Empregam-se normalmente vernizes translúcidos e incolores para que possam ser notados os reflexos naturais e os desenhos coloridos apresentados pelas madeiras. Estes vernizes proporcionam uma boa proteção contra o atrito e os impactos previstos durante o uso dos instrumentos, porém, oferecem um isolamento térmico e higroscópico. Dependendo da dureza do verniz e da quantidade aplicada, este, pode afetar negativamente a sonoridade do instrumento.

A madeira é um material **anisotrópico, heterogêneo, higroscópico, orgânico e poroso**. É anisotrópico por se comportar de forma diferente entre os eixos de orientação de suas fibras, heterogêneo por apresentar grande diversidade de espécies e variações anatômicas. É higroscópico por reter água no interior e paredes das células; orgânico, por ser quimicamente constituído por carbono (C); e poroso, devido aos espaços vazios deixados pelo arranjo de seus diferentes componentes estruturais (TOMASELLI; KLITZKE, 2000).

2.4.2 Madeiras brasileiras na luteria do violão

Madeiras brasileiras que foram empregadas na luteria mundial, como o **Jacarandá da Bahia** – *Dalbergia nigra*, **Jacarandá** – *Dalbergia decipularis*, **Jacarandá** – *Dalbergia cearensis*, **Braúna preta** – *Melanoxylon braúna*, **Mogno** – *Swietenia macrophylla* entre tantas outras, foram responsáveis por caracterizar o próprio som do instrumento devido à natureza de suas propriedades acústicas e mecânicas, atualmente estão protegidas pela legislação ambiental, sendo que algumas estão protegidas de modo integral, incluindo a proibição de coleta, corte, transporte, armazenamento, manejo, beneficiamento e comercialização, pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2014), conforme Portaria MMA Nº 443, de 17 de dezembro de 2014.

Recentemente a ANAFIMA, Associação Nacional da Indústria da Música (2020), tornou-se signatária e divulgou uma nota oficial da CITES, (Convenção sobre Comércio Internacional de Espécies Ameaçadas de Fauna e Flora Selvagens), informando que o Jacarandá da Bahia (*Dalbergia Nigra*) somente será liberado se a madeira for proveniente de plano de manejo regular perante o Ibama, e essa origem deverá ser comprovada no momento da emissão da licença CITES e todo fornecedor deverá emitir o DOF (Documento de Origem Florestal)³ acompanhado da Nota Fiscal.

2.4.3 Classificação das árvores

Este capítulo inicialmente explanará a forma pela qual são filogeneticamente classificadas as árvores que produzem madeiras, identificando as espécies e as classes mais comuns de interesse na luteria. Seguirá abordando a estrutura celular da madeira, a forma como a água se desloca por suas fibras e cavidades até evaporar para a atmosfera e os fenômenos que fazem a madeira alterar suas dimensões quando exposta a teores diferentes de umidade relativa do ar.

Dentre os diversos sistemas de classificação vegetal, este trabalho utiliza o sistema filogenético sugerido no método de Engler (1954), apresentado por Agarez, Rizzi e Pereira (1994) em sua obra *Botânica: taxonomia e reprodução dos angiospermae: chaves para determinação das famílias*. O sistema de Engler é composto por 17 divisões sendo que as divisões XVI e XVII correspondem às áreas de interesse da engenharia por produzirem madeira (ARAÚJO, 2014).

³ **DOF (Documento de Origem Florestal)**; Disponível em: <<https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/madeiralegal/sistema-dof/como-operar/o-que-e-sistema-dof/>>. **Portaria MMA Nº 253 de 2006**: Disponível em: <https://smastr16.blob.core.windows.net/madeiralegal/2020/02/pt-mma-253_2006.pdf> **Infrações contra a flora (Decreto 6514/2008)**: Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6514.htm> **Mais informações**: <<https://www.ibama.gov.br/flora-e-madeira/dof/o-que-e-dof>> Acesso em: 03 de 2020.

A **divisão XVI** trata das **Gimnospermae**, cujo termo origina-se do grego *gymno*, ‘nu’ e *sperma*, ‘semente’. As árvores gimnospermas não apresentam frutos. As Gimnospermae encontram-se subdivididas em **4 classes**: a Cycadopsida, a Coniferopsida, Taxopsida e a Chlamydospermae. A classe Coniferopsida, corresponde a ordem das árvores coníferas (Coniferae), subdividida por sua vez em 5 famílias: *Araucariaceae*, *Cupressaceae*, *Pinaceae*, *Podocarpaceae* e *Taxodiaceae*.

As **coníferas** são a principal ordem das gimnospermas, possuindo ‘estróbilos’ ou ‘cones’ como flores e normalmente folhagens em forma de agulha. Possuem madeira macia (mole) e são designadas internacionalmente por **softwood** (madeira macia). *Dentre* as coníferas nativas encontradas na América do Sul a mais conhecida é a Araucária ou Pinheiro do Paraná (*Araucária angustifolia*). Outras coníferas nativas são: o pinho-bravo, pinho-do-brejo etc. (*Podocarpus* spp.).

Algumas espécies exóticas do gênero *Pinus* como o *Pinus caribaea*, *Pinus oocarpa*, *Pinus taeda*, *Pinus patula*, entre outras, foram importadas de outros países e são cultivadas no Brasil para a exploração comercial da madeira (SZUCS *et al.*, 2016).

A **divisão XVII** trata das **Angiospermae**, abrangendo a **classe** Dicotylodoneae. O termo angiosperma, origina-se do grego: *aggeoin* ‘vaso’ ou ‘urna’ e *sperm* ‘semente’. São considerados vegetais mais evoluídos, possuindo na maioria das vezes raízes tuberosas e folhas latifoliadas⁴. Produzem frutos que protegem e envolvem as sementes além de conter nutrientes que enriquecem o solo para sua germinação. Alguns exemplos de angiospermas são o amendoim, o café, o feijão, o abacateiro, o pau-brasil, o ipê, e o mogno (SZUCS *et al.*, 2016).

No comércio internacional as **dicotiledôneas** têm a madeira classificada como **hardwood** (madeira dura), conhecidas como folhosas. O tronco destas árvores, quando seccionadas transversalmente, apresenta uma característica com a formação de anéis concêntricos, determinados por novos estratos de crescimento que se sobrepõem sob a casca (MARCHI, 1983).

As Angiospermas da classe monocotiledônea correspondem às gramíneas e palmas. Como exemplo temos a cana-de-açúcar, o capim, o milho, o bambu, as bromélias e o coqueiro. Neste grupo o bambu se destaca como material estrutural por ter boa resistência

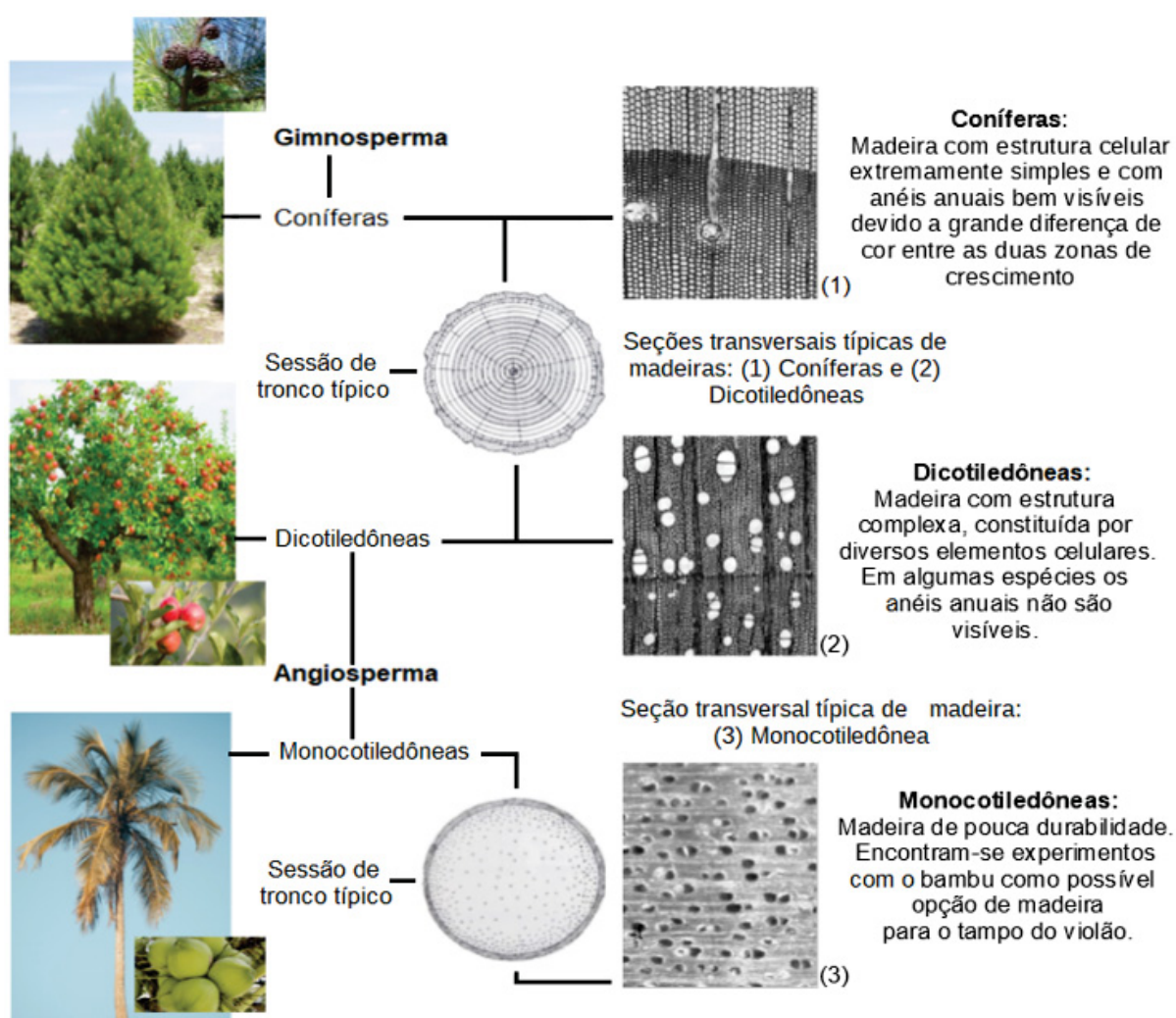
⁴ **Latifoliada:** vegetação com folhas largas e grandes, geralmente presentes em regiões quentes para permitir a intensa transpiração. Fonte: <<https://www.proenem.com.br/enem/biologia/biomas-tipo-principais/>>. Acesso em: fevereiro de 2020.

mecânica e baixo peso específico (SZUCS *et al.*, 2016) .

O bambu vem sendo testado para a confecção de diversos tipos de instrumentos assim como violões para cordas de nylon e aço. Nos anos 2000 a Yamaha do Japão produziu por um curto espaço de tempo uma linha de violões: os modelos FGB1 e FGXB1 eram confeccionados com braço, tampo, fundo e laterais com este material, mas as críticas não foram boas (YAMAHA, 2000).

A Figura 4, apresenta um esquema simplificado da relação entre as espécies de árvores e o tipo de madeira.

Figura 4 – Esquema simplificado da relação entre as espécies de árvores e o tipo de madeira



Fonte das imagens: MARCHI (1983); JANKOWSKY (1985); TOMASELLI & KLITZKE (2000); MACIEIRA (2014). Editada pelo autor

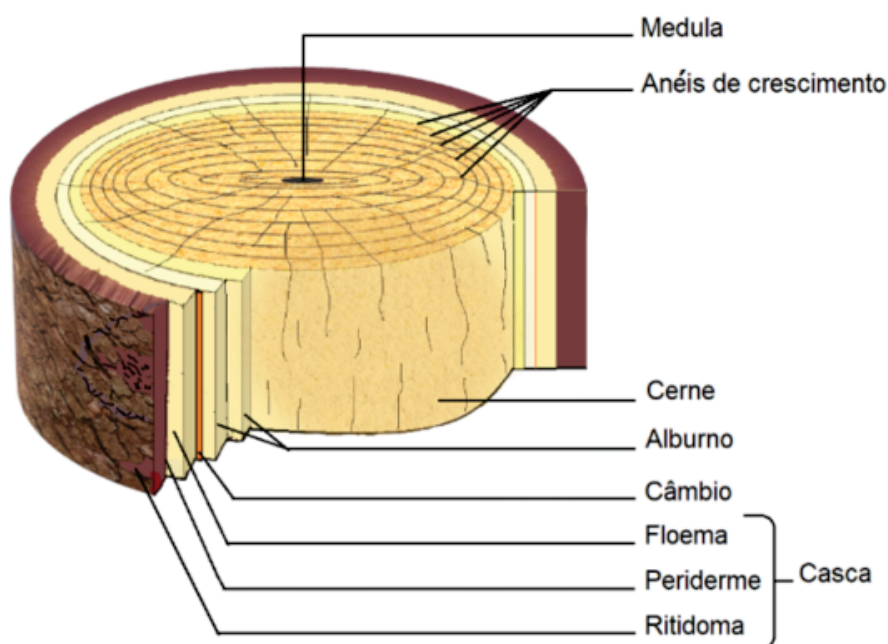
A madeira é constituída de forma heterogênea por diferentes tipos de células, com

propriedades específicas nas seguintes funções vitais:

- condução de líquidos;
- armazenamento, transformação e transporte de substâncias nutritivas;
- sustentação do vegetal.

Como demonstra a Figura 5, uma seção transversal de um tronco típico de dicotiledônea e gimnosperma, na maioria das vezes é possível distinguir macroscopicamente as seguintes partes da estrutura:

Figura 5 – Seção de um tronco típico de dicotiledônea e gimnosperma



Elaborada pelo autor

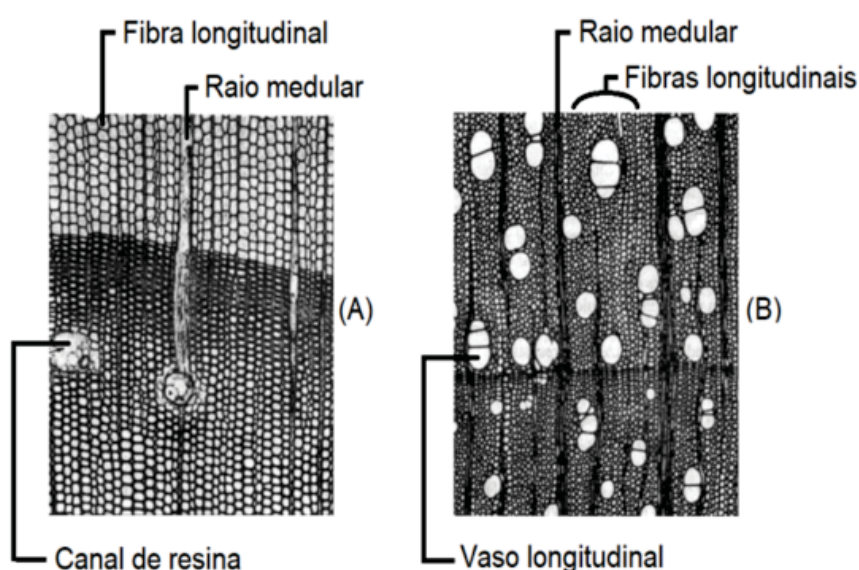
2.4.4 Características da microestrutura

As células (fibras) da madeira são tubos com paredes muito finas, coladas entre si e alinhadas no sentido axial do tronco. As fibras longitudinais possuem diâmetros que podem variar entre 10 e 80 micra⁵ e comprimento de 1 a 8 mm. A parede da célula pode variar de 2 a 7 micra de espessura. O grupo das madeiras macias (coníferas), possuem traqueóides axiais que representam uma participação de 95 a 97% do volume do tronco e

⁵ **Micra**, unidade de medida de comprimento que corresponde à milionésima (1 milhão) parte do metro. Sinônimo de: micro, micrometro. Fonte: Dicio, Dicionário Online de Português. Disponível em: <https://www.dicio.com.br/micra/>. Acesso em: outubro de 2020.

têm a função de conduzir por capilaridade a seiva. As coníferas possuem traqueóides com as extremidades permeáveis e perfurações laterais que permitem a passagem de líquidos. Algumas espécies apresentam canais longitudinais, ovalizados, que armazenam resinas. Nas árvores folhosas (latifoliadas), as células longitudinais possuem as extremidades fechadas, a seiva então circula em células justapostas com diâmetro maior e com extremidades abertas, denominadas vasos ou canais. As fibras têm apenas a função de sustentação da árvore. Na Figura 6, observam-se as diferenças entre as seções transversais de conífera e de madeira frondosa ou (latifoliada) (BRITEZ; NOGUEIRA, 2006).

Figura 6 – Seções transversais de (A) conífera e (B) árvore folhosa (latifoliada)



(PFEIL, 2003) Adaptada pelo autor

2.4.5 O movimento da água na madeira

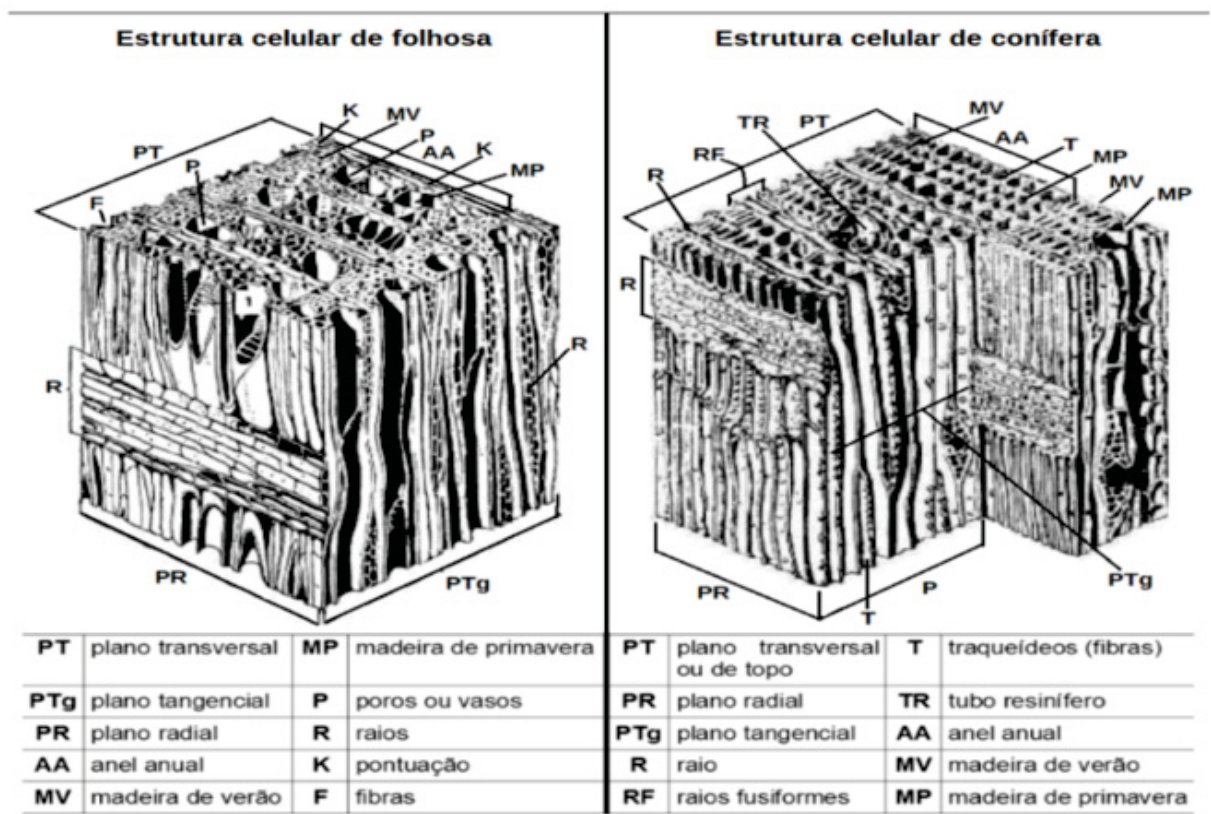
Uma árvore, como qualquer ser vivo, necessita de água para sua sobrevivência e por meio desta os nutrientes são transportados para todas as suas partes. Quando uma árvore é derrubada, encontramos uma grande parcela de seu peso relacionado a um percentual de água retida em sua estrutura. A umidade da madeira na árvore pode variar de 31 a 249% no cerne e de 40 a 213% no alburno (LABORATORY F P, 1987).

De acordo com Kollmann, Cotê Junior e Wilfred (1968 apud MUÑIZ, 1993, 51). A madeira de uma árvore recém-abatida possui quatro diferentes tipos de água em seu interior. Ao ficar exposta ao meio ambiente, evapora inicialmente a água localizada nos vasos, canais e no lúmen das células, o que é denominado **água de capilaridade** (água capilar ou água livre), presente na forma líquida nas cavidades e aberturas da madeira conectando também as cavidades celulares, como mostra a Figura 7. Em seguida, a água localizada no interior das paredes celulares, denominada **água de adesão** ou higroscópica, ligada à parede

celular através de pontes de hidrogênio nas zonas amorfas das microfibrilas, permanece parcialmente na madeira e, indica o ponto de saturação da fibra (PSF), que, dependendo da espécie, pode variar entre 25 e 35%. Ainda, a **água de constituição**, em suas moléculas de celulose, hemicelulose e lignina. Por fim, o **vapor de água** movimentando-se por difusão nas aberturas naturais da madeira .

Outros autores, reduzem a condição da água na madeira para apenas dois tipos: **água livre**, nas cavidades das células (não afeta as propriedades da madeira, somente sua massa), e a **água de impregnação** nas paredes celulares, difícil de ser removida durante a secagem e altera as propriedades da madeira (PONCE; WATAI, 1985); (TOMASELLI; KLITZKE, 2000); (SANTOS; JANKOWSKY; ANDRADE, 2003).

Figura 7 – Detalhamento da estrutura celular de folhosa e conífera



Ponce & Watai (1985)

Quanto a capacidade natural da madeira de reter ou perder água, (MORESCHI, 2014, p.47) afirma o seguinte:

O termo **adsorção** refere-se à capacidade de assimilação espontânea de água pela madeira, decorrente de um aumento de vapor de água na atmosfera, até

que se atinja um equilíbrio entre a umidade da madeira e a do ambiente. Este fenômeno depende do teor de umidade atual da madeira e da umidade existente no ar, que se relaciona à umidade relativa e à temperatura do ar do ambiente em que a madeira se encontra, condicionando-a a se equilibrar com maior teor de umidade. O termo **desorção** é utilizado quando o fenômeno de adsorção se dá de forma inversa, ou seja, quando a madeira perde umidade para se equilibrar com o ambiente. Sua ocorrência também é dependente das variáveis umidade relativa e temperatura do ar supracitadas, porém quando estas condicionam a madeira a se equilibrar com menor teor de umidade.

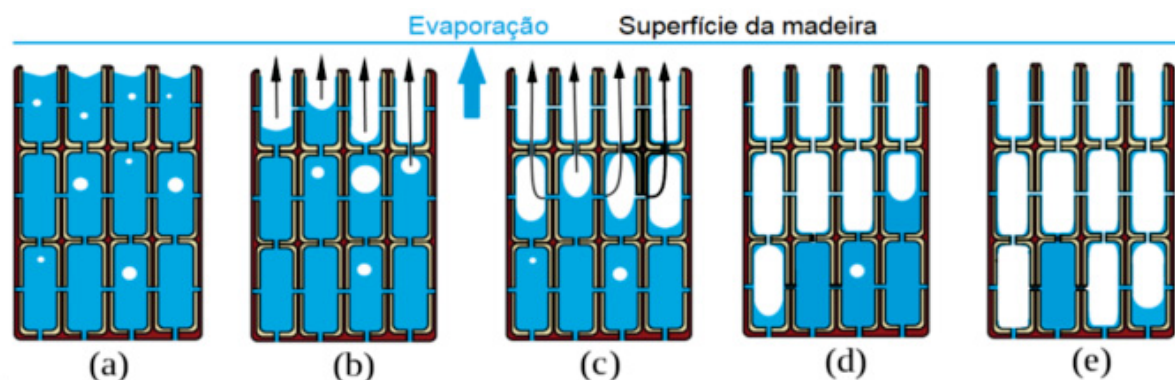
De forma resumida, podemos afirmar que a água retida na madeira se desloca das regiões com alto teor de umidade para as regiões de baixo teor. Tanto na forma líquida ou como vapor, ela se move através das paredes celulares por meio dos canais naturais da madeira. A secagem acontece com a remoção da umidade que se encontra em sua superfície, permitindo o deslocamento da umidade que está no seu interior para o exterior (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

(PONCE; WATAI, 1985) afirmam que o PSF ocorre quando evaporar toda a água livre das células, mas suas paredes permanecerem saturadas. Partindo do momento em que a madeira atinge o PSF até sua completa secagem, observam-se mudanças relativamente grandes em suas propriedades físicas e mecânicas; a madeira começa a se contrair e além disso é necessária mais energia para evaporar a água presa em seu interior.

2.4.6 Conceito de anisotropia

Como demonstra a Figura 8, a água capilar inicia a evaporar a partir do momento que atinge a superfície da madeira pelas células expostas ao ar (a) e (b). Na medida em que as células vão se esvaziando da superfície para o interior da madeira, a água inicia a se distribuir pelas células circunstantes através da parede celular (c) e (d). Algumas células podem se manter cheias de água (e) e entrar em colapso nos processos de secagem que utilizam altas temperaturas se as aberturas da membrana forem demasiadamente pequenas e a parede celular fraca. Neste caso, as células sofrem deformações ocasionando ondulações, torções e empenamento na madeira (GALVÃO, 1985).

Figura 8 – Como se supõe que ocorra o processo de transferência da água capilar para superfície na madeira verde (recém-cortada)



Elaborada pelo autor

O gradiente de umidade nada mais é do que a diferença entre o teor de umidade (TU) entre a superfície e o interior da madeira. Quanto maior a diferença de (TU) entre a superfície e o interior da madeira, maior é o gradiente de umidade (GU) (TOMASELLI; KLITZKE, 2000).

A madeira extraída de uma árvore recém abatida, pode apresentar mais de 200% de teor de umidade⁶. Esta expressiva variação de umidade pode ser observada entre as espécies de madeiras ou dentro de uma mesma árvore. O cerne normalmente apresenta um teor de umidade mais baixo que o alburno e em algumas espécies a parte inferior da árvore pode conter menos água de que as extremidades superiores (PONCE & WATAI, 1985).

De forma natural e lenta, a umidade da madeira se reduz enquanto as toras não forem convertidas em madeira serrada. Após o desdobro⁷ inicial da madeira, esta umidade se reduz com maior ou menor rapidez devido a alguns fatores como a espécie vegetal, a dimensão das peças, forma de estocagem e o clima local. Porém, o processo da perda de água livre da madeira só deverá ser concluído quando esta estiver com teor de umidade inferior a 30%, que corresponde ao Ponto de Saturação das Fibras (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

Durante uma fase no processo de secagem da madeira, a quantidade de água que evapora da superfície é maior do que a quantidade de água capilar transferida para a superfície. Ocorre então que o teor de umidade superficial diminui para valores inferiores

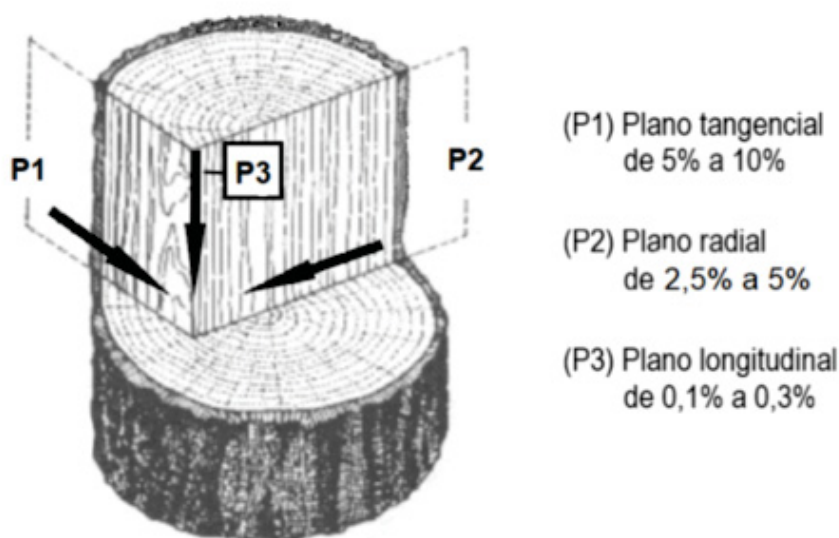
⁶ **Teor de umidade maior de 100%**, acontece quando o peso da água no interior da madeira supera o peso da madeira quando seca.

⁷ **Desdobro**, como se denomina o processo de conversão das toras em madeira serrada.

à umidade de saturação do ar (USA). Desta forma são geradas as forças que movem a água abaixo da umidade de saturação ao ar estabelecendo um gradiente de umidade. Este gradiente pode variar conforme a permeabilidade da madeira e o tempo de secagem (GALVÃO & JANKOWSKY, 1985).

A **retratibilidade** corresponde à alteração das dimensões em uma peça de madeira devido à perda de água de impregnação. A madeira apresenta comportamentos distintos de retração segundo o sentido das fibras e aos anéis de crescimento. Os percentuais diferem para cada um dos três principais sentidos anatômicos, tangencial, radial e longitudinal como mostra a Figura 9. Entre os sentidos transversais, **tangencial (P1)** e **radial (P2)**, o de menor retratibilidade é o **radial** seguido pelo corte tangencial. O sentido **longitudinal (P3)** apresenta um valor de retratibilidade mínima. Isto acontece, pois, neste sentido os elementos estruturais que constituem a madeira estão dispostos verticalmente o que faz com que o n.º de paredes por cm² seja bem menor (TOMASELLI; KLITZKE, 2000).

Figura 9 – Os três principais sentidos anatômicos da madeira



Adaptada pelo autor

Mesmo não existindo consenso entre os autores, podemos considerar os resultados percentuais de retração apresentados na Figura 9. Estes correspondem à passagem do ponto de saturação das fibras (30%) para o teor de umidade nulo (0%). O fenômeno ocorre de forma mais significativa no sentido tangencial com retração entre 5% e 10% conforme a espécie. A retração no sentido radial é cerca da metade da retração que ocorre na direção tangencial. E por fim, o sentido longitudinal é o que sofre menor retração, apresentando uma variação entre 0,1% a 0,3% (BRITZ; NOGUEIRA, 2006).

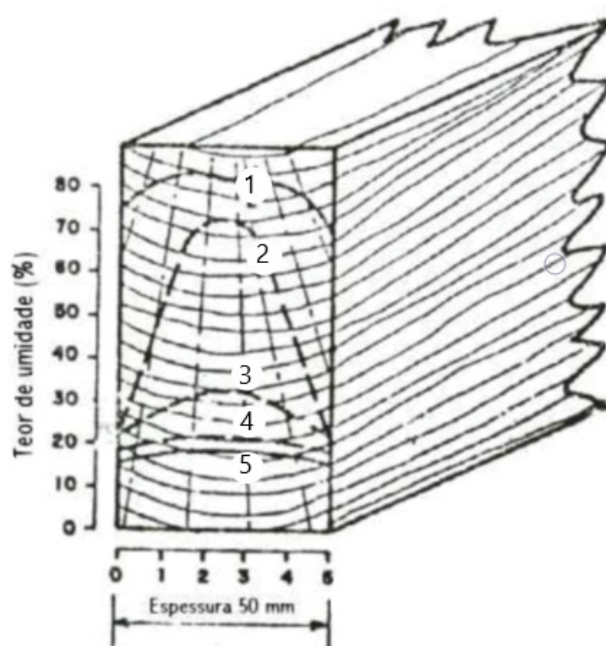
Com a perda da água abaixo do ponto de saturação da fibra, a madeira ainda apresenta a “contração volumétrica” que corresponde à redução da peça de madeira por inteiro, compreendendo o maior volume percentual de retração, entre 6% e 27% conforme a espécie (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

Burguer e Richter (1991), afirmam que as proporções entre os sentidos de corte da madeira podem ser alterados, fugindo dos padrões previstos caso as madeiras apresentem desvios de grã, além de provocar deformações nas peças.

Se expomos ao meio ambiente uma madeira previamente seca a 0% de umidade, esta adsorve (absorve) a água que está dispersa no ar em forma de vapor e que corresponde à água higroscópica ou água de impregnação. A madeira ainda poderá apresentar água em forma de vapor em seus capilares, mas devido à baixa densidade do vapor de água em relação à água capilar e higroscópica, esta se torna quantitativamente desprezível (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

Na medida em que avança a secagem da madeira, o gradiente de umidade na Figura 10, decresce conforme o período de tempo de secagem diminuindo também a velocidade da secagem, ou seja, a velocidade da secagem é maior nas primeiras horas com a retirada da água livre e tende a diminuir progressivamente conforme a água de impregnação desloca-se para a superfície da madeira (SIMPSON, 1991).

Figura 10 – Alteração do gradiente de umidade em uma peça de madeira conforme o tempo de secagem



(SIMPSON, 1991)

Os números de 1 a 5 no interior da Figura 10, correspondem a queda do teor de umidade (TU) da madeira.

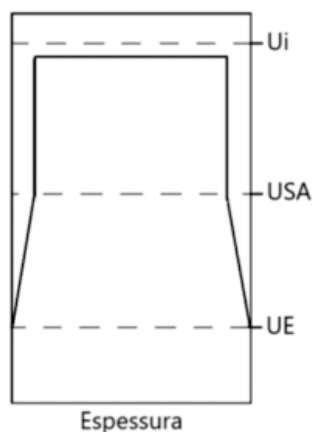
A formação do gradiente está relacionada com as características de permeabilidade da madeira. As Figuras 12, 13 e 14, demonstram suas características em diferentes situações.

Para madeiras com **permeabilidade reduzida**, na Figura 11, o teor de umidade da superfície ficará imediatamente abaixo da USA devido à falta de continuidade de capilares, alcançando rapidamente a UE enquanto a umidade em seu interior se mantém bastante elevada (GALVÃO & JANKOWSKY, 1985).

UI = umidade inicial

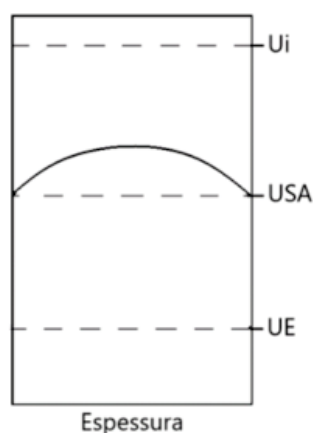
USA = umidade de saturação do ar

UE = umidade de equilíbrio

Figura 11 – Gradiente de umidade da madeira com reduzida permeabilidade

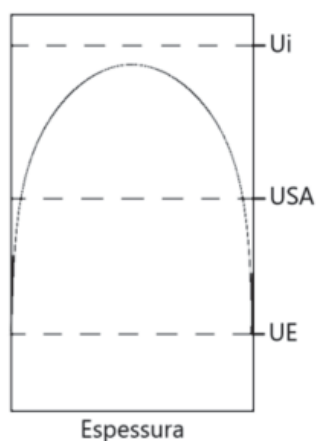
GALVÃO & JANKOWSKY, (1985 p.59)

Como demonstra a Figura 12, as madeiras **altamente permeáveis** apresentam rápida transferência de água do interior para a superfície mantendo nas camadas superficiais, teores de umidade correspondentes à U_E .

Figura 12 – Gradiente de umidade de madeira com alta permeabilidade

GALVÃO & JANKOWSKY, (1985 p. 59)

A situação mais comumente encontrada corresponde à **permeabilidade moderada**. Nesta, a evaporação de água de superfície é mais rápida do que o movimento da água do interior para o exterior. Como demonstra a Figura 13, as camadas situadas mais externamente estão à U_E com o ambiente, portanto, abaixo da U_{SA} (GALVÃO & JANKOWSKY, 1985).

Figura 13 – Gradiente de umidade para madeiras com permeabilidade moderada

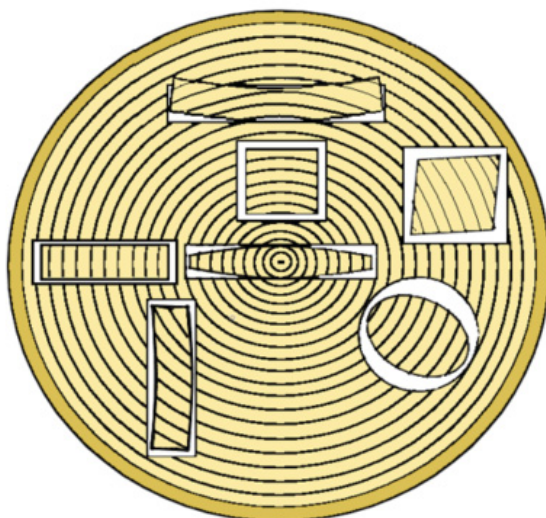
GALVÃO & JANKOWSKY, (1985 p. 59)

2.4.7 Anisotropia dimensional

A madeira incha ou contrai desigualmente, ou seja, é um material **anisotrópico**, não possui as mesmas características nos três sentidos anatômicos **radial, tangencial e longitudinal**. Por ser muito pequena, a variação dimensional no sentido longitudinal costuma ser negligenciado. Esta diferença se deve a estrutura microscópica e submicroscópica da madeira. Este fenômeno é denominado como “anisotropia dimensional” e pode ocorrer de duas formas: quando a madeira **perde** umidade denomina-se “anisotropia dimensional de contração” e quando **absorve** umidade “anisotropia dimensional de inchamento” (TOMASELLI & KLITZKE, 2000).

Na Figura 14, pode-se observar como a madeira sofre deformações após a secagem devido à anisotropia.

Figura 14 – Deformação por secagem, conforme a posição da peça na tora



Elaborada pelo autor

Devido às flutuações da umidade do ar entre os períodos que vão de seco a úmido, a madeira, que é um material higroscópico, troca moléculas de água com o ar, o que a faz inchar ou encolher. O material levantado na pesquisa demonstra o fato que cada espécie de madeira possui maior ou menor grau de contração e inchamento volumétrico. Moreschi (2014), faz a seguinte observação:

O aumento de volume (inchamento) deve-se principalmente à inclusão de moléculas de água nos espaços submicroscópicos da parede celular, entre as micelas (feixes formados por moléculas de celulose) e nas suas regiões amorfas, afastando-as e, conseqüentemente, alterando as dimensões da madeira. Da mesma forma, a diminuição do volume (contração) deve-se à retirada das moléculas de água dos espaços submicroscópicos ocasionando a aproximação das micelas e das moléculas que as constituem e a conseqüente retração da madeira.

No sentido anatômico **tangencial** da madeira manifesta-se a maior alteração dimensional, depois no sentido **radial** e, finalmente, no sentido **longitudinal**. Este último sentido anatômico, por ter alteração dimensional muito baixa, é pouco considerado para fins práticos.

A natureza higroscópica da madeira faz com que esta ganhe ou perca umidade continuamente, em função das condições variáveis de teor de umidade do ambiente em que se encontra, até atingir um estado de equilíbrio com a atmosfera ou “**equilíbrio higroscópico**”. O teor de umidade da madeira no momento em que atinge o equilíbrio higroscópico é denominado “**umidade de equilíbrio da madeira**” ou “**umidade final**”. Isto é resultado

de um ponto de equilíbrio, entre a pressão do vapor d'água contido no ar do ambiente, onde se encontra a madeira, e a pressão de vapor existente em seu interior (TOMASELLI, 2000).

2.4.8 Coeficiente de anisotropia

Por meio do coeficiente de anisotropia⁸ ou fator de anisotropia dimensional, podemos obter informações prévias a respeito da qualidade de uma determinada espécie de madeira quanto a sua estabilidade dimensional. Desta forma, o luthier pode sentir-se mais seguro ao utilizar algum tipo de madeira com que não tenha trabalhado ainda.

Conhecido como a relação T/R, o fator de anisotropia dimensional (A) se expressa por meio da relação entre os movimentos lineares, tangencial e radial, no caso de contração (Ac) e inchamento (Ai).

$$A_c = \beta_t / \beta_r \text{ e } A_i = \alpha_t / \alpha_r$$

O coeficiente da anisotropia dimensional é a razão entre a contração máxima do sentido **tangencial** em relação à contração máxima do sentido **radial**. Desta forma, é possível avaliar e selecionar madeiras com maior estabilidade com dados previamente obtidos em laboratório.

A Tabela 4, apresenta os valores (T/R) empregados para a classificação da madeira, de acordo com seu fator de anisotropia específico.

Tabela 4 – Apresenta os valores (T/R) empregados para a classificação da madeira, de acordo com seu fator de anisotropia específico

Coeficiente de anisotropia (Fator A)	Qualidade da madeira
< 1,5	Madeira muito estável
1,6 até 2,0	Média baixa estabilidade
2,0 até 2,5	Média alta instabilidade

⁸ **Coeficiente de anisotropia**, coeficientes de T/R, podem ser encontrados pela 'internet'. IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, na sessão: Informações sobre madeiras.

Coeficiente de anisotropia (Fator A)	Qualidade da madeira
> 2,6	Madeira muito instável

(TOMASELLI; KLITZKE, 2000)

De uma maneira geral, as madeiras com resultados menores na relação de T/R são mais estáveis, nos casos em que o valor fosse igual a **1** indicaria um material com total ausência de alteração nas suas dimensões, ou suas alterações seriam iguais em todos os sentidos, o que não ocorre com a madeira.

Como exemplo, a Tabela 5, apresenta o grau de estabilidade de algumas madeiras brasileiras.

Tabela 5 – Grau de estabilidade de algumas madeiras brasileiras entre 3 espécies de eucaliptos

Madeira	Variação dimensional tangencial (T)	Variação dimensional radial (R)	Relação T/R	Estabilidade
Ipê	5,5	4	1,4	Muito estável
Cedro	6,3	4,3	1,5	Muito estável
<i>E. citriodora</i>	9,6	6,5	1,5	Muito estável
Virola	7	4,7	1,5	Muito estável
<i>E. maculata</i>	9,4	5,9	1,6	Média baixa estabilidade

Madeira	Variação dimensional tangencial (T)	Variação dimensional radial (R)	Relação T/R	Estabilidade
Jequitibá	5,5	3	1,8	Média baixa estabilidade
Peroba-rosa	7,7	4	1,9	Média baixa estabilidade
Pinho-do-paraná	7,8	4	1,9	Média baixa estabilidade
Pau-marfim	9,9	5,2	1,9	Média baixa estabilidade
Imbuia	6,3	2,7	2,3	Média alta instabilidade
<i>E. tereticornis</i>	16,7	7,3	2,3	Média alta instabilidade
Jatobá	6,5	2,7	2,4	Média alta instabilidade

Valores de (T) e (R) em %. *E. citriodora*; *E. maculata* e *E. tereticornis* correspondem às variedades de madeira de eucalipto (GALVÃO, 1985 p.51, adaptada pelo autor)

Como se observa nos exemplos da Tabela 5, a madeira de ipê e o cedro, acompanhados pela *E. citriodora*, apresentaram os melhores resultados com baixa relação T/R. Porém, esta última apresenta valores absolutos de T e R elevados e consequentemente, maior movimentação de contração desta espécie em relação as anteriores. Já a baixa relação T/R e valores absolutos de T e R baixos indicam madeiras com maior estabilidade (JANKOWSKY, 1985).

A Tabela 6, apresenta o coeficiente de anisotropia de algumas das principais madeiras estrangeiras, utilizadas na luteria:

Tabela 6 – Coeficiente de anisotropia de algumas das principais madeiras estrangeiras, utilizadas na luteria

Madeira	Variação dimensional tangencial (T)	Variação dimensional radial (R)	Relação T/R
European Spruce – <i>Picea abies</i>	8	4	2
Sitka spruce – <i>Picea sitchensis</i>	5	4	1,2
Eastern canadian spruce – <i>Picea glauca</i>	8,2	4,7	1,7
Sicamore (Maple) - <i>Acer pseudoplatanus</i>	8	4	2
Sugar maple – <i>Acer Saccharum</i>	8	4	2
European maple – <i>Acer Platanoides</i>	8	4	2
African blackwood – <i>Dalbergia melanoxylon</i>	7,1	2,9	2,4
Granadilha – <i>Dalbergia retusa</i>	6,8	2,9	2,3
African ebony – <i>Diospyros spp</i>	6	3,5	1,7

(SOUZA, 1983)

2.4.9 A condição do ar na secagem industrial da madeira

Para evaporar a umidade da madeira necessita-se de calor. Quanto mais alta for a temperatura do ar, maior será a taxa de transferência de umidade do interior da madeira para a superfície. O calor gera a energia cinética necessária para que as moléculas da água contida na madeira apresente maior facilidade de movimentação. Portanto, a velocidade de evaporação será resultante da quantidade de calor aplicada por unidade de tempo, associada à capacidade de absorção de umidade pelo ar. O aumento da temperatura no interior da madeira incrementa o coeficiente de circulação das moléculas de água. Ex.: Se elevarmos a temperatura de 25 °C para 80 °C, aceleramos a velocidade de circulação das moléculas de água em cinco (5) vezes (TOMASELLI & KLITZKE, 2000).

Para algumas espécies de madeiras nativas da Europa, muito utilizadas na luteria em geral, Marchi (1983, tradução do autor) informa o seguinte: a temperatura máxima empregada na secagem da madeira em estufa convencional fica limitada a quanto a espécie

pode suportar, como exemplo: Noz, carvalho e maple 80 °C; pioppo 85 °C; abete (85° - 100 °C). Porém, quando as madeiras não devem ter alteradas suas cores naturais, a temperatura não deve ultrapassar os 50 °C e, para que não seja forçada a saída das essências resinosas, a temperatura não deve ultrapassar os 60 °C.

Sobre a temperatura na secagem convencional da madeira no Brasil, Tomaselli e Klitzke (2000) informam que a temperatura ideal para se obter uma excelente secagem é de 70° a 90 °C para as **madeiras medianas ou leves** (coníferas). Para madeiras de peso **médio e pesadas** a temperatura é de 60° a 80 °C. Algumas espécies de folhosas sofrem descoloração quando com umidade relativa acima de 65% e temperaturas acima de 60 °C.

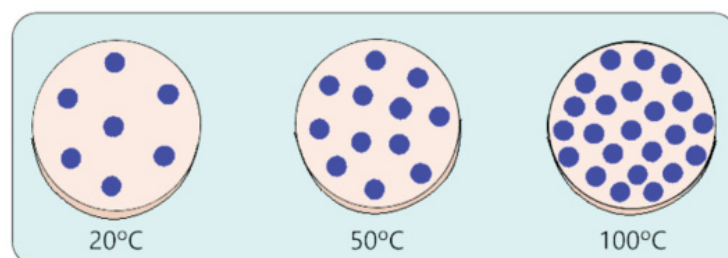
2.4.10 A condição higrométrica do ar

Quando a água localizada na parte superficial da madeira é absorvida pelo ar circundante, a água que se encontra nas áreas imediatamente abaixo da superfície se desloca para as regiões mais secas, e assim sucessivamente até que a zona mais interna da madeira perca toda a umidade excedente. A evaporação da água ocorre na superfície da madeira e é influenciada pelos seguintes fatores: **temperatura do ar**, **condição higrométrica do ar** e a **circulação do ar** (MARCHI, 1983).

A condição higrométrica do ar é a relação entre a quantidade efetiva de vapor de água presente na atmosfera e a quantidade máxima de umidade que o ar poderá reter em uma determinada temperatura (MARCHI, 1983)

A Figura 15, apresenta de forma esquemática o volume de vapor de água absorvido pelo ar em mesmo ambiente, sob diferentes condições de temperatura.

Figura 15 – Representação esquemática da variação da capacidade de absorção de vapor de água da mesma porção de ar variando a temperatura



TOMASELLI & KLITZKE, (2000 pg. 30)

2.4.11 A circulação do ar no interior das estufas de secagem

No interior de uma estufa de secagem, o ar pode circular de maneira forçada através de ventiladores elétricos ou de forma natural. A circulação do ar tem a função de conduzir calor para a madeira e carregar a umidade dela evaporada. Penetrando na pilha de madeira e se movimentando entre as peças, o ar seco remove o vapor d'água, o que reduz a sua temperatura. Este ar úmido e frio é removido e substituído constantemente por ar seco e frio continuando a secagem (PONCE & WATAI, 1985).

Conforme Galvão & Jankowsky (1985), Ponce & Watai (1985), Simpson (1991), Tomaselli & Klitzke (2000), os principais tipos de secagem em estufa aceleram a circulação do ar em seu interior, à medida em que a temperatura também aumenta.

2.4.12 Principais características das estufas de secagem

SECAGEM COM CIRCULAÇÃO NATURAL DO AR. Utiliza o princípio da convecção, o ar se desloca lentamente pelo interior da estufa, entrando por aberturas que absorvem o ar seco e frio do exterior em sua base, saindo quente e úmido por aberturas no alto.

SECAGEM A BAIXA TEMPERATURA OU PRÉ-SECADOR. Realizada com temperatura inferior a 50 °C. Basicamente se controla apenas a temperatura no interior da câmara. A energia é normalmente gerada de forma artificial na maioria dos casos, mas pode ser a natural para os secadores solares. Pode secar madeiras de espécies e espessuras diferentes. O movimento do ar no interior da câmara é baixo.

SECAGEM CONVENCIONAL OU ARTIFICIAL. É o processo de secagem mais empregado na atualidade. A temperatura, umidade e velocidade mais elevada do ar são controladas constantemente por programas de secagem conforme a espécie da madeira.

SECAGEM A ALTA TEMPERATURA. Opera em regra geral com o dobro do fluxo de ar da secagem convencional. Há maior controle da uniformidade e distribuição do ar pela madeira. Requer maior controle do processo de secagem por parte dos técnicos devido aos riscos de defeitos que as altas temperaturas que podem ocasionar à madeira.

A Tabela 7, mostra a relação entre a temperatura e a velocidade do ar nas quatro categorias de secagem mais praticadas.

Tabela 7 – Relação entre a temperatura e a velocidade do ar nas quatro categorias de secagem mais praticadas

Modo de secagem	Temperatura	Ventilação em metros por segundo (m/s)	Ventilação em metros por minuto (m/min.)
Secagem com circulação natural do ar	Até 45 °C	0,15	9
Secagem a baixa temperatura ou pré-secador	Inferior a 50 °C	0,5 a 1	30 a 60
Secagem convencional	De 50 até 100 °C	1,5 a 2,5	90 a 150
Secagem a alta temperatura	Acima de 100 °C	4 a 10	240 a 600

(GALVÃO & JANKOUSKI, 1985; PONCE & WATAI, 1985; (SIMPSON, 1991); TOMASELLI & KLITZKE, 2000). Elaborada pelo autor

Podemos observar na Tabela 7, que temperaturas inferiores a 50 °C utilizam baixas taxas de velocidade do ar para a secagem da madeira.

Os violões são instrumentos montados inteiramente com cola, possuem espessuras muito delicadas e diversos tipos de madeiras com densidades e alterações dimensionais próprias de cada espécie. Temperaturas acima dos 40 °C poderiam colocar em risco a estabilidade estrutural da caixa de ressonância, prejudicar as colagens e gerar alterações de alinhamento do braço com o corpo do instrumento, portanto, embasado nestas informações decidiu-se, para o processo de aclimação das madeiras do violão, limitar a **temperatura** em até 40°C^o ±2 °C e a **velocidade do ar** entre 0,15 e 0,5 m/s.

2.4.13 Estufas e métodos de secagem para madeira

São vários os métodos ou processos para a secagem da madeira e estes podem utilizar altas temperaturas, vácuo, altas frequências, produtos químicos, etc. O que se sabe é que não existe um método de secagem que possa ser recomendado para todas as ocasiões (PONCE & WATAI, 1985).

A secagem da madeira é uma prática indispensável para as indústrias que necessi-

tam de madeira serrada como matéria-prima. As estufas secam a madeira de forma artificial, acelerando o processo de atendimento à demanda do mercado.

Galvão e Jankowsky (1985) afirmam que a secagem artificial controlada traz diversas vantagens em relação à secagem natural:

1. redução do tempo de secagem, o que agiliza o giro de capital;
2. maior controle dos possíveis defeitos da secagem;
3. possibilidade de eliminar insetos e fungos;
4. redução de forma predeterminada do teor de umidade da madeira em qualquer época do ano;
5. eliminação do uso de grandes pátios necessários no sistema de secagem natural.

2.4.14 Os métodos mais empregados na secagem da madeira

2.4.14.1 Secagem ao ar livre ou “natural”

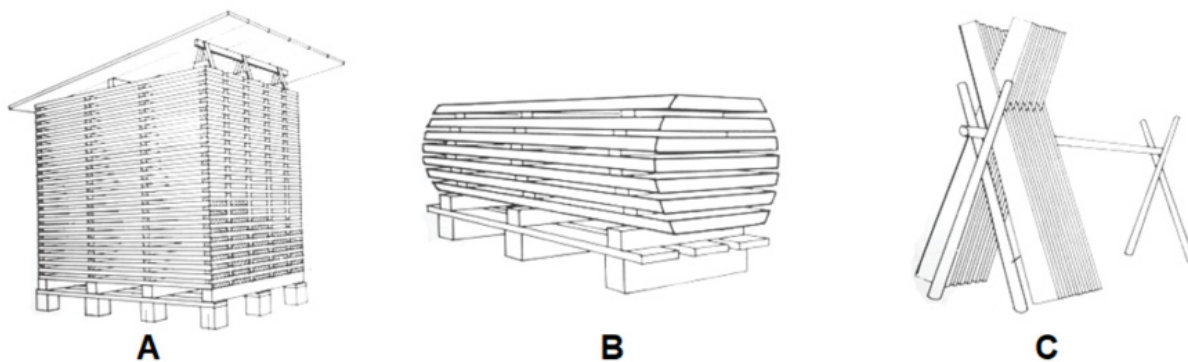
A prática de secagem da madeira ao ar livre é a mais antiga e simples que existe, conhecida também como “secagem natural”. Deve-se considerar que tanto o método de secagem ao ar livre “natural” como o método de secagem artificial “forçada”, se apoiam nos mesmos princípios e ambos os procedimentos dependem de um controle técnico apropriado no decorrer da secagem. Este método de secagem consiste em expor as madeiras ao ar livre e ao tempo, protegendo-as da chuva e o sol, até que estas entrem em equilíbrio higroscópico com o ambiente, conforme mostra a Figura 16.

Figura 16 – Secagem natural de madeira em ambiente protegido

AGRIESTUFA, (2013)

Para que se tenha êxito com esta prática, deve-se ter o devido cuidado com a disposição das tábuas e o distanciamento adequado para as pilhas, se o terreno é ventilado, seco (drenado), limpo de vegetações, etc. (MARCHI, 1983). A circulação natural apoia-se no princípio de que o ar frio desce e o ar quente sobe, podendo-se obter velocidades de circulação do ar de até 9 m/min. ou 0,15 m/s (GALVÃO & JANKOUSKI, 1985).

São diversas as formas possíveis de expor a madeira ao tempo. A Figura 17, apresenta algumas das opções mais adotadas.

Figura 17 – Exemplos de disposição da madeira para secagem natural. (A) Empilhamento horizontal. (B) Seção de tronco fatiado. (C) Tábuas dispostas verticalmente em forma de tesoura

MARCHI, (1983)

2.4.14.2 Vantagens e desvantagens da secagem natural

Como todo método de secagem, encontramos vantagens e desvantagens, e estas são consideráveis para os grandes volumes de madeira comercializados para a indústria, em geral. (TOMASELLI; KLITZKE, 2000) apresentam o seguinte:

Vantagens:

- Redução da umidade inicial da madeira o que consequentemente diminui o peso e os custos de transporte;
- Minimização do problema das manchas ocasionadas pelo desenvolvimento de fungos;
- Aproveitamento das condições climáticas do ambiente.

Desvantagens:

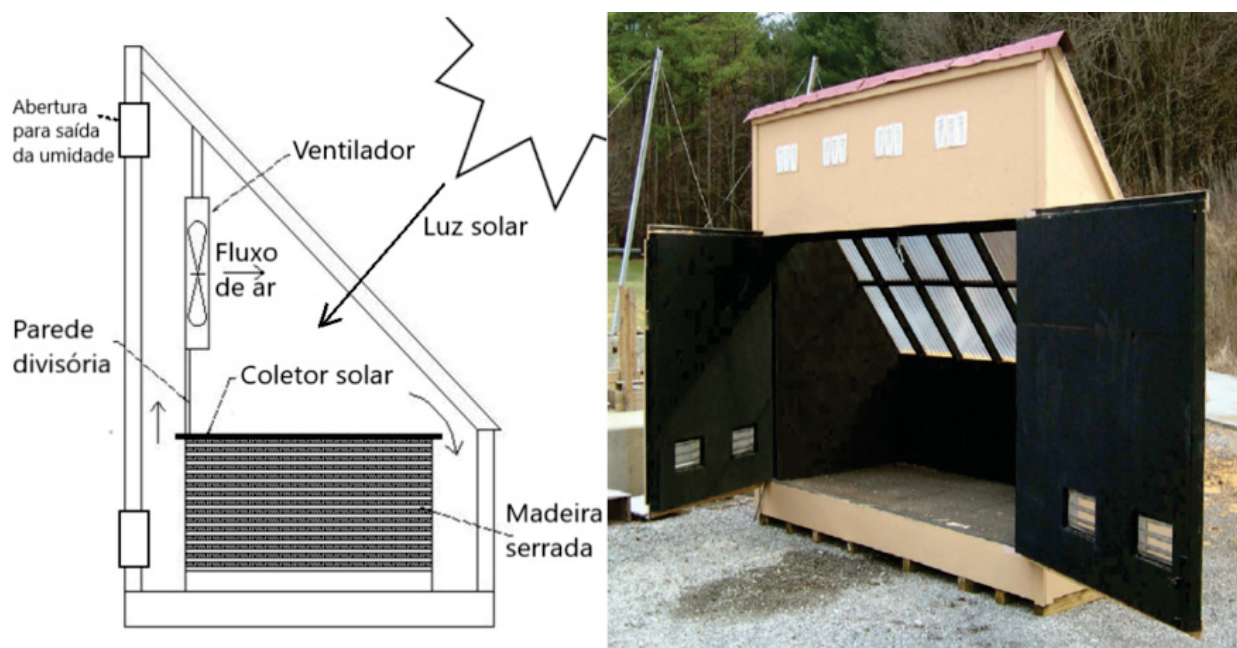
- Necessidade de grandes áreas para expor e estocar a madeira;
- Impossibilidade de controlar as condições do clima, o que pode ocasionar alguns defeitos na madeira;
- Aumento considerável do tempo de secagem quando comparado com a secagem convencional;
- Preservação de teor de umidade final muito elevado, limitando muito o uso da madeira.

2.4.14.3 Secagem com estufa solar

As estufas solares são uma alternativa barata às estufas convencionais com aquecimento a vapor, indicadas especialmente para pequenas operações, como os fabricantes de artesanato em madeira. As estufas solares têm grande potencial, especialmente em locais remotos com pouco acesso às fontes de energia convencionais (BOND; ESPINOZA; ARAMAN, 2011).

A estufa é aquecida quando a radiação solar entra pelo vidro e é absorvido pelas superfícies internas pintadas de preto Figura 18, O calor liberado por estas superfícies para o ar aquece o ar no espaço do coletor e circula através da madeira pelos ventiladores. À medida que o ar aquecido circula, ele absorve a umidade da superfície da madeira serrada. A umidade evaporada aumenta a umidade relativa do ar e, quando a umidade da câmara fica muito alta, ela pode ser expelida da câmara através das aberturas na parte traseira do forno. Essas aberturas também permitem a entrada de ar fresco e seco no forno (SIMPSON, 1991); BOND *et al.*, 2011).

Figura 18 – Diagrama e imagem de uma estufa solar



BOND et al. 2011. Editado pelo autor

2.4.14.4 Vantagens e desvantagens da secagem com estufa solar

Conforme Simpson (1991), as vantagens e desvantagens deste tipo de estufa de secagem são:

Vantagens:

- Gratuitude, abundância e disponibilidade da energia;
- Pequeno tamanho e custo das instalações;
- Praticidade para pequenas operações de secagem.

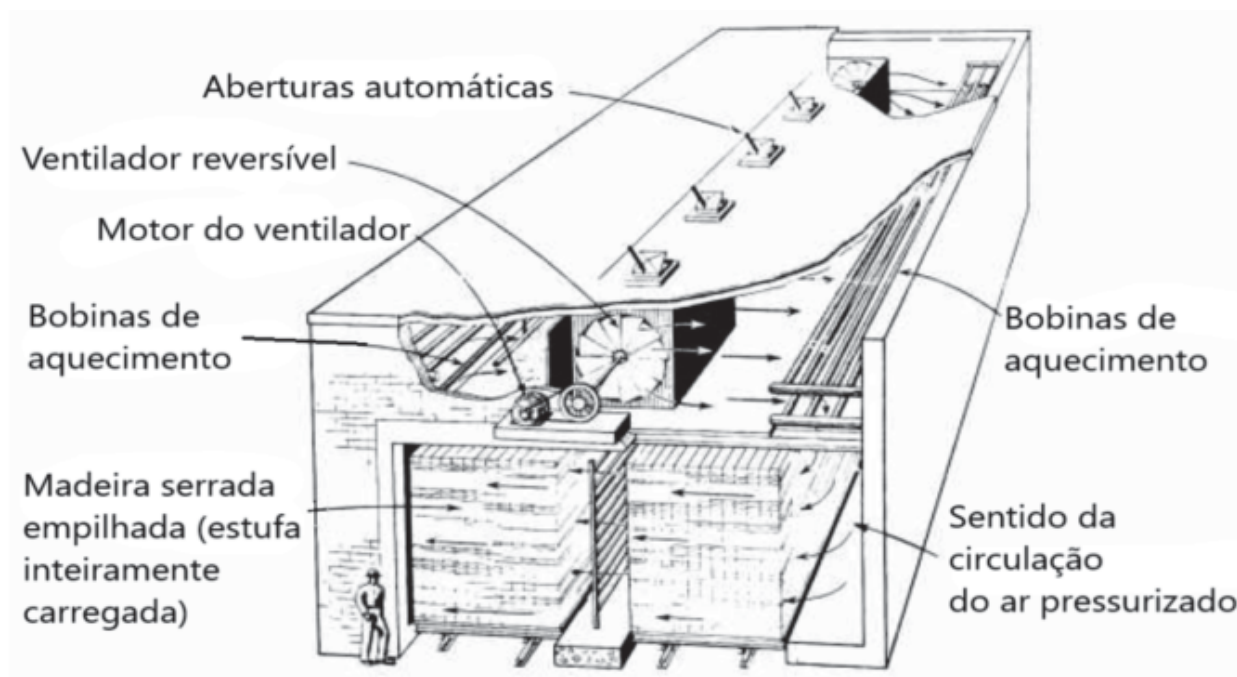
Desvantagens:

- Baixa intensidade da energia coletada, o que limita a temperatura da operação;
- Pouco volume de madeira seca produzida;
- Perda térmica durante o período noturno.

2.4.14.5 Secagem convencional da madeira

Uma estufa de secagem convencional, consiste em uma ou mais câmaras, quartos ou túneis nos quais o ar possa circular ao redor da madeira que está sendo seca, conforme a Figura 19. A temperatura e a umidade relativa do ar podem ser mantidas de forma manual ou automática. A qualidade do projeto de uma estufa tem uma grande influência na operação e eficiência de secagem. Uma estufa corretamente projetada secará a maioria das madeiras ou outros produtos de madeira para qualquer teor de umidade especificado entre 3 e 15% em um tempo razoavelmente curto, sem perdas apreciáveis (RASMUSSEN, 1961).

Figura 19 – Visão geral da estrutura e do funcionamento de uma estufa de secagem de madeira serrada



RASMUSSEN (1961 pg. 31)

Dentro da estufa, a secagem da madeira ocorre de forma conduzida, em que o ar

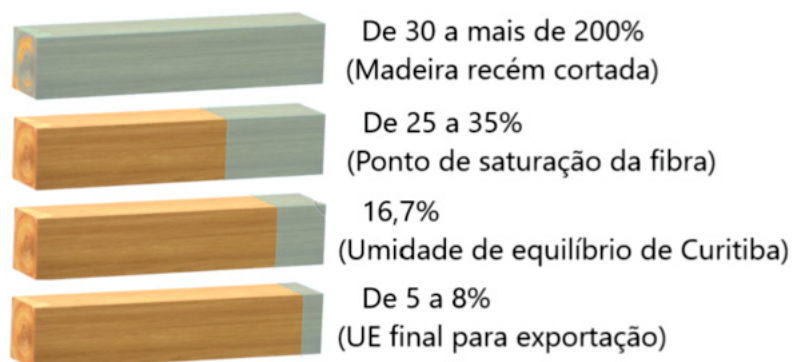
circula pela superfície da madeira a velocidades que variam entre 60 a 120 m/min. (1 a 2 m/s) e temperaturas que iniciam entre 40° a 80° C, atingindo no final do processo de 65° a 95° C. A circulação do ar forçada e as temperaturas moderadamente altas são os principais fatores aceleradores da secagem (PONCE & WATAI, 1985). De acordo com Rasmussen (1968, apud Galvão & Jankowsky 1984, p. 67), “Na circulação forçada, obtida com o auxílio de circuladores acionados por motores elétricos, as velocidades variam geralmente de 21-120 m/min (0,35 - 2 m/s)”. Velocidades próximas a 2 m/s são consideradas as mais econômicas, mas velocidades maiores podem ser empregadas nos casos onde o teor de umidade inicial das madeiras for elevado (RASMUSSEN, 1968). Tomaselli e Klitzke (2000) afirmam que a secagem convencional ou artificial é o processo de secagem mais utilizado, se desenvolve com temperaturas de 50 até 100 °C e velocidade do ar em torno de 1,5 a 2,5 m/s constantes. A capacidade das câmaras pode variar de 10 a 150 m³.

2.4.15 Proposta de secagem em câmara climática

A câmara climática é um equipamento que possibilita associações controladas de diferentes teores de umidade e temperatura em seu interior, possibilitando avaliar o comportamento de diversos tipos de materiais quando submetidos a diferentes ensaios climáticos. Câmaras climáticas podem ser encontradas no comércio para diversos setores da indústria, como aeroespacial, alimentícia, automotiva, eletrônica, farmacêutica, militar, nuclear, petróleo e gás etc. (ZANOTTI, 2017).

Nesta pesquisa, a câmara climática é empregada como estufa de secagem, e de forma semelhante aos processos de acondicionamento apresentados anteriormente, serve para ajustar a umidade de equilíbrio final. Como apresenta a Figura 20, seu objetivo é o de reduzir de 16,7% (UE média de Curitiba) para teores próximos de 8% conforme aconselha a literatura.

Figura 20 – Representação gráfica dos percentuais de umidade na madeira, do momento do corte aos valores sugeridos para a exportação.



Elaborada pelo autor

Os diferentes métodos de secagem, apresentam características próprias e podem ser escolhidos conforme as exigências do mercado. A Tabela 8, apresenta um comparativo entre os tipos de secagem e para quais teores de umidade são mais indicados ou não.

Tabela 8 – Distinções entre os métodos de secagem da madeira

Percentual de umidade na madeira	Condição da umidade na madeira	Secagem ao ar livre (natural)	Estufa solar	Estufa convencional	Câmara climática
25 a 200% ou +	Recém cortada	SIM	SIM	SIM	NÃO
25 a 35%	Ponto de saturação da fibra	SIM	SIM	SIM	NÃO
16,7%	Umidade de equilíbrio de Curitiba	SIM	SIM	SIM	SIM
8 a 10%	Umidade final para clima seco	NÃO	SIM	SIM	SIM
5 a 8%	Umidade final para clima super-seco	NÃO	SIM	SIM	SIM

(Elaborada pelo autor, com base em GALVÃO & JANKOWSKY, 1985; PONCE & WATAI, 1985); TOMASELLI & KLITZKE, 2000)

Como mostra a Tabela 8, a câmara climática é indicada para (aclimatar) reduzir um pequeno percentual da umidade no interior da madeira, a partir da umidade de equilíbrio do local onde está estocada. Isto se deve ao fato que os luthiers profissionais procuram confeccionar seus instrumentos com madeiras cortadas há mais de cinco anos, em média. A secagem da madeira com umidade acima do ponto de saturação da fibra se tornaria muito dispendiosa com a CC.

2.4.16 Métodos de determinação dos teores de umidade da madeira

Dentre os vários métodos existentes para estimar ou determinar a umidade da madeira, serão apresentados os aparelhos portáteis encontrados no mercado nacional e o método gravimétrico, que muitos autores consideram como o método mais preciso para a determinação da umidade na madeira.

2.4.16.1 Aparelho elétrico (resistivo)

Os medidores elétricos mais populares são os de resistência elétrica. São aparelhos portáteis e muito práticos devido à imediata determinação da umidade da madeira. Baseiam-se na resistência oferecida pela madeira à passagem de uma corrente elétrica que varia conforme o teor de umidade da madeira (GALVÃO & JANKOWSKY, 1985).

Este método apoia-se no fato de que a transmissão da corrente contínua é facilitada pela presença de umidade na madeira e, na medida que esta se reduz, aumenta a resistência à passagem da corrente elétrica. Como mostra a Figura 21, os medidores elétricos possuem dois eletrodos em forma de agulha que penetram na madeira e fazem passar uma corrente elétrica de um para o outro através da madeira.

Figura 21 – Exemplos de medidores elétricos de agulha



(KENNEDY, 2021); (AKSO, 2021); (DHGATE, 2020)

Os medidores de umidade de resistência são mais confiáveis na faixa de umidade higroscópica entre 5% a 30% de umidade em temperatura ambiente. Quando os teores de umidade estão abaixo destes limites, a resistividade é muito elevada para que possa ser medida pelos medidores elétricos comuns. Perde-se também a confiabilidade das medições quando a umidade está acima do PSF por reduzir muito a sensibilidade destes aparelhos. Dependendo da espécie de madeira a resistividade pode ser duas a três vezes maior na direção normal às fibras, portanto as agulhas dos medidores elétricos devem ser cravadas paralelamente à direção das fibras e penetrar aproximadamente 1/3 da espessura da amostra devido à presença de gradiente de umidade (TOMASELLI; KLITZKE, 2000). Neste caso a amostra deverá ter um terço de sua espessura removida para a inserção das agulhas do medidor.

2.4.16.2 Aparelho elétrico (reativo ou capacitivo)

Os medidores de umidade elétricos reativos ou capacitivos, como mostra a Figura 22, são conhecidos também como medidores de contato pois basta encostá-los na peça para efetuar a medição. Possuem sensores metálicos que servem como pólos de um capacitor cuja capacitância aumenta quando colocada alguma massa dielétrica⁹ entre seus eletrodos onde as cargas são armazenadas. O volume de água presente na madeira faz que o dielétrico varie e esta variação é traduzida em umidade relativa. Este tipo de medidor emite um campo elétrico a uma determinada profundidade, fazendo uma leitura média da umidade (NICAWÉ, 2019).

Figura 22 – Exemplos de medidores de umidade de contato (reativos ou capacitivos)



(GERAIS, 2016); (FIBREGLAST, 2021); (MARRARI, 2021)

2.4.16.3 Análise gravimétrica (com secagem completa em estufa)

Para este método utilizam-se fórmulas cujos valores são obtidos mediante o emprego de estufas que permitam a regulação de temperatura entre 101 °C e 105 °C, dotadas de circuladores de ar, termostato e de uma balança com capacidade de pesagem de 0,1 g. Entende-se como **peso seco** um valor de referência que pode ser reproduzível, onde uma amostra de madeira é submetida à secagem em estufa, sob temperaturas entre 103 ± 2 °C, até que a amostra em uma sequência de pesagens não reduza mais seu peso (GALVÃO & JANKOWSKY, 1985).

Tomaselli & Klitzke (2000) consideram a madeira está seca quando, após sucessivas pesagens, não se verificarem mudanças na leitura superiores a 0,05g num intervalo de uma hora.

⁹ **Massa dielétrica:** material isolante, neste caso a própria madeira.

O resultado do TU será expresso e calculado em porcentagem.

Para que se determine o teor de umidade, emprega-se a seguinte fórmula:

$$TU = \frac{PU - PS}{PS} \times 100(\%)$$

Onde: **TU** = Teor de umidade da amostra (%), **PU** = Peso Úmido da amostra (gr), **PS** = Peso seco da amostra (gr).

O teor de umidade (TU) é definido pelo peso da quantidade de água presente em uma amostra de madeira, comparado ao peso desta mesma amostra em condição anidra.

2.4.17 O violão como instrumento de referência

O violão, por estar indissociavelmente ligado a uma visão sócio cultural do Brasil, tanto quanto o café, o futebol e o samba, é o mais importante representante da arte da luteria do Brasil para exportação, por isso, o objeto de estudo nesta pesquisa. O que se considera como a família do violão abrange os instrumentos confeccionados para a música antiga, do barroco¹⁰ ao renascimento passando pelos violões do período romântico ao moderno de nossos dias. Considerando o leque de formas, dimensões e espessuras utilizadas no processo secular de desenvolvimento deste instrumento, esta pesquisa trata apenas das medidas do violão moderno, confeccionados com madeira maciça sem o emprego de compósitos.

Este capítulo oferece um resumo do processo de evolução experimentado pelos instrumentos que antecederam o violão moderno, a partir do final do século XVII, apresentando alguns dos autores mais significativos do passado ao presente momento. Também trata da importância da especialização qualificada do técnico na área da luteria, para que possa atingir nível de excelência na construção de violões, considerando tanto o material tradicional quanto aos novos materiais de alta tecnologia introduzidos nesta arte.

¹⁰ **Barroco**, (História) Estilo que se desenvolveu no Ocidente, na arquitetura, escultura e pintura, entre a última década do século XVI e a primeira metade do século XVIII, como reação ao espírito renascentista, à arte clássica. Tem como características o elemento pictórico, os efeitos de profundidade, o caráter indefinido do espaço e da unidade, em oposição à delimitação rigorosa das formas e do espaço no universo plástico renascentista. Fonte: Dicionário Michaelis. Acesso em: abril de 2019.

2.4.18 A história do violão moderno a partir do século XVII

O violão, tal qual conhecemos hoje, resulta de uma contínua e longa evolução de diversos instrumentos de cordas. O processo se iniciou no século XVI e só produziu o que consideramos como **violão moderno** há pouco mais de cem anos. Denominada em muitas culturas de forma muito semelhante, a guitarra espanhola é conhecida como “**guitarra**” nos países de língua hispânica, como “**chitarra**”, nos países de língua italiana “**chitarra**” (pronuncia-se guitarra), e como “**classical guitar**” ou “**spanish guitar**” nos países de língua inglesa. O termo **violão** é de origem portuguesa e surge na segunda metade do século XIX, tendo como referência a viola, que era um importante instrumento regional à época, quando o novo instrumento semelhante a esta, porém com maiores dimensões apareceu, e foi então chamado de “violão” (CAMPOS, 2005).

Acredita-se que o violão moderno definiu-se entre os séculos XIX e XX, com a evolução do **violão clássico-romântico** da Figura 23. Este já possuía seis cordas simples e com características estruturais muito semelhantes às do violão moderno atual, aprimoramentos que deram ao instrumento maior tocabilidade e sonoridade, reinserindo o violão no grupo dos instrumentos solistas, que é a categoria de instrumentos que se destacam e assumem um papel fundamental em uma música ou trecho. Por ter adquirido esta condição, o violão rapidamente conquistou os ambientes musicais mais importantes da Europa, propiciando o surgimento de diversos compositores e instrumentistas à época, cuja publicação de seus repertórios ainda são referências importantes para os dias atuais (CAMPOS, 2005).

Figura 23 – Violão clássico-romântico, confeccionado por Louis Panormo, 1832



(VINTAGE, 2019)

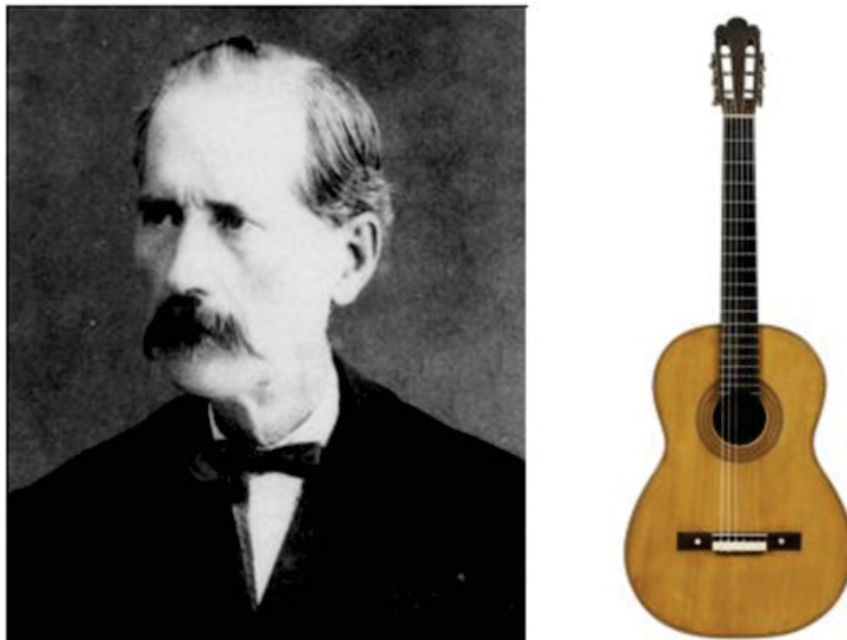
No período entre o final do século XVIII e a metade do século XIX, encontramos uma grande variedade nas formas dos violões, devido às experimentações que procuravam uma maior resposta sonora, tamanho ideal para a caixa de ressonância, comprimento e tensão das cordas. Esta definição para o violão moderno tem início do século XVIII, na cidade de Madri, onde se formou um dos mais importantes centros de construção de violões com os irmãos Muñoa e Juan Moreno. **Juan Muñoa** (1783 – 1824) foi um dos primeiros luthiers a construir o violão com seis cordas na Espanha, suas alterações para a escala e o cavalete do instrumento sendo adotadas para os instrumentos posteriores. **Juan Moreno** (1792 – 1836) aumentou as dimensões da caixa de ressonância e deslocou o cavalete em direção à escala. Seu tampo era confeccionado curvado tanto no sentido longitudinal como transversal, e mantido desta forma devido ao leque e ao cavalete também curvados. Este tipo de construção foi posteriormente utilizado por Antonio de Torres, Francisco Gonzáles e José Ramirez I, (ALLORTO *et al.*, 1990).

2.4.19 Antonio de Torres e o violão clássico moderno

Luthier autodidata, **Antonio de Torres Jurado** (1817 – 1893) na Figura 24, é muito citado na literatura especializada como o pai do violão clássico moderno. Desenvolvendo as

experiências precedentes, produziu um modelo de violão que permaneceu quase inalterado até nossos dias.

Figura 24 – Antonio de Torres Jurado e um de seus violões



Editada pelo autor

(CREMONAMUSICA, 2021); (WESTBROOK, 2014). Editada pelo autor

Antonio de Torres trabalhava como carpinteiro na cidade de Vera, – Espanha, e após se transferir para Sevilha, teve a oportunidade de conhecer as novas tendências na luteria de violões. Acredita-se que, ainda trabalhando como marceneiro, iniciou suas atividades como luthier nos horários vagos. Foi em torno de 1850, após conhecer o violonista Julián Arcas que, impressionado com seus instrumentos e seu talento, acabou por adotá-lo como conselheiro e motivador. Assumiu a luteria como profissão. Em 1856, Torres confeccionou um instrumento para Arcas que o fez conhecido no ambiente dos violonistas. Em 1858, ganhou seu primeiro prêmio em uma amostra de instrumentos em Sevilha e, em 1864, construiu um violão para o violonista Francisco de Asís Tárrega Eixea (1852 - 1909). Mesmo atingindo o ápice do sucesso com a venda de um violão para Tárrega, um dos mais célebres violonistas e compositores da época, Torres era forçado a procurar outros tipos de trabalhos, pois a confecção de violões não lhe garantia renda suficiente para manter a família. Desta forma decidiu se mudar para Almería, cidade próxima de Vera e se dedicar ao comércio. Em 1875, retorna a confeccionar violões como atividade secundária. Somente em 1883, reassume a luteria de violões integralmente até sua morte. (ALLORTO *et al.*, 1990).

Buscando maior sonoridade para seus instrumentos, Torres fez alterações estruturais

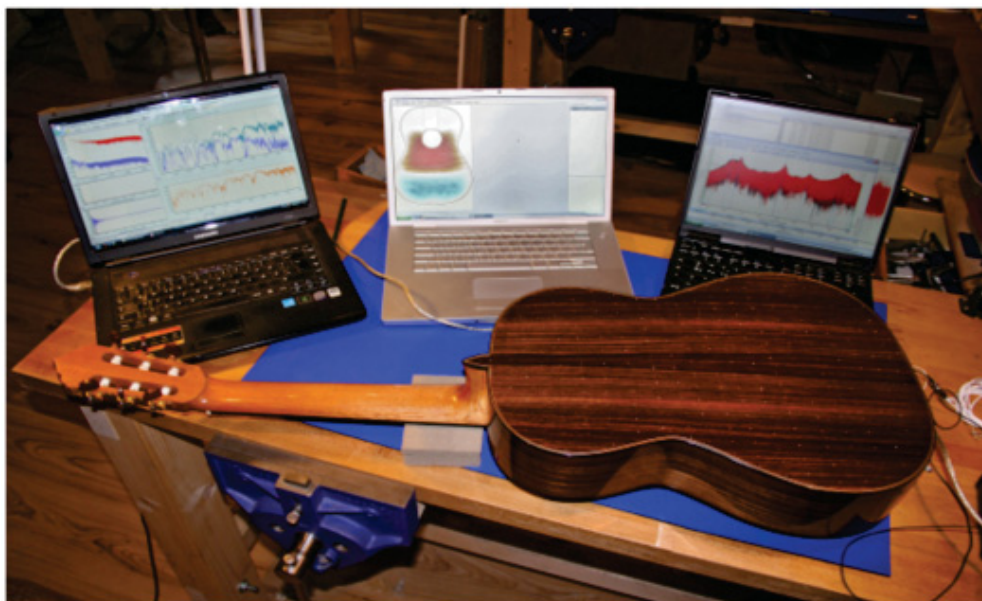
nos violões, que se tornaram padrão para os instrumentos da época e ainda são utilizados por muitos luthiers da atualidade. Os resultados de Torres foram tão significativos que estimularam as gerações posteriores de luthiers a buscar informações técnicas nos campos da acústica (VANNES, 1988; ROMANILLOS, 1990). Um violão de Antônio de Torres, feito na cidade de Almería, Espanha em 1888, alcançou £102.000,00 Libras em outubro de 2014 em um leilão em Londres (BROMPTON'S, 2014).

Na época de Torres, não existiam fábricas de violões, e o que fazia a diferença entre um instrumento de menor ou maior valor de venda dependia do tipo de madeira utilizada, algumas simplificações estruturais, diferença entre o nível de riqueza artística dos elementos decorativos e, se este possuía tarraxas com engrenagens de metal ou madeira. A este respeito, Allorto *et al.* (1990, p.11) afirmam o seguinte:

Para o tampo, leques e travessas (Torres) usava o pinho **abete**, para o fundo e laterais o **maple** e o **jacarandá** nos instrumentos para concerto e o **cipreste** para os instrumentos mais econômicos. Dos instrumentos menos elaborados de Torres se desenvolverá o violão flamenco, que mantém as características do violão pobre. (Sem tarraxas mecânicas de metal, leques e travessas simplificadas, fundo e laterais com cipreste)¹¹.

A luteria, em geral, procura atender um mercado que busca continuamente adquirir instrumentos que satisfaçam não só os músicos, como as exigentes plateias que esperam ouvir este instrumento com facilidade em uma grande sala de concerto, apreciando sua sonoridade natural, sem que esta seja alterada por amplificadores e/ou caixas de som. Isto fez que muitos luthiers de diversos tipos de instrumentos entrassem na área da física e se tornassem pesquisadores, transformando seus atelieres em modernos laboratórios para alcançar os melhores resultados possíveis.

¹¹ **Texto original:** “ Per la tavola armonica e per le catene usava abete, per fondo e fasce acero o palissandro negli strumenti da concerto, cipresso in quelli più economici. Per i manici usava cedro, ebano e palissandro per le tastiere. Dagli strumenti meno elaborati di Torres si svilupperà la chitarra flamenco, che mantiene le caratteristiche dello strumento povero (senza meccaniche, con incatenatura semplificata, fondo e fasce in cipresso)“

Figura 25 – Laboratório de acústica em ateliê de luteria moderno

(TOLZ, 2021)

O século XX foi o mais importante no processo de desenvolvimento técnico do violão, período no qual alcançou o reconhecimento mundial por suas diversas qualidades, tais como fácil tocabilidade, bom volume sonoro, riqueza harmônica, baixo custo e peso reduzido, além de proporcionar uma abrangência sonora comparável ao piano, e fez este instrumento se adaptar rapidamente às culturas musicais do planeta, (CAMPOS, 2005). O luthier moderno foi além do conceito de que basta utilizar as melhores madeiras e fazer um bom trabalho, que o resultado estaria garantido. Atualmente, depende de inovações tecnológicas e de novos materiais, compósitos ou não para atingir resultados competitivos. O violão confeccionado para concerto é muito mais complexo e sofisticado do que o violão comum encontrado nas lojas de instrumentos musicais. Os melhores violões de autores vivos atingem atualmente valores entre U\$ 35.000,00 (Matthias Dammann) e U\$ 25.000,00 (Greg Smallman) (PEPPLER, 2019). Portanto, criar um instrumento que se mantenha íntegro pelo maior tempo possível e, resistindo bem as diferenças climáticas em contínuas turnês pelo mundo, é um sinal para o mercado de que este instrumento é confiável, que poderá preservar o investimento feito na sua aquisição.

O violão pode ser altamente sofisticado e complexo, possuindo o mesmo formato e dimensões de um instrumento básico para iniciante, e tocado tanto por grandes e virtuosos concertistas do erudito, como pelo homem do campo nas suas atividades religiosas, festividades e celebrações. É um instrumento que se propagou por todos os continentes, destacando-se em muitos gêneros musicais, do erudito ao popular, incluindo o blues, country, folk, flamenco, jazz, rock, mariachi, soul, samba, bossa nova e outros, o que torna o violão

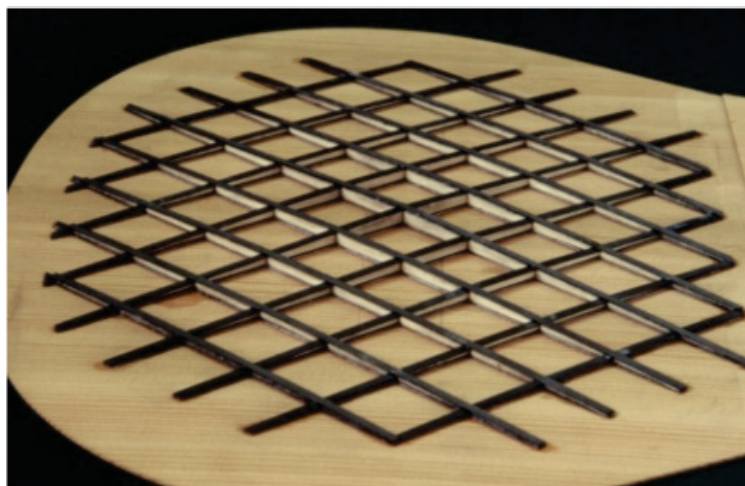
um protagonista indispensável para a música em quase todas as culturas da atualidade.

Provavelmente, o que ajudou o violão a se difundir pelo mundo está além das suas conhecidas virtudes, está na constituição originalmente simples de seu corpo que não faz deste instrumento um grande desafio para os carpinteiros e marceneiros que, como Torres, se dispuseram a fazê-lo. Entre as versões para cordas de nylon ou metal possuem formatos muito diversificados, porém, dimensões muito próximas, diferidas apenas por poucos centímetros.

Na contínua evolução da luteria de violões, novas técnicas de construção e materiais de alta tecnologia associados a pesquisas no campo da acústica elevaram ainda mais as qualidades deste instrumento nos quesitos volume e projeção de som. Kamen (2013), especialista no comércio de violões da Classic Guitars International afirma o seguinte:

Embora Torres seja amplamente considerado o pai do violão como o conhecemos hoje ('pai', não 'inventor'), **Smallman**¹² com seu estilo de **treliça**¹³ e **Dammann**¹⁴ com sua invenção de **tampo duplo**¹⁵ são definitivamente considerados os 'pais' da guitarra clássica moderna. (KAMEN 2013, p.1)

Figura 26 – Sistema de “treliça” de madeira com fibra de carbono colado sob o tampo frontal do violão



(SMALLMAN, 2021); (MARCUS, 2015)

¹² **Greg Smallman**, luthier australiano conhecido por suas alterações no design de seus violões além de empregar materiais de alta tecnologia em sua estrutura.

¹³ **Treliça**, sistema de reforço colado sob o tampo frontal do violão, confeccionado com ripas de madeira entrecruzadas.

¹⁴ **Matthias Dammann**, luthier alemão que nos anos 80 deu início ao emprego de compósitos para a confecção do tampo de seus violões.

¹⁵ **Tampo duplo**, Tampo do violão feito com um compósito de madeira e “*nomex*” (estrutura alveolar de papel de aramida).

2.4.20 Descrição básica das partes que compõem o violão

O violão é constituído por mais de uma centena de partes, não considerando os muitos milhares de “pixels” de madeira que podem compor a **roseta**, (item nº 16 da Tabela 9). A Figura 27 apresenta uma sessão ampliada da roseta, feita como um mosaico é composta por diminutos cubos e tiras de madeira colorida.

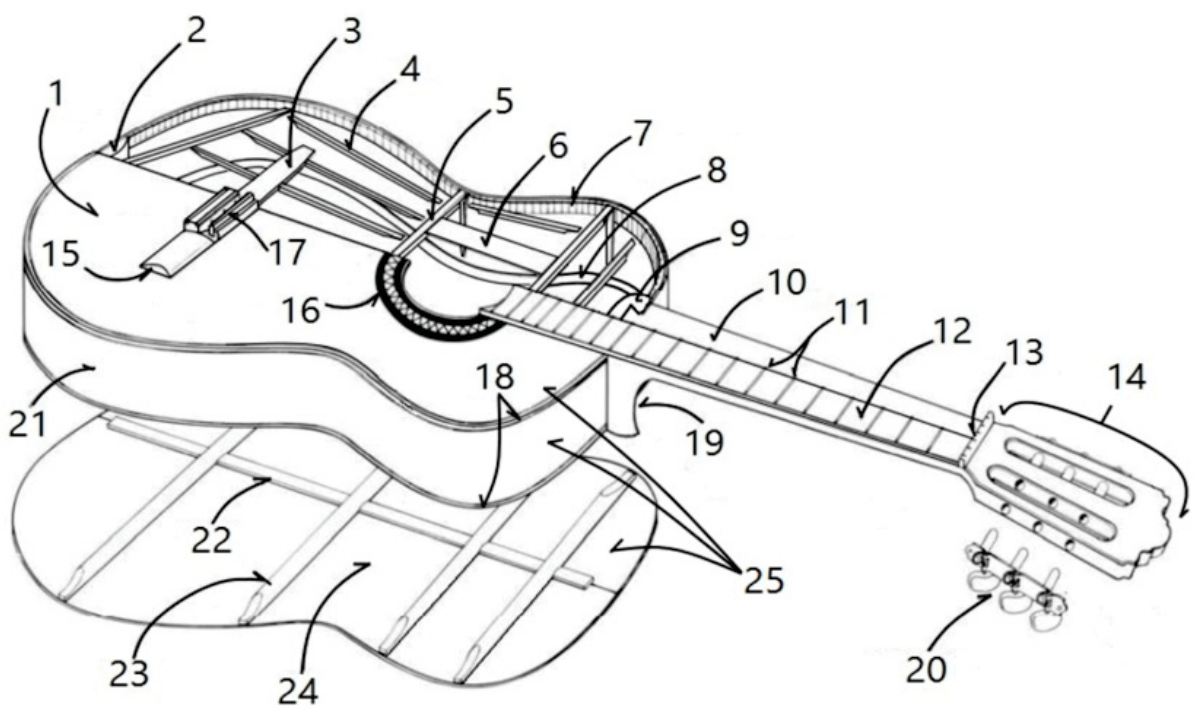
Figura 27 – Sessão da roseta de um violão ampliada



(ROSETTE, 2020)

Na Figura 28, e respectiva Tabela 9, temos a identificação e a descrição das principais partes que compõem o violão:

Figura 28 – Identificação das partes que compõem o violão



(CUMPIANO G.; NATELSON D., 1994). Editada pelo autor

Tabela 9 – Listagem com as partes do violão

Nº	Nome	Função
1	Tampo harmônico, tampo frontal ou tampo	Interagir com as vibrações geradas pelas cordas
2	Taco inferior	Reforçar a junção entre as laterais, tampo e fundo
3	Reforço interno para o cavalete	Enrijecer o tampo contra as tensões geradas pelas cordas no cavalete
4	Componente do leque	Tonificar o tampo
5	Travessa da roseta	Reforço transversal ao sentido das fibras do tampo para evitar deformações nesta área

Nº	Nome	Função
6	Reforço da roseta	Evitar rachaduras e deformações na área da roseta
7	Contrafaixa do tampo	Aumentar a superfície de colagem entre a lateral e o tampo
8	Contrafaixa do fundo	Aumentar a superfície de colagem entre a lateral e o fundo
9	Taco superior ou taco do braço	Reforçar a junção entre as laterais, tampo, fundo e braço
10	Braço	Sustentar a escala e a mão
11	Trastes	Definir o posicionamento das notas musicais
12	Escala	Reforçar o braço e ancorar os trastes
13	Pestana	Regular a posição das cordas sobre os trastes
14	Mão	Suportar as tarraxas e as cordas
15	Cavalete	Suportar a tensão das cordas e distribuir suas vibrações para o tampo
16	Roseta	Fortificar a abertura do tampo(principal elemento decorativo no tampo)
17	Rastilho	Regular o posicionamento das cordas sobre os trastes
18	Frisos e filetes	Enrijecer as bordas do instrumento
19	Taça ou salto do braço	Aumentar a superfície de contato na colagem entre o braço e o corpo do instrumento
20	Tarraxa	Regular a afinação das cordas
21	Lateral	Definir o contorno e volume de ar no interior da caixa de ressonância
22	Reforço da junta do fundo	Evitar o descolamento entre as metades do fundo
23	Travessa do fundo	Reforço transversal ao sentido das fibras do fundo para evitar deformações
24	Fundo ou tampo traseiro	Interagir com as vibrações do tampo

Nº	Nome	Função
25	Conjunto das partes que formam a caixa de ressonância, corpo acústico ou corpo	Amplificar e projetar o som gerado pela vibração das cordas

Elaborada pelo autor

2.4.21 A distribuição das espessuras nas madeiras do violão e a relação com a secagem

A espessura final para as partes do violão depende da função estrutural ou acústica que cada peça tem no corpo do instrumento. As espessuras utilizadas nas madeiras do violão são relevantes para esta pesquisa, pois, este fator reduz drasticamente o tempo de secagem destas e conseqüentemente isto auxilia no direcionamento dos teores de umidade de equilíbrio pretendidos. Estas madeiras, quando adquiridas no comércio especializado, nacional ou internacional, apresentam medidas muito próximas da medida final (medida da peça concluída).

Na literatura especializada da luteria, podemos encontrar uma grande variedade de medidas de espessura sugeridas por luthiers ou coletadas de instrumentos históricos para o **tampo**, **fundo**, **laterais**, **tacos** e **braço** dos violões. A Tabela 10, apresenta valores mínimos e máximos adotados para as espessuras destas partes em um violão moderno. Como podemos ver, com exceção dos tacos e do braço, os violões são instrumentos com espessuras muito delicadas na caixa de ressonância.

Tabela 10 – Valores mínimo e máximo das espessuras empregadas nas partes do violão

Parte do instrumento	Variação da espessura em milímetros (mm)
Tampo	2 a 3
Fundo	2 a 2,5
Laterais	1 a 2
Tacos	10 a 25

Parte do instrumento	Varição da espessura em milímetros (mm)
Braço (sem a escala)	16 a 24

(SLOANE, 1989); (ALLORTO *et al.*, 1990); (CUMPIANO; NATELSON, 1994) ; (TSURUTA, 1995) Elaborada pelo autor

2.4.22 Medidas de comprimento e largura das madeiras do tampo, fundo, laterais e braço do violão

Convém ao luthier estocar as madeiras que adquire de forma pré-cortada, para que suas dimensões fiquem muito próximas das medidas da peça acabada. Este procedimento traz uma série de benefícios para o ambiente de trabalho, como facilitar a remoção do estoque de madeiras para limpeza do local, reformas no ambiente, tratamentos preventivos contra os insetos xilófagos¹⁶, roedores, etc. Mas considera-se principalmente a redução da peça, para acelerar o processo de secagem.

No comércio nacional e internacional de madeiras para a confecção do violão (nylon), encontramos madeiras pré-cortadas, com medidas que podem variar de acordo com o vendedor, mas oscilam entre as seguintes dimensões (Tabela 11):

Tabela 11 – Médias de comprimento e largura das madeiras do tampo, fundo e laterais do violão no comércio internacional e nacional

Parte	Comprimento em centímetros(cm)	Largura em centímetros (cm)
Tampo	50 - 54	20 - 22
Fundo	50 -54	20 - 20
Laterais	71 - 80	10,5 - 12,5
Braço	55 - 60	8 - 9

(INTERNATIONAL, 2021) Elaborada pelo autor

A importância de estocar madeiras cortadas com dimensões próximas das medidas finais, tem uma influência muito grande na secagem, por exemplo: uma peça com 50 mm

¹⁶ **Xilófago**: que ou o que rói ou se alimenta de madeira; lignívoro. (MICHAELIS, 2020)

de espessura pode precisar até quatro vezes mais tempo para secar que a mesma madeira com 25 mm de espessura (PONCE & WATAI, 1985).

Conforme Galvão e Jankowsky (1985), madeiras mais densas requerem maior tempo de secagem do que madeiras menos densas com as mesmas dimensões. Ao considerar o peso seco (P_s) aumentado na madeira com maior densidade, maior massa de água deverá ser removida para que se tenha igual redução de umidade. Exemplificando, para reduzir 20% a umidade de 1 metro cúbico de madeira com densidade de 350 kg m^3 , será necessário remover 70 kg de água, enquanto a madeira com 800 kg m^3 de densidade serão removidos 160 kg de água.

Peças de madeira com maior espessura, aumentam o peso sem alterar significativamente a área superficial para a evaporação da água. A remoção de água da superfície da madeira é indiretamente proporcional à espessura desta, pois, quanto maior a espessura da madeira, maior será a quantidade de parede celular a ser atravessado pelo vapor de água (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985); (TOMASELLI & KLITZKE, 2000).

2.4.23 A estocagem da madeira na luteria de violões

Na grande maioria das vezes, os luthiers trabalham e fazem sozinhos tudo o que é preciso para produzir seus instrumentos. Algumas vezes contam com um ou dois ajudantes (aprendizes), podendo confeccionar mais de dois violões por mês. Se considerarmos o volume bruto das madeiras empregadas na confecção de um violão¹⁷, temos em média¹⁸ de 6.422 cm^3 , portanto, um metro cúbico de madeira renderá 155,7 instrumentos. Um luthier que em 45 anos de atividade produza 1,5 instrumentos por mês, ou 16,5 instrumentos por ano (considerando um mês de férias), consumirá $4,77 \text{ m}^3$ de madeira em toda sua carreira profissional. Os 16,5 instrumentos confeccionados por ano correspondem a 10,59% de um metro cúbico de madeira e para um volume destas proporções, não se justifica um investimento elevado para o processo de aclimação da madeira.

Procurar belas e raras madeiras costuma ser muito prazeroso para os praticantes da luteria. Viagens e incursões por áreas onde se comercializam madeiras de qualidade e a busca por material reciclado, proveniente de demolição predial e de mobiliário antigo, demandam muito tempo e os custos muitas vezes não são cobertos. Isto faz com que os luthiers contem com fornecedores de madeiras para instrumentos musicais, que as vendem

¹⁷ **Volume bruto de madeiras para um violão**, soma do volume total das madeiras necessárias para a confecção de um único instrumento, incluindo pequenas margens de espessura, com aproximadamente 2 milímetros por face para o acabamento das peças.

¹⁸ **Média de volume**, de um violão com cordas de nylon de tamanho médio.

cortadas após a perda de toda a água livre. E toda madeira encontrada com grandes dimensões é inspecionada, selecionada conforme o sentido do corte (radial ou tangencial) e pré-cortada (preservando margens para o acabamento) no formato da peça a que se destina. Posteriormente ao corte são limpas e estocadas em local seco, protegido das intempéries conforme mostra a Figura 29.

Figura 29 – Estoque padrão para as madeiras da luteria de violões, nesta imagem: fundos, tampos e laterais



(TIMELESS, 2020)

Estes estoques têm a finalidade de manter a madeira em constante equilíbrio higroscópico com o ambiente e muitas vezes aguardam diversos anos e até mesmo décadas até que sejam utilizadas.

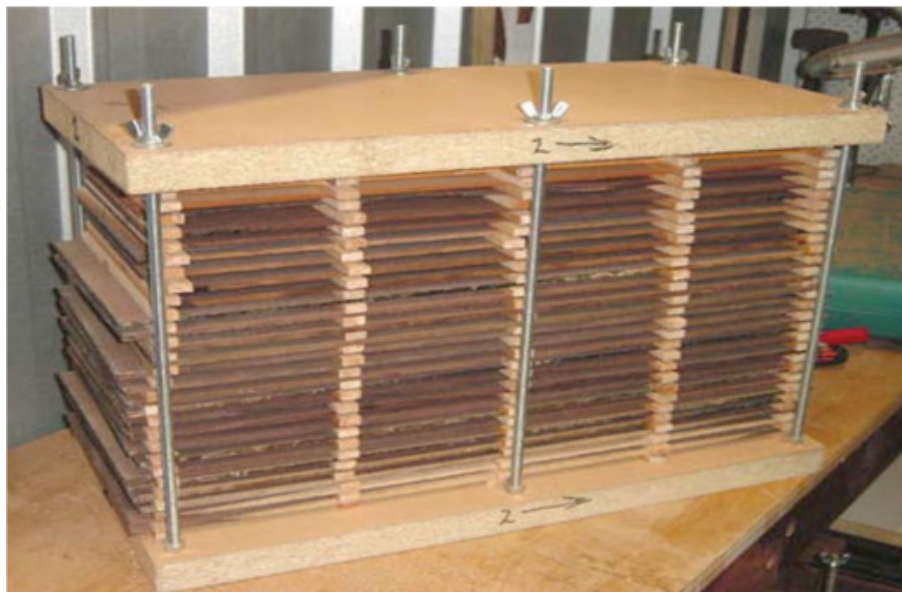
Emprega-se o uso de separadores chamados “*tabiques*” intercalando o empilhamento das madeiras para que o ar seco circule por entre as peças. Como mostra a Figura 30, estes separadores costumam ser confeccionados em forma de longas varetas quadradas com madeira leve ou pesada, com espessura entorno de 5 a 10 milímetros por face.

Figura 30 – Tabiques separando escalas de ébano

(YAMAHA, 2020)

As madeiras utilizadas para a confecção do violão são provenientes de diferentes regiões do Brasil e do exterior. Adequadamente estocadas, devem aguardar o tempo necessário para que cada espécie atinja a umidade de equilíbrio da região onde se encontra.

Neste período de estocagem, a madeira pode ainda sofrer leves deformações como empenamento, torção e rachadura. Para que se minimizem estes problemas, a madeira empilhada, podem ser presa (pressionada) como se observa na Figura 31, empregando sempre o uso de tabiques para a ventilação no interior da pilha.

Figura 31 – Sistema de estocagem com a madeira pressionada

(LUTHIERS, 2020)

Desta forma, a madeira entra em equilíbrio higroscópico com o ambiente com o processo de secagem natural. Aconselha-se o posicionamento alinhado dos tabiques conforme mostra a figura 31.

2.4.24 Métodos de construção do violão

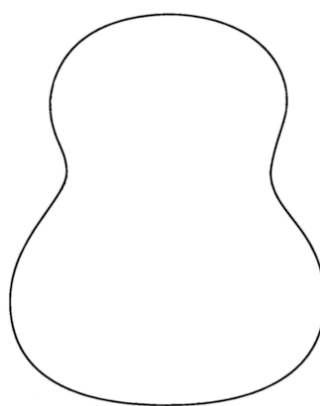
O objetivo deste capítulo é mostrar que a proposta deste trabalho pode ser adotada independentemente do método que venha ser empregado para a confecção do violão. Inicialmente veremos como os principais métodos de confecção utilizados orientam a produção das partes e a sua montagem, sem pormenorizar o processo construtivo, o que poderiam desviar do objetivo o qual este trabalho se propõe.

Na grande maioria das pesquisas desenvolvidas para o violão, o foco de estudo concentra-se na caixa de ressonância, de que se buscam meios para melhorar o desempenho acústico e quais seriam os melhores materiais para a sua composição, e é justamente pela caixa de ressonância que se costuma dar início ao processo de confecção deste instrumento.

Após a definição do projeto de um novo instrumento, é atribuído às laterais o papel de determinar a silhueta da caixa de ressonância. Elas devem ser confeccionadas respeitando perfeitamente a forma especificada em projeto (sem oscilações), e posicionadas com exatidão.

Os procedimentos empregados para a construção do violão desenvolvem-se há séculos e as culturas que adotaram este instrumento contribuem continuamente com inovações nos campos das técnicas construtivas, experimentação de materiais, estética e dimensões o que torna a literatura especializada muito vasta e amplamente difundida. Mesmo considerando a grande diversidade de culturas que confeccionam o violão, encontramos basicamente quatro métodos para a sua produção que partem do desenho da silhueta da caixa de ressonância conforme vemos na Figura 32. Estes métodos são conhecidos como os de: **fôrma interna** (método italiano), **fôrma externa simples**, **fôrma externa** (método espanhol) ou **sem fôrma**.

Figura 32 – Silhueta da caixa de ressonância

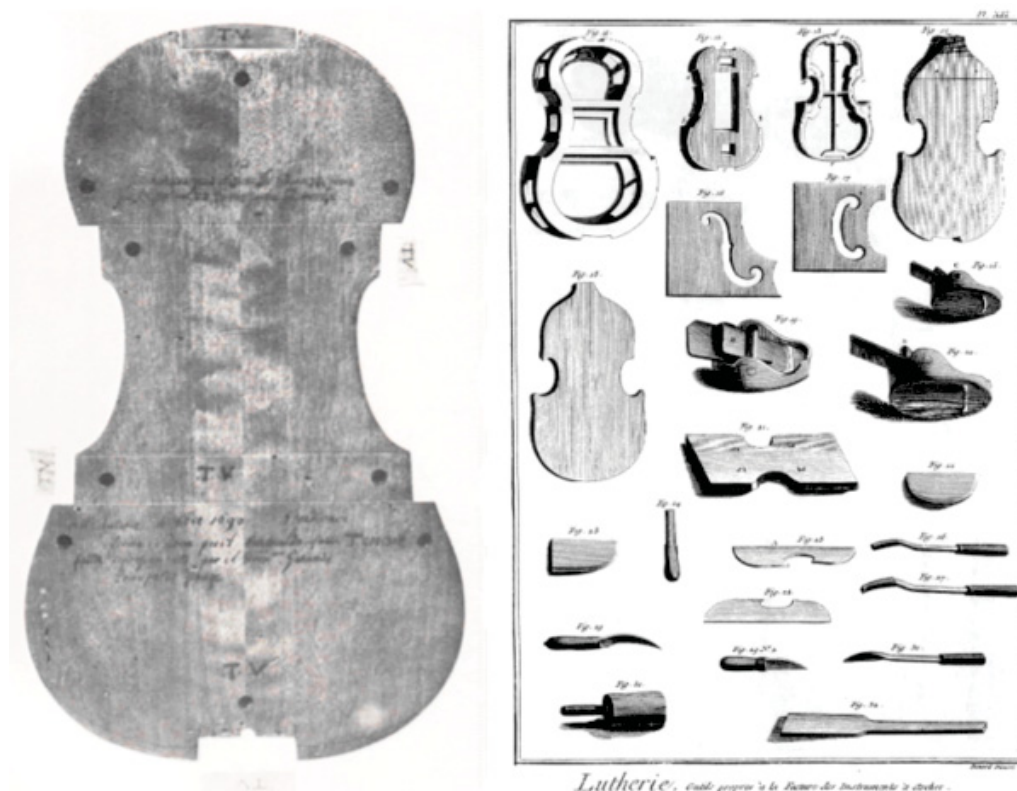


Elaborada pelo autor

2.4.25 A fôrma

Como demonstra a Figura 33, há centenas de anos a luteria emprega o uso de fôrmas na produção de diversas espécies de instrumentos musicais de arco, cordas dedilhadas, percussão entre outros. As fôrmas são gabaritos cuja finalidade é a de orientar com precisão o posicionamento das laterais do instrumento que acabarão por definir a silhueta da caixa de ressonância e muitas vezes também o perfil desta.

Figura 33 – Fôrmas da luteria



Editada pelo autor com imagens de DIDEROT. D; E D'ALEMBERT, (1772),; SACCONI, SIMONI F. (1989)

À esquerda na Figura 33, um exemplar de fôrma para viola de arco, confeccionada em madeira maciça pelo Luthier Antonio Stradivari em 1690 e à direita, vê-se uma ilustração de 1772, apresentando algumas fôrmas, ferramentas e alguns modelos para a fabricação de instrumentos de arco.

Empregadas para a confecção de diversos tipos de instrumentos, as fôrmas costumam ser confeccionadas com madeira compensada ou maciça, mas também emprega-se o acrílico, alumínio cortado ou fundido entre outros materiais estáveis.

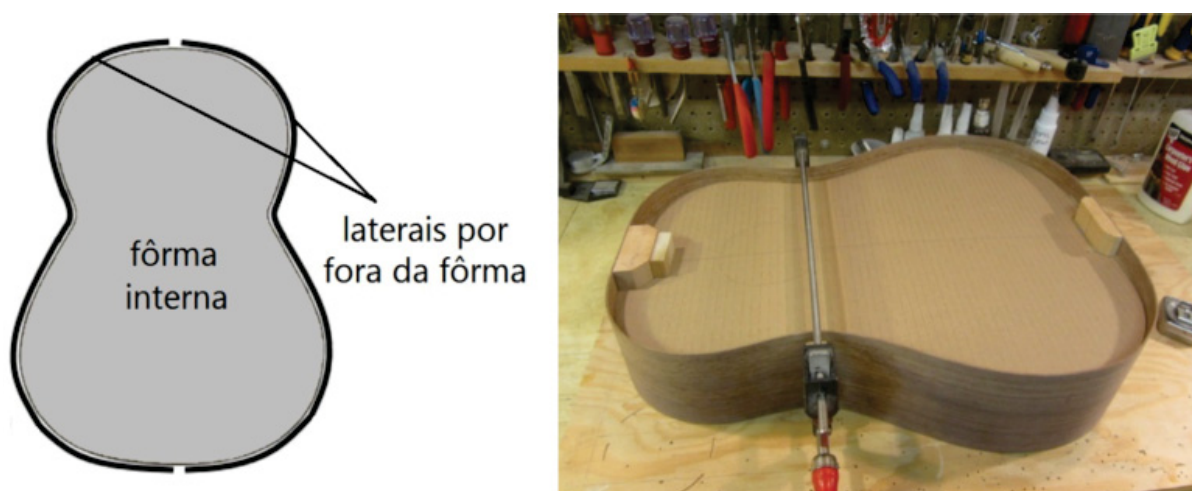
A fôrma ocupará provisoriamente o espaço interno ou externo da caixa de ressonância e somente será retirada do processo de montagem do instrumento, quando a estrutura deste estiver suficientemente sólida para a colagem dos tampos no encerramento da caixa de ressonância.

2.4.26 A construção do violão conforme o tipo de fôrma

2.4.26.1 Fôrma interna

O método da **fôrma interna** ou método italiano, Figura 34, é raramente utilizado fora da Itália, mas seu uso é visto apenas para a confecção de instrumentos de autor¹⁹. Neste método em particular, o braço é colado após a conclusão da caixa de ressonância (COPPIARDI *et al.*, 1980).

Figura 34 – Método da fôrma interna



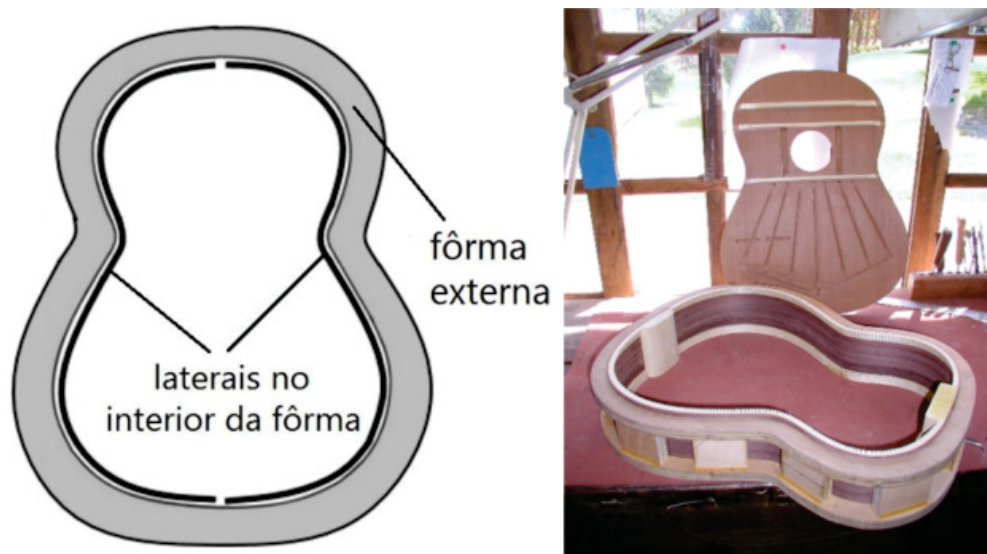
(TAHOE, 2008), Editada pelo autor

2.4.26.2 Fôrma externa simples

O método da **fôrma externa** é o sistema mais empregado entre todos, tanto para os instrumentos de autor como os de fábrica. Ao contrário da fôrma interna, a fôrma externa orienta o posicionamento das laterais pelo lado de fora do que virá a ser a caixa de ressonância. Normalmente é confeccionada com madeira beneficiada ou compensada. A fôrma externa permite total acesso ao interior do instrumento com o tampo ou fundo colado, o que facilita o processo de acabamento interno. Conforme mostra a Figura 35, neste tipo de fôrma, o braço deve ser colado posteriormente à conclusão da caixa de ressonância de forma semelhante ao sistema italiano.

¹⁹ **Instrumento de autor**, Instrumento confeccionado exclusivamente de forma artesanal não industrializada por luthier profissional ou não

Figura 35 – Método da fôrma externa

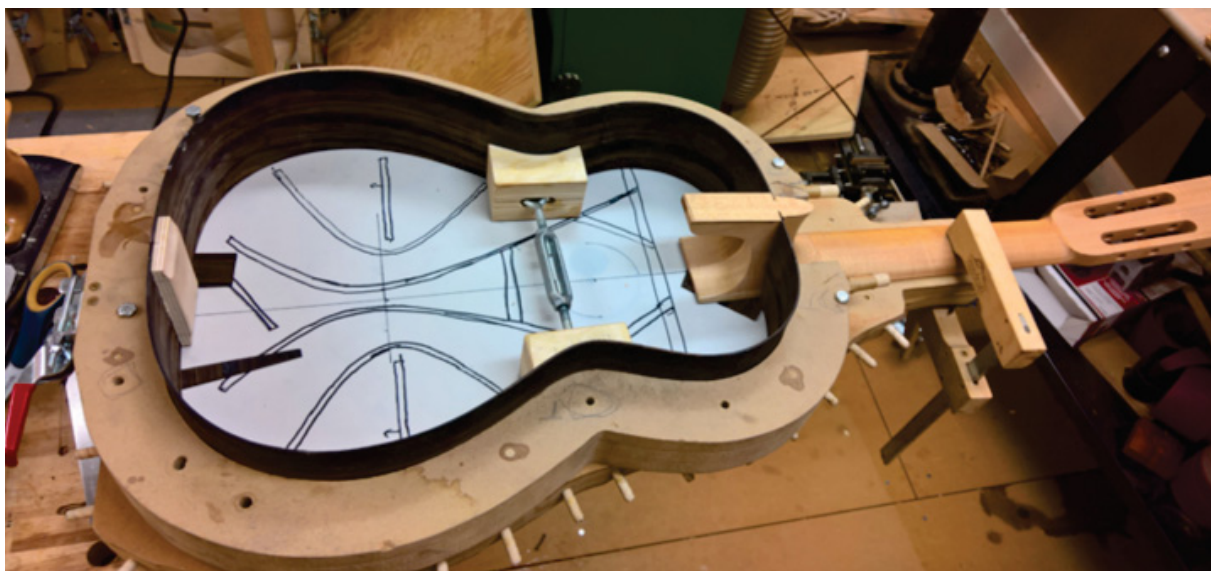


Método da fôrma externa, elaborada pelo autor

2.4.26.3 Fôrma externa (escola espanhola)

A fôrma externa ou método espanhol se difere da fôrma externa simples. Como exibe a Figura 36, esta possui uma abertura por onde o braço do instrumento será introduzido e fixado conjuntamente com as laterais e tacos, (SLOANE, 1989).

Figura 36 – Forma externa aberta para fixação do braço



(PARCHEM, 2011)

2.4.26.4 Sem a fôrma

Com o método de construção sem fôrma, apresentada na Figura 37, as laterais são coladas diretamente no tampo do instrumento em conjunto com o braço e o taco inferior, de acordo com CUMPIANO e Natelson (1994). Sem o apoio da fôrma para a fixação das laterais, este método se torna mais difícil e exige muita experiência do artífice.

Figura 37 – Método de construção “sem fôrma”



(OBERG, 2011) Editado pelo autor

Qualquer um dos métodos de construção citados acima, pode conferir alta qualidade estética e bom desempenho acústico. Variações a este respeito dependem apenas do conhecimento técnico e da habilidade do artesão.

2.4.27 A montagem do violão

Definido o tipo de método para a construção do violão, as peças deverão estar disponíveis para cada etapa do processo, é muito comum e aconselhável que todas já estejam finalizadas ou pré-finalizadas, mantidas em estoque simples²⁰, possuindo apenas margens pequenas de sobra em suas medidas para facilitar sua adaptação ao formato do modelo de instrumento escolhido. As partes de madeira que entrarão no processo de montagem do violão, deverão ser colocadas na câmara climática de acordo com suas espessuras e densidades. Desta forma, aceleramos o andamento da montagem do instrumento e o processo de aclimação das peças em câmara climática.

Em concordância com os métodos de construção consultados²¹ foram identificadas

²⁰ **Estoque simples**, local para estocagem das peças protegido de insetos xilófagos, com ventilação natural e temperatura ambiente.

²¹ **Métodos de construção consultados:** La Costruzione Della Chitarra Clássica. COPPIARDI, F. et al. (1980). Classic Guitar Construction. SLOANE, I. (1989). Guitarmaking, Tradition and Technology. CUMPIANO, Willian R; Natelson, Jonathan D. (1994).

até dez etapas para os métodos construtivos do violão, independentemente do tipo de fôrma utilizado. Estas etapas correspondem às partes que se juntam na montagem do violão. São **dez** etapas para fôrma iterna, sistema italiano e fôrma externa simples, e **nove** etapas para os sistemas de forma externa espanhola e sem fôrma. Esta diferença se deve a confecção do taco superior unido ao braço, obrigando-o a participar da montagem já na 1ª etapa, diferentemente de estar na 6ª etapa nos dois primeiros categorias de fôrma. As etapas na Tabela 12, foram organizadas conforme o sugerido nos métodos consultados, mas não significa que devam seguir esta ordem.

Tabela 12 – Etapas da confecção do violão

Tipo de forma	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4	Etapa 5	Etapa 6	Etapa 7	Etapa 8	Etapa 9	Etapa 10
Fôrma interna, sistema italiano	Laterais, tacos superior e inferior	Contrafaixas	Tampo e fundo	Fechar a caixa acústica	Filetes e frisos	Fixar o braço na caixa acústica	Colar a escala e finalizar o braço	Verniz e polimento	Colar o cavalete	Montagem e regulagem dos acessórios
Fôrma externa simples	Laterais, tacos superior e inferior	Contrafaixas	Tampo e fundo	Fechar a caixa acústica	Filetes e frisos	Fixar o braço na caixa acústica	Colar a escala e finalizar o braço	Verniz e polimento	Colar o cavalete	Montagem e regulagem dos acessórios
Tipo de forma	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4	Etapa 5	Etapa 6	Etapa 7	Etapa 8	Etapa 9	Etapa 10
Forma externa, sistema espanhol	Laterais, tacos superior e inferior	Contrafaixas	Tampo e fundo	Fechar a caixa acústica	Filetes e frisos	Colar a escala e finalizar o braço	Verniz e polimento	Colar o cavalete	Montagem e regulagem dos acessórios	
Sem forma	Laterais, tacos superior e inferior	Contrafaixas	Tampo e fundo	Fechar a caixa acústica	Filetes e frisos	Colar a escala e finalizar o braço	Verniz e polimento	Colar o cavalete	Montagem e regulagem dos acessórios	

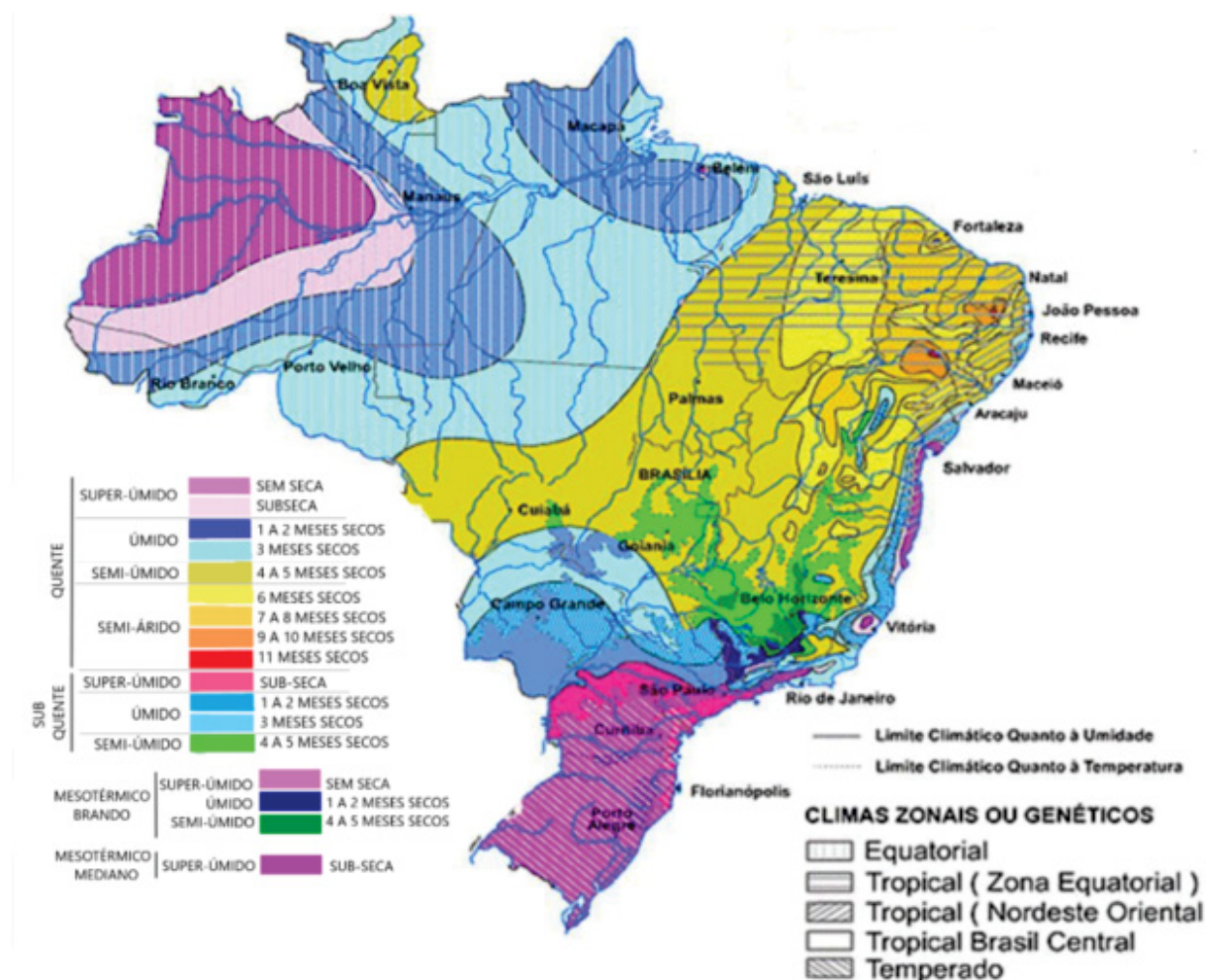
Elaborada pelo autor

2.4.28 A climatologia nas principais áreas de produção do violão no Brasil

A classificação climática procura identificar o maior número de fatores possíveis que possam caracterizar o clima de uma determinada área e/ou zona com características climáticas e biogeográficas relativamente homogêneas. Consideram-se inicialmente as zonas climáticas polares, temperadas, tropical, subtropical e equatorial (MEDEIROS; HOLANDA, 2019); (EXPOSTI, 2013).

Como mostra a Figura 38, as regiões **Sul e sudeste** estão majoritariamente cobertas com tons de rosa, azul e verde, apontando nestas áreas os climas sub quente/semi-úmido, tropical úmido, temperado úmido e super-úmido. As regiões sul e sudeste, correspondem as principais regiões de produção de instrumentos musicais no Brasil.

Figura 38 – Mapa do clima no Brasil



Anuário Estatístico do Brasil (IBGE, 1997), Adaptada pelo autor

De acordo com os dados climáticos apresentados pelo IBGE (1997), as regiões Sul e

sudeste corresponde às regiões **úmidas** e **super-úmidas** do Brasil. Como mostra a Figura 39, encontramos a maioria das fábricas de instrumentos musicais. Apesar de não existir dados publicados, posso afirmar que nestas regiões encontra-se também a maior parte da produção artesanal de instrumentos de cordas no Brasil.

Figura 39 – Algumas das principais fábricas de instrumentos musicais do Brasil e os respectivos estados onde operam



Elaborada pelo autor

Como podemos observar na Figura 38, o estado de Minas Gerais se difere entre os estados do sudeste, apresentando variações inferiores nos teores de umidade relativa.

De acordo com o que demonstra este capítulo, todo instrumento musical produzido dentro destas regiões estará sujeito a sofrer problemas estruturais após o envio para regiões e países com clima mais seco²².

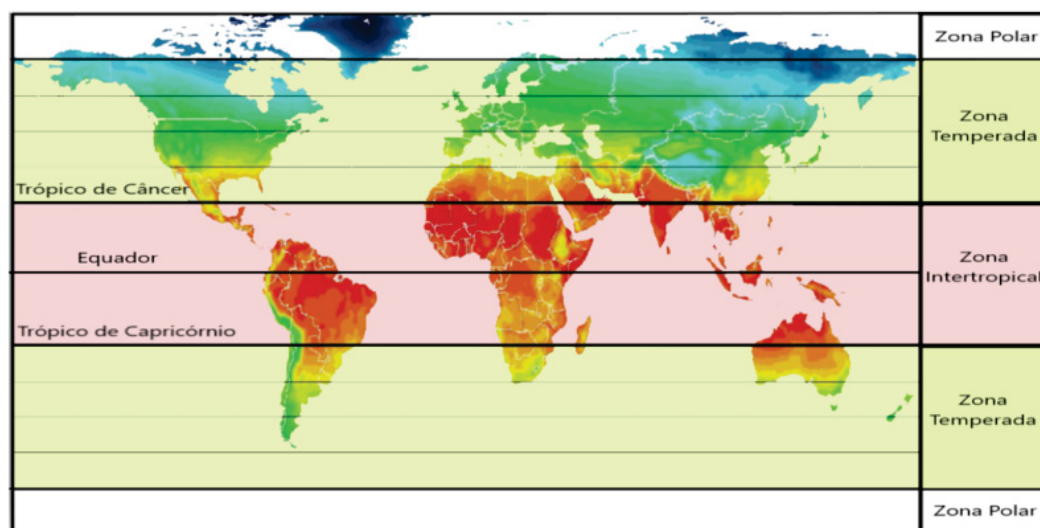
2.4.29 Zonas climáticas do planeta

A temperatura ambiente em qualquer lugar do planeta está relacionada com o total de energia solar recebida. Desta forma os pólos, que recebem, no todo, menos radiação solar e, em metade do ano, nenhuma, tornam-se muito mais frios do que as regiões próximas ao Equador, que recebem radiação solar direta todo o ano. As diferenças de temperatura

²² Como luthier no sul do Brasil, tive a experiência de ter alguns instrumentos de minha confecção, exportados para regiões secas ou frias dos Estados Unidos da América, Europa e Japão, ou até mesmo em regiões secas do Brasil, danificados com rachaduras e deformações em questão de poucos dias ou semanas e, como consequência, retornaram para serem reparados e até mesmo substituídos.

entre os pólos e a linha do Equador são denominadas zonas climáticas da terra e podem ser observadas na Figura 40. Estas zonas se definem como: Polar, Temperada, Tropical ou Intertropical (FREITAS, 2019); (IBGE, 2007).

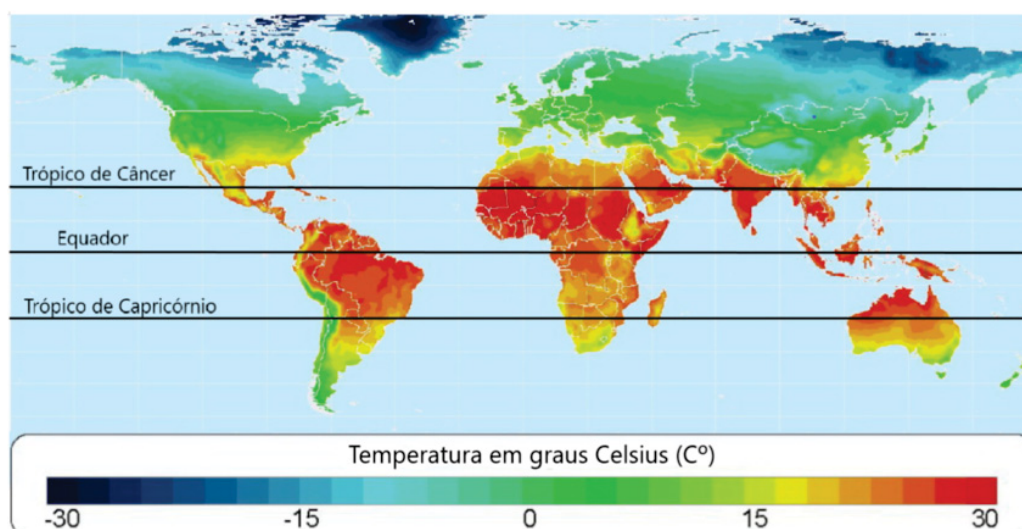
Figura 40 – Zonas climáticas da terra



(NELSON INSTITUTE, 1999b). Adaptada pelo autor

A temperatura média anual no planeta é apresentada na Figura 41, possibilita uma visão global de sua distribuição no sentido paralelo às linhas do equador e trópicos. Vê-se também como a temperatura diminui partindo da faixa do equador em direção aos polos e nas regiões mais altas.

Figura 41 – Temperatura média anual do planeta

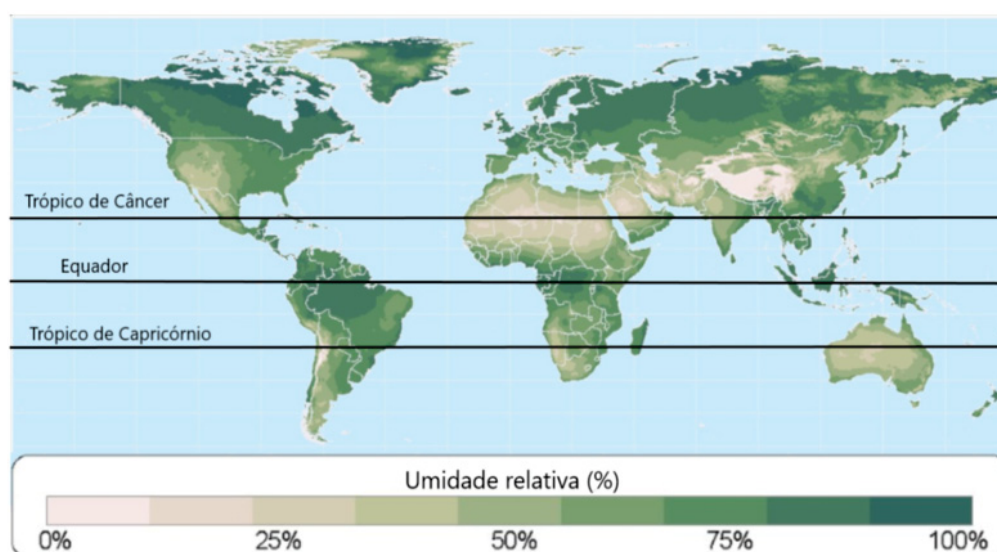


(NELSON INSTITUTE, 1999a). Adaptada pelo autor

No entanto, as médias anuais de temperatura na Figura 41, fornecem apenas um indício do clima e não podem ser utilizadas como referência, devido à grande abrangência da área que mostram, pois, toda a sazonalidade do clima²³ é removida. Desta forma, por exemplo, não se poderia saber que uma cidade como Curitiba atinge temperaturas superiores a 30 ° C no verão podendo ficar abaixo de 0 ° C no inverno.

De outra forma, quando se observa a média anual da umidade relativa do ar no planeta na Figura 42, vemos que tanto na zona climática tropical, quanto nas regiões de clima temperado ao norte do planeta, os percentuais médios de umidades são próximos.

Figura 42 – Média anual da umidade do planeta



(NELSON INSTITUTE, 1999a). Adaptada pelo autor

Este capítulo alerta para que as questões do clima não sejam vistas de forma tão simplificada. Para que se tenha informações seguras das condições climáticas da região para onde será enviado o instrumento, deve-se fazer um levantamento das médias climáticas históricas específicas desta região. Pois, mesmo entre áreas muito próximas, o clima pode variar fortemente devido às diferenças geográficas, altitude, etc.

2.4.30 Teores de umidades finais recomendados para produtos de madeira

Raramente vemos um instrumento de alto valor comercial ou histórico, ser utilizado em locais expostos ao ar livre, correndo o risco de sofrer danos com uma mudança rápida de clima. Mesmo grandes palcos com cobertura não oferecem proteção suficiente contra

²³ **Sazonalidade do clima:** É chamado de sazonalidade ambiental todas as transformações que acontecem no ambiente em decorrência das mudanças climáticas das estações do ano. Fonte: (Cultura mix, 2020).

mudanças do tempo. Nestes casos é comum que o músico possua um instrumento de qualidade inferior para isso servindo-se até de um simples instrumentos de fábrica.

Neste capítulo, serão utilizadas como referência as médias de teor de umidade finais, recomendadas para boa parte da Europa e os Estados Unidos da América. Os países que se encontram nas zonas de clima temperado possuem as condições ambientais necessárias para que se compreenda a diferença de umidade de equilíbrio entre os países de clima seco e o Brasil de clima tropical. Foram considerados os valores de umidade final para ambientes **internos**, devido ao emprego comum dos violões em salas de concerto, estúdios, igrejas, residências, etc.

O teor de umidade para as madeiras utilizadas na produção de um instrumento musical, deve ser igual ou muito próximo da umidade de equilíbrio indicada para ambientes internos das regiões para onde se destina o instrumento. Portanto, deve estar entre o valor mínimo e máximo recomendado. MARCHI (1983), apresenta na Tabela 13, reproduzida integralmente, as médias de umidade final para madeira em ambientes internos e externos, para as regiões com clima temperado na Europa.

Tabela 13 – Teores mínimos e máximos de umidade final recomendado para algumas regiões da Europa

Média italiana	Umidade final recomendada em (%)
Madeiras para ambientes internos	8 - 12
Madeiras para ambientes externos	13 - 18
Média francesa (clima parisiense)	Umidade final recomendada em (%)
Artefato de madeira para interior com aquecimento central a termossifão	8 - 10
Artefato de madeira para interior aquecido com estufa	10 - 12
Artefato com contato ao ambiente externo	12 - 15
Artefato para ambiente externo	15 - 18

Média italiana	Umidade final recomendada em (%)
Média escandinava (Clima da Suécia meridional)	Umidade final recomendada em (%)
Artefato de madeira para interior com aquecimento central a termossifão	5 - 7
Artefato de madeira para interior aquecido com estufa	9 - 12
Móveis embutidos para interior com aquecimento central a termossifão	6 - 8
Móveis embutidos para interior com aquecimento a estufa	10 - 13
Artefato para ambiente externo	12 - 15

MARCHI (1983)

Como mostra a Tabela 13, a variação de umidade entre os valores mínimos para interiores e máximos para exterior é de 10% nos três exemplos de médias citados. Esta diferença de teor de umidade (10%) pode ser prejudicial para os instrumentos musicais de natureza acústica, devido a pouca espessura das madeiras de suas caixas de ressonância. Estas, num curto espaço de tempo, perdem muito rapidamente a umidade e, nos casos mais extremos, podem sofrer danos como rachaduras e empenamentos nas madeiras. Conhecendo os valores de umidade final para os ambientes externos, podemos ver a diferença em % do quanto o instrumento poderá adsorver em atividades externas (ao ar livre).

Na Tabela 14, estão indicados os teores de umidades finais para alguns produtos de madeira, e para os instrumentos musicais, Ponce & Watai (1985 p. 4), e fazem a seguinte observação:

A umidade adequada de uma madeira a ser convertida em um móvel ou instrumento musical para exportação, deve ser a umidade de equilíbrio com as condições ambientais de uso. De nada adianta secar uma madeira até atingir a umidade correspondente a que terá em uso e, após a secagem, permitir novamente a absorção de água durante o processo de produção e armazenagem

Tabela 14 – Teores mínimos e máximos de umidade final para alguns produtos de madeira

Produtos	Umidade final recomendada em %
-----------------	---------------------------------------

Produtos	Umidade final recomendada em %
Madeira serrada comercial	16 - 20
Madeira para construção externa	12 - 18
Madeira para construção interna	8 - 11
Papéis (compensado, aglomerado, laminado etc.)	6 - 8
Piso e lambris	6 - 11
Móveis para interiores	6 - 10
Móveis para exteriores	12 - 16
Equipamentos esportivos	8 - 12
Brinquedos para interiores	6 - 10
Brinquedos para exteriores	10 - 15
Equipamentos elétricos	5 - 8
Embalagens (caixas)	12 - 16
Fôrmas para calçados	6 - 9
Coronhas de espingarda	7- 12
Instrumentos musicais	5 - 8
Implementos agrícolas	12 - 18
Barcos	12 - 16
Aviões	6 - 10

Ponce & Watai (1985)

Tabela 15 – Teores de umidade final (%) recomendados para diversas áreas nos Estados Unidos da América

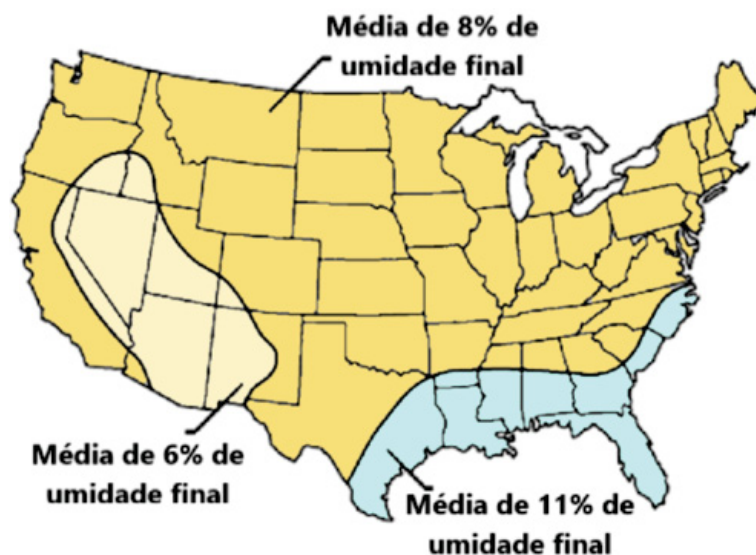
Maioria das áreas nos EUA	Áreas secas do sudeste	Áreas costeiras quentes e úmidas
--------------------------------------	-----------------------------------	---

	Maioria das áreas nos EUA	Áreas secas do sudeste	Áreas costeiras quentes e úmidas
Uso da madeira	Média / Variação	Média / Variação	Média / Variação
Interior: carpintaria, piso, móveis, acabamentos em madeira	8% / 6 - 10%	6% / 4 - 9%	11% / 8 - 13%
Exterior: revestimento, acabamentos com revestimento de madeira, madeiras laminadas	12% / 9 - 14%	9% / 7 - 12%	12% / 9 - 14%

Como mostra a Tabela 15, valores entre **4 e 13%** de umidade final são sugeridos por Bergman (2010) para artefatos de madeira de uso no interior de edificações aquecidas, em várias áreas dos Estados Unidos da América.

Relacionada com a Tabela 14, acima, a Figura 43, indica no mapa político dos EUA os teores de umidade final para a grande maioria de suas regiões.

Figura 43 – Teores de umidade de equilíbrio recomendados para diversas regiões dos EUA.



(BERGMAN, 2010). Adaptada adaptada pelo autor).

Considerando as médias climáticas levantadas neste estudo, e baseado nas sugestões para teores de UE para ambientes internos de Marchi (1983), Bergman (2010) e Ponce & Watai (1985), esta pesquisa adotou o valor médio entre 8 e 9% de (UE) como meta para o desempenho do protótipo da câmara climática. Considerou-se também que a sugestão de Ponce & Watai (1985), com teores de umidade final entre 5 a 8 % ou teores ainda menores

entre 4% e 6% Bergman (2010), indicados para regiões com condições climáticas muito extremas, onde o uso de aquecedores se dá por mais tempo durante o inverno, ou para regiões com clima desértico. Nestes casos, cabe ao luthier fazer uma pesquisa detalhada das condições climáticas da região para onde vai enviar o seu instrumento.

2.4.31 A umidade de equilíbrio no Brasil

Brasil é um país com dimensões continentais e possui uma grande variedade de climas, a estimativa de umidade de equilíbrio (UE) para a madeira no Brasil é muito ampla, mas para muitas cidades do Brasil, como mostra a Tabela 16, Galvão (1975), sugere os seguintes valores:

Tabela 16 – Estimativa de umidade de equilíbrio da madeira para algumas cidades do Brasil

Cidades	Umidade de equilíbrio mínima (%)	Umidade de equilíbrio máxima (%)	Média (%)
Belém	16,6	20,6	18,6
Belo Horizonte	11,3	16,2	13,7
Brasília	8,7	15,8	12,2
Curitiba	15,7	17,8	16,7
Fortaleza	13,8	16,6	15,2
Goiânia	9,5	16,8	13,2
Manaus	14,9	19,2	17,0

Cidades	Umidade de equilíbrio mínima (%)	Umidade de equilíbrio máxima (%)	Média (%)
Piracicaba	11,0	14,8	12,9
Porto Alegre	12,7	17,4	15,0
Recife (Olinda)	14,6	17,1	15,8
Rio de Janeiro	14,9	15,8	15,3
Salvador	15,3	16,7	16,0
São Paulo	14,2	17,0	15,6

(GALVÃO, 1975)

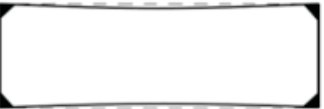
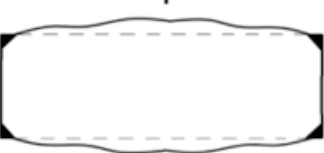
Os valores em negrito na tabela 16, correspondem aos mais indicados para o teor de umidade final para os instrumentos nestas regiões, e, em alguns casos ainda podem ser reduzidos conforme a proximidade do valor final máximo.

Vamos simular a condição de um violão cujo comprador se encontra na cidade de Paris, capital da França e, produzido na cidade de Curitiba no Paraná, região super-úmida do sul do Brasil, cuja umidade de equilíbrio média varia entre os anos de 2007 e 2018, em torno de (16,7%). Ao chegar em seu destino, o instrumento perderá no processo de desorção, a diferença de 8,5% de umidade, até atingir a umidade final mínima recomendada, de 8%, como demonstra a Tabela 13 (média francesa). Esta diferença poderia ocasionar sérios danos estruturais no instrumento. Este trabalho sugere ajustar previamente a umidade de equilíbrio em 8% ainda no Brasil.

2.4.32 Alterações físicas da caixa de ressonância devido à alteração da umidade relativa do ar

As madeiras que compõem a caixa de ressonância do violão necessitam de um percentual de umidade de equilíbrio tal que permita variações de dilatação e contração, dentro de proporções, que preservem o desempenho acústico do instrumento. Observa-se na Figura 44, o que ocorre com o tampo e o fundo de um violão quando submetido a diferentes teores de umidade relativa (UR) do ar.

Figura 44 – Representação gráfica do que ocorre com a superfície do tampo e do fundo do violão em diferentes níveis de umidade relativa do ar

1 	1- Tampo e fundo com formato normal. Teor de umidade relativa (UR) entre 45 e 55%. Considera-se aceitável entre 40 e 60%.
2 	2- Tampo e fundo contraídos. Teor de umidade relativa (UR) abaixo de 25%. Clima muito seco
3  4 	3 e 4 - Tampo e fundo expandidos. Teor de umidade relativa (UR) muito elevados, entre 75 e 100%. Clima muito úmido Em alguns casos, os tampos podem apresentar ondulações.

(KIRLIN, 2015); (SHNEIDER GUITARS, 2011; caso). Figura 4:4 e elaboração geral: o autor

Uma elevada hidratação da caixa de ressonância expande a madeira, afetando particularmente os tampos, ocasionando a perda de resistência mecânica, redução do volume e qualidade sonora, finalizando com descolamentos e empenamentos graves nas madeiras. Este fenômeno ocorre muitas vezes com instrumentos importados, produzidos em regiões de clima seco, que vêm para região de clima tropical ou subtropical, como é o caso de Curitiba no Paraná, com (UE) média estimada em 16,7%. A diferença entre 5% e 8% de UE para 16,7% de UE (sugerida para Curitiba) corresponde cerca de 100% de diferença de teor de umidade, que a madeira do instrumento deverá adsorver.

No caso inverso, a baixa taxa de umidade, provoca a contração da caixa de ressonância, enrijecendo os tampos, criando tensões que poderiam ocasionar alterações na acústica e em situações extremas, rachaduras.

Um exemplo muito conhecido de “choque climático”, de grandes proporções, foi o ocorrido com a Yamaha que, na década de 1960, enfrentou uma série de problemas com alguns dos primeiros pianos exportados para os Estados Unidos, e foi justificado por ela que a madeira de seus pianos não estaria suficientemente seca na fábrica para clima do país consumidor. A Yamaha fez grandes esforços para corrigir os problemas, muitas vezes

chegando a enviar engenheiros e pessoal da fábrica, para averiguar as causas e reparar os instrumentos, acabando por substituir milhares destes. Devido a este fato, em 1963, diferentes processos de controle climático durante a produção foram instituídos na fábrica. Atualmente os pianos Yamaha estão sendo produzidos no Japão para três categorias de clima de destino: **úmido, seco e super-seco**, sendo que para o destino EUA, se opta pela última categoria devido ao uso disseminado de sistemas de calefação central (BEAN, 1999).

2.4.33 Estado da arte

No presente trabalho, o Estado da Arte baseia-se no desenvolvimento de um novo produto tecnológico inovador, apenas coletando e organizando temas conhecidos nos meios acadêmicos, nas áreas do design, luteria e engenharia florestal. Trata-se de responder a uma necessidade crescente do comércio internacional de instrumentos musicais de madeira produzidos no Brasil.

O desenvolvimento da economia brasileira e a concorrência econômica internacional, promovem a melhoria dos produtos por meio da inovação tecnológica. Para grandes empresas ou para pequenos artesãos, adequar os produtos às exigências do mercado é uma obrigação onerosa, mas fundamental para quem procura alcançar novos mercados.

As inovações são necessárias e demandam de contínua investigação dos elementos que compõem os mercados de consumo.

Segundo Lindon, Lendrevie e Vicente (2000), a inovação corresponde a tudo o que difere do que já existe, mesmo que seja uma diferença mínima.

Uma inovação é qualquer coisa vista como sendo nova pelo eventual utilizador, a adoção do novo produto traduz-se por uma modificação significativa no comportamento do comprador. (Lindon, *et al.*, 2000 pg. 202).

2.4.34 A coleta do material na literatura

Pré-determinar a umidade de equilíbrio da madeira para outros climas no planeta, dentro da área da luteria de violões, pressupõe a existência de algum aparelho pronto e disponível no mercado, que atenda esta necessidade, considerando a grande quantidade de ateliers de luteria e pequenas indústrias de violões distribuídas pelo planeta. Para verificar se o mercado oferecia algum aparelho ou dispositivo que ajuste o teor de umidade final da madeira, o autor fez um levantamento dos equipamentos oferecidos pelas principais empresas fornecedoras de ferramentas, acessórios e insumos para instrumentos musicais

(nacionais e internacionais). Estas empresas encontram-se elencadas na tabela 17.

Tabela 17 – Empresas fornecedoras de ferramentas e insumos para a luteria

Nº	Nome da empresa	País de origem	Endereço web
1	DICTUM	Alemanha	https://www.dictum.com/en/
2	eCorde	Brasil	https://ecorde.com.br/
3	FRATERMUSIC	Brasil	https://fratermusic.com/store/ferramentas_luthier
4	KOSMON	Brasil	https://www.kosmon.com.br/
5	AliExpress	China	https://pt.aliexpress.com/luthier+tools
6	MADINTER	Espanha	https://www.madinter.com/en/
7	ALLPARTS	EUA	https://www.allparts.com/pages/about-us
8	Grizzly Industrial	EUA	https://www.grizzly.com/
9	Luthiers Mercantile International	EUA	https://www.lmii.com/
10	PHILADELPHIA LUTHIER TOOLS	EUA	https://www.philadelphialuthiertools.com/
11	StewMac	EUA	https://www.stewmac.com/luthier-tools-and-supplies/
12	Cremona tools	Itália	https://www.cremonatools.com/
13	HOSCO	Japão	https://www.hosco.co.jp/en/products/luthier-tools
14	Tone Tech Luthier Supplies	Reino Unido	https://tonetechluthiersupplies.co.uk/

Elaborada pelo autor

Continuando por meio dos canais de pesquisa na ‘internet’, utilizando os seguintes termos: “estufas de secagem de madeira”, “câmara climática”, “*drying chamber for wood*”, “*Small kiln for final drying*”. Encontrou-se apenas grandes estufas para a secagem de madeira, produtos para alta capacidade de carga, grandes dimensões e valor comercial muito alto. Algumas opções de estufa de secagem para madeira com dimensões menores foram encontradas entre as ofertas do “website” de vendas Alibaba.com, porém, ainda com proporções e custos impraticáveis para um atelier de luteria artesanal. No mercado nacional encontrei apenas a produção de estufas de secagem convencional, que trabalham com grandes volumes de madeira para mercado madeireiro. Verificou-se na relação de produtos

ofertados por estas empresas, que nenhuma delas oferece qualquer tipo de equipamento para o controle da umidade de equilíbrio das madeiras em um atelier de luteria.

Foi, portanto, após esta investigação que decidi aplicar o método do “Design Science” na criação de um artefato real, que possa servir às novas pretensões comerciais do Brasil.

Fundamentado no funcionamento das estufas de secagem da madeira, onde todas as condições quanto à secagem são facilmente controladas, como: temperatura, tempo, velocidade e circulação do ar, dei início a seleção da literatura técnica sobre o controle da umidade madeira e quais seriam os equipamentos necessários para a criação do protótipo de câmara climática apresentada neste trabalho.

O material literário foi classificado conforme a relevância nos seguintes assuntos:

- 1) Processos de secagem da madeira e o controle da umidade de equilíbrio;
- 2) A influência do clima nas alterações dimensionais das madeiras;
- 3) A estrutura celular da madeira, folhosas e (ou) coníferas;
- 4) A umidade de equilíbrio indicada em diversos países da Europa e (ou) nos Estados Unidos da América;
- 5) A distribuição do clima no Brasil e (ou) nos principais países consumidores da Europa e Estados Unidos da América;
- 6) Materiais e equipamentos para a confecção de uma estufa ou câmara climática;
- 7) A história do violão;
- 8) Comércio internacional de instrumentos musicais;
- 9) Luteria, técnicas construtivas

3 MÉTODO

Este capítulo percorre diversos aspectos para escolha do método ou estratégia.

Foi apresentado acima o objetivo desta pesquisa, de buscar uma forma simples, econômica e confiável de controlar a umidade de equilíbrio das madeiras empregadas na construção de um violão em um atelier de luteria artesanal e não se identificou na revisão bibliográfica algum processo que permita realizar tal controle.

Não há, portanto, o que explorar, descrever ou explicar para atingir tal objetivo, sem antes criar uma possível resposta. Mais especificamente trata-se do controle da umidade de equilíbrio das madeiras, com o desenvolvimento do equipamento mecânico capaz de viabilizar este processo.

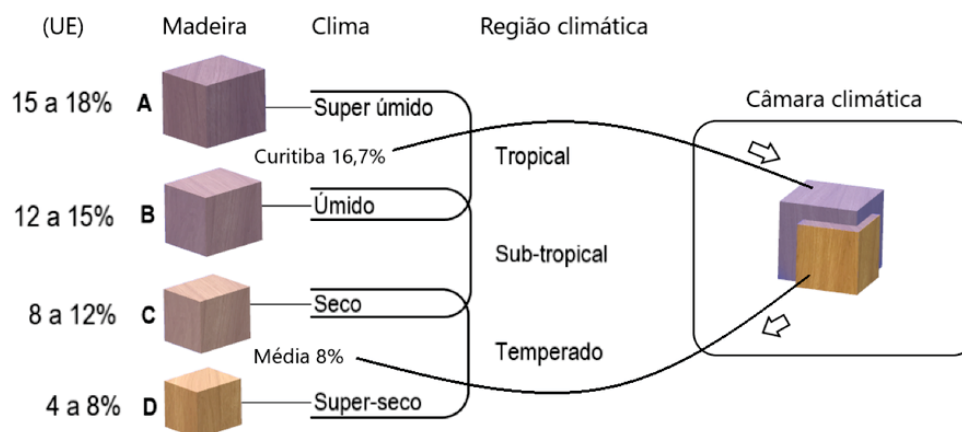
Estabelecido o artefato - o processo de construção do instrumento aclimatado e, com destaque, a câmara climática - pode-se proceder à verificação se o uso do processo efetivamente conduz a umidade de equilíbrio às faixas desejadas.

Tradicionalmente, a ciência tomava como objetivo explorar, descrever ou explicar aquilo que era preexistente - na natureza ou, mediante uma generalização de procedimentos das ciências mais duras, no mundo cultural. Em 1969, o economista Herbert Simon lançou a ideia da ciência do artificial, o Design Science Research - DSR -, e com isso viabilizou o status científico ao estudo do ainda inexistente e portanto, artificial, uma criação feita a partir do conhecimento e imaginação humanas de modo a viabilizar a solução sistemática de um problema na vida real. A DSR obteve êxito em áreas de conhecimento mais voltadas aos problemas práticos do que teóricos: Direito, Engenharia, Medicina, Educação, Design e Informática.

Para Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015), a DSR não é um simples método, porém, um paradigma epistemológico: uma maneira de encarar a ciência. Em termos práticos, ele resgata a dignidade científica de tarefas antes alijadas da categoria de “pesquisa” e tidas como de simples “desenvolvimento”.

Esta pesquisa associa as etapas de confecção do instrumento com a aclimação de suas madeiras. Para visualizar o processo a Figura 45, mostra porque é necessário equiparar o teor de umidade final das madeiras do violão com a média de UE do clima de destino.

Figura 45 – Resumo do processo de aclimação da madeira

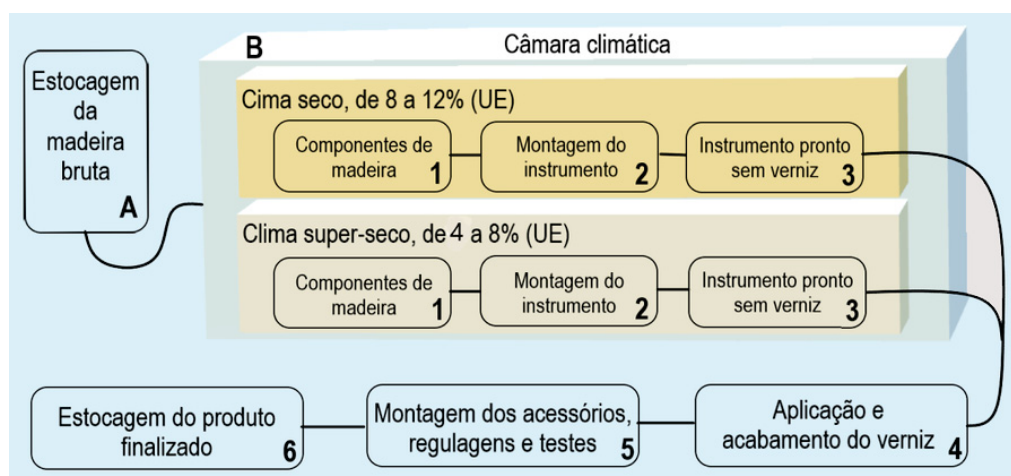


Elaborada pelo autor

Uma mesma peça de madeira, representada pelas letras (A, B, C e D) na Figura 45, pode variar de tamanho conforme o teor de umidade de equilíbrio (UE) em seu interior. O papel da câmara climática no processo de confecção do violão é o de submeter suas madeiras às condições de temperatura e umidade relativas (pré) determinadas, fazendo com que estas assumam antecipadamente, dimensões físicas compatíveis com as que seriam proporcionadas pelo clima da região para onde se destina o instrumento.

Para minimizar o impacto climático nos violões, esta pesquisa sugere o controle da umidade de equilíbrio (UE) em algumas etapas da produção do instrumento. A Figura 46 ilustra o processo.

Figura 46 – Etapas da climatização da madeira na produção do violão



Elaborada pelo autor

Na primeira etapa (A) da Figura 46, considera-se a estocagem inicial da madeira bruta em local apropriado para secagem natural. (B) corresponde à câmara climática onde o teor de umidade de equilíbrio da madeira que entrará na linha de produção será nivelado artificialmente ao teor de UE das regiões de clima seco ou clima super-seco. As etapas (1, 2 e 3) correspondem à contínua manutenção da umidade de equilíbrio pretendido para as peças que compõem o instrumento até o final de sua montagem, faltando apenas a aplicação do verniz. Para as etapas finais da produção temos a (4) para o processo de aplicação do verniz do instrumento e devidos acabamentos e a (5) para a montagem de seus acessórios (tarraxas, cavalete, rastilho, pestana etc.) e prova de tocabilidade. O ambiente (6) corresponde ao local onde os instrumentos terminados serão hermeticamente¹ embalados e estocados. Independentemente do volume de produção, se esta for de forma artesanal ou industrial, estas etapas estarão presentes desta forma.

3.1 Delimitação

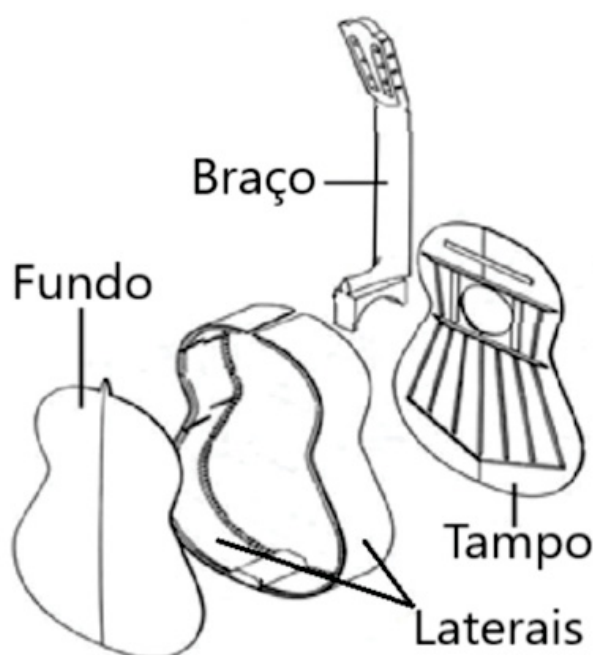
Este trabalho reconhece a importância do que observa BORLAND (2014), onde afirma que, para reduzir os problemas com o inchamento e a contração da madeira devido às alterações do clima, luthiers e indústrias do ramo de produção de instrumentos musicais de madeira estão utilizando tratamentos químicos de variados tipos para aumentar a estabilidade dimensional da madeira de modo a evitar ao máximo o oneroso processo de *recall* e reposição dos produtos nos processos de garantia. O emprego de substâncias químicas para a preservação da madeira na luteria é um tema muito vasto e rico, e com certeza deve ser explorado. Devido a grande variedade de temas possíveis de serem abordados, esta pesquisa se limita da seguinte forma:

- Esta pesquisa aborda de forma abrangente os assuntos que envolvem a luteria dos instrumentos de cordas dedilhadas e de arco, mas a se limita em trabalhar com os fenômenos climáticos que afetam os violões;
- Serão avaliadas as madeiras nacionais (e) ou estrangeiras empregadas tradicionalmente na luteria de violões, cortadas de forma radial (e) ou tangencial;
- O violão confeccionado para cordas de nylon foi o Instrumento musical selecionado para este trabalho;
- Esta pesquisa procura controlar a umidade final da madeira em câmara climática preservando o procedimento tradicional de confecção dos violões;

¹ **Hermético**; inteiramente tapado, de maneira a impedir a passagem de ar; selado ou lacrado. Fonte: Dicio (2020). Embalagens herméticas são muito utilizadas no comércio de instrumentos musicais importados, estes são colocados em sacos plásticos reforçados e bem fechados. Pequenos pacotes contendo sílica gel acompanham o instrumento para absorver resíduos de umidade no interior da embalagem.

- Considera-se nesta pesquisa apenas a diferença climática do local de produção (clima super-úmido), em relação aos climas de destino (seco e super-seco) não considerando a forma inversa;
- Não serão empregados ou sugeridas aplicações de produtos químicos preservadores da madeira;
- Não serão avaliadas as propriedades das colas, vernizes e seus efeitos sobre a dilatação ou contração da madeira;
- Este trabalho considera o reajuste da umidade de equilíbrio (UE) para madeiras com mais de 5 anos de corte;
- Dentre os diversos tipos de madeiras que podem ser distribuídas pelo corpo do violão, consideram-se nesta pesquisa apenas as que compõem o **fundo, tampo, braço e laterais** (duas), do instrumento, como mostra a Figura 47. Estas partes correspondem às principais áreas afetadas por diferenças climáticas;
- Esta pesquisa trata apenas do violão moderno, confeccionados com madeira maciça sem o emprego de compósitos;
- Os climas especificados como; **Seco e super-seco (semi-árido ou árido)**, segue o sistema de classificação dos autores (KÖPPEN, 1931) e (THORTHWAITE; MATHER, 1948).

Figura 47 – Partes do violão consideradas nesta pesquisa



Adaptada pelo autor

3.2 Unidade de análise

A unidade de análise é o processo de construção de violões com aclimação da madeira de maior para menor teor de umidade de equilíbrio, viabilizando a exportação.

3.2.1 A escolha do método Design Science Research

(SANTOS, 2018) apresenta que a adoção do Design Science Research enquanto método é adequada em um projeto de pesquisa quando há a criação de um artefato para a promoção de melhorias no mundo real presente ou futuro, aplicado em contexto de cooperação ou não com os atores envolvidos, sendo a efetividade do artefato em alcançar tais melhorias o foco do estudo.

Trata-se, segundo mesmo autor, menos do estudo dos problemas que do estudo de soluções.

No presente caso, menos identificar, caracterizar, mensurar a falha ocorrida num dado violão (que caracterizaria o objetivo exploratório, a que se aplica estudo de caso), ou procurar saber qual a frequência com que este processo acontece (que caracterizaria o objetivo descritivo, a que se aplica survey). Não se aplicaria o objetivo de extrair índices entre causa e efeito com que a diminuição súbita da umidade ambiente afetaria estruturalmente os violões, o que poderia ser realizado por experimento físico com amostras, ou numérico, com modelos matemáticos discretos no estudo de tensões e deformações.

Efetivamente, é buscada a forma de, antes que o problema apareça, controlar a umidade de equilíbrio com as características já elencadas de:

- simplicidade: Com a criação de um processo único e rápido de controle da umidade de equilíbrio para pequenas quantidades de madeira.

- economicidade: Tanto para o custo da confecção da câmara climática, quanto para o seu consumo energético.

- confiabilidade: A câmara climática deve se mostrar eficiente no controle de umidade de equilíbrio da madeira e possuir grande durabilidade.

3.2.2 Operacionalização do método

Para a operacionalização da pesquisa em DSR, Santos (2018) apresenta etapas como a seguir:

1ª. Compreensão do problema

2ª. Geração de alternativas

3ª. Desenvolvimento do artefato

4ª. Avaliação, e a partir desta: retornar à primeira etapa

5ª. Concluir

Estas etapas serão a seguir comentadas em sua aplicação no presente projeto.

3.2.3 Compreensão do problema

Cabe aqui especial análise da etapa de compreensão do Problema, para que Santos (2018) enfatiza, a partir de outros autores a necessidade de generalização do conhecimento para uma classe de problemas.

Ocorre que, sem a possibilidade de generalização, o conhecimento se reduz aos arranjos técnicos tomados corriqueiramente nas disciplinas práticas como Engenharia ou Informática, ou aqui, especificamente, a Luteria. Podemos imaginar um luthier radicado em Curitiba, encarregado da tarefa de construção de um violão para cliente no Norte do Texas, a região central dos EUA, e recomendando-lhe manter o violão umidificado com tubos dispensadores de vapor de água ou “Damp it”. Seria uma solução pontual e pouco generalizável pois, supõe, durante toda a vida do instrumento, a disciplina de mantê-lo umidificado.

A decisão importante foi, com o apoio da Ciência Florestal e da sua especialidade de secagem da madeira, de proceder de modo paramétrico.

As características de simplicidade, economicidade e confiabilidade puderam ser melhor definidas:

- custo total de R\$ 3.911,00
- tempo de resposta para a secagem de, 4 horas para as madeiras do tampo, fundo e laterais e até 42 horas para a madeira do braço
- acionamento por fonte de energia elétrica, 110V. Consumo médio de 850 Watts por hora
- tamanho máximo da câmara climática (2,2 m³)
- capacidade para condicionar a madeira para confeccionar 6 instrumentos

3.2.4 Geração de alternativas e o desenvolvimento do artefato

Na etapa de geração de alternativas, acontece um processo criativo em que o pesquisador, recorre a sua experiência prática, ao seu conhecimento teórico e também faz prospecção de informações na Literatura ou apelando para especialistas de sua confiança. Ademais, faz inferências menos claras por alguma semelhança com o que já viveu, e ainda arbitra os parâmetros sobre os quais não encontra nenhuma orientação.

Conforme mostram os processos de secagem artificial da madeira, não existe outra forma de controlar o teor de umidade final da madeira, que não seja por meio de um dispositivo específico para tal fim. Como opção semelhante às estufas de secagem, encontrou-se a “câmara climática”, utilizada por indústrias alimentícias, farmacêuticas ou qualquer empresa que precise no final do seu processo de fabricação testar a qualidade dos seus produtos. Existem modelos de câmaras climáticas para diversas finalidades e podem simular várias situações de intemperismo como: o envelhecimento térmico por emissão de (UV) ultra violeta solar ou o espectro total da luz solar, incluindo UV, visível e infravermelho. Alguns modelos fazem combinações de temperatura umidade, podendo variar de -70 °C até 180 °C (SCITEC, 2019).

Após o desenvolvimento da versão final do protótipo de câmara climática proposta nesta pesquisa, esta, foi testada em modo real com diversas amostras de madeiras empregadas na luteria de violões, se mostrando perfeitamente eficiente no processo de climatização da madeira.

O artefato gerado nesta pesquisa corresponde a criação de uma *câmara climática*, que atende especificamente as necessidades de um artesão luthier, juntamente com o

desenvolvimento de um *método* que define o teor de umidade final das madeiras no processo de produção do violão. Os resultados obtidos com os experimentos nesta pesquisa, trouxeram dados específicos sobre a secagem das madeiras da luteria em suas dimensões habituais de manuseio, cujo tempo de secagem e temperaturas empregadas são bastante reduzidas, se comparadas com aquelas utilizadas na secagem industrial da madeira.

Este trabalho encontra-se fundamentado no *design science research (DSR)*, pois responde ao exposto por Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015) p. 138. A tabela 18, apresenta o que são considerados os parâmetros que asseguram o rigor da pesquisa utilizando o DSR e os resultados obtidos nesta pesquisa.

Tabela 18 – Parâmetros para a pesquisa por meio do *design science research* em conformidade com os resultados deste trabalho

Parâmetros	Resultados da pesquisa
Problema da pesquisa	- Responde a demanda pela produção de produtos musicais artesanais com qualidade superior para o mercado nacional e para a exportação. - Reduziu as lacunas entre a teoria e a prática. - O problema da pesquisa contribuiu para o avanço da pesquisa na área da luteria, design e engenharia florestal.
Produtos da pesquisa	- Criou-se um artefato. - Desenvolveu-se uma solução satisfatória para um problema real. - As soluções estão apresentadas na forma de uma prescrição.
Avaliação do artefato	- O artefato foi avaliado por meio de técnicas laboratoriais utilizando ferramentas adequadas. - A utilidade (eficiência) do artefato foi confirmada através dos resultados apresentados pelas amostras.
Generalização das soluções	- As soluções apresentadas nesta pesquisa, são generalizáveis para uma série de problemas que envolvem as oscilações dimensionais das madeiras que constituem um instrumento musical com caixa de ressonância. - As heurísticas de construção e contingenciais referentes ao artefato produzido, são generalizáveis para uma classe de problemas, devido baixa complexidade do projeto, fácil operacionalidade e vasta empregabilidade.
Rigor na condução do método DSR	- Todas as etapas do método foram percorridas. - Todas as atividades previstas e realizadas estão documentadas nesta pesquisa.

Elaborada pelo autor

3.3 Coleta de dados

Dentre as técnicas de coleta de dados, este trabalho utilizou-se do levantamento bibliográfico e a observação dos fenômenos causadores das alterações dimensionais nas madeiras. A coleta de dados ocorreu por meio da compilação de informações referentes ao comportamento da madeira em diferentes condições climáticas, teores de umidade e

temperatura. Os dados coletados são expressos em caracteres numéricos referentes às variações dimensionais da madeira (em milímetros), alteração de massa (peso), percentuais de umidade (%) e o tempo (horas) correspondente às alterações físicas das amostras.

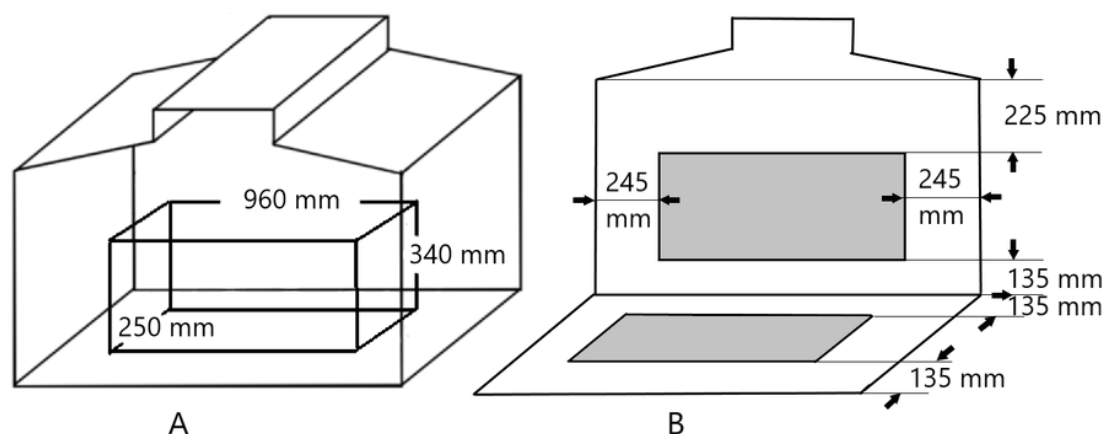
Assim como as estufas de secagem convencional da madeira, o protótipo de câmara climática (CC) proposta nesta pesquisa utiliza o deslocamento do ar aquecido para capturar e transportar a umidade da madeira em um ambiente com temperatura e o teor de umidade relativa controlada. Portanto, após a definição do espaço de trabalho no interior da câmara climática, serão avaliados os seguintes itens (velocidade do ar, temperatura e teor de umidade).

Tanto a determinação do **espaço de trabalho**, como as **medições de temperatura** seguiram as orientações fornecidas pelo (INMETRO, 2013) no documento de caráter orientativo DOQ-CGCRE-028. Este documento tem por objetivo, orientar laboratórios acreditados e postulantes à acreditação nos procedimentos de calibração de câmaras térmicas sem carga (vazias). As avaliações da **velocidade do ar** e o teor de **umidade relativa do ar**, seguiram as orientações dos seguintes documentos: Manual Secagem da Madeira (PONCE; WATAI, 1985) Secagem da Madeira (TOMASELLI; KLITZKE, 2000) e Secagem Racional da Madeira (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

3.3.1 O espaço de trabalho no interior da câmara climática

O **espaço de trabalho** corresponde ao local no interior da CC que será ocupado pelas madeiras, cujo teor de umidade final será redefinido. A Figura 48, mostra as medidas do espaço de trabalho.

Figura 48 – Dimensões do espaço de trabalho no interior da câmara climática, vistas (A) e (B)



Elaborada pelo autor

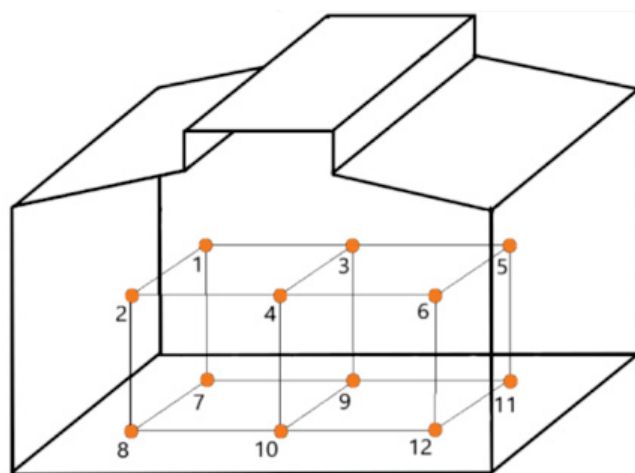
O espaço de trabalho definido para o interior da câmara climática, representado pela vista (A) na Figura 48, possui as seguintes dimensões (em milímetros): 340 mm de altura x 960 mm de largura x 250 mm de profundidade, correspondendo a um volume 0,0816 m³. Neste espaço foram feitas as medições internas da **velocidade do ar** e **temperatura**. O centro do espaço de trabalho corresponde ao centro da área interna da câmara climática. O espaço de trabalho foi definido conforme a disposição ocupada pelo volume de material utilizado na confecção de 6 violões, e o espaço necessário para a circulação do ar entre as paredes internas e a movimentação do material a ser desidratado nos processos de confecção do instrumento.

Ainda na Figura 48, ponto de vista (B), temos as medidas do distanciamento das faces do espaço de trabalho e as paredes internas da CC (em milímetros).

3.3.2 A velocidade do ar no interior da câmara climática

Para as avaliações da velocidade do ar, foram determinados 12 pontos de medição conforme mostra a Figura 49.

Figura 49 – Posição dos pontos de medição da velocidade do ar nas extremidades da área de trabalho no interior da câmara climática



Elaborada pelo autor

A Tabela 19, a seguir, identifica e indica as posições onde foram feitas as medições da velocidade do ar.

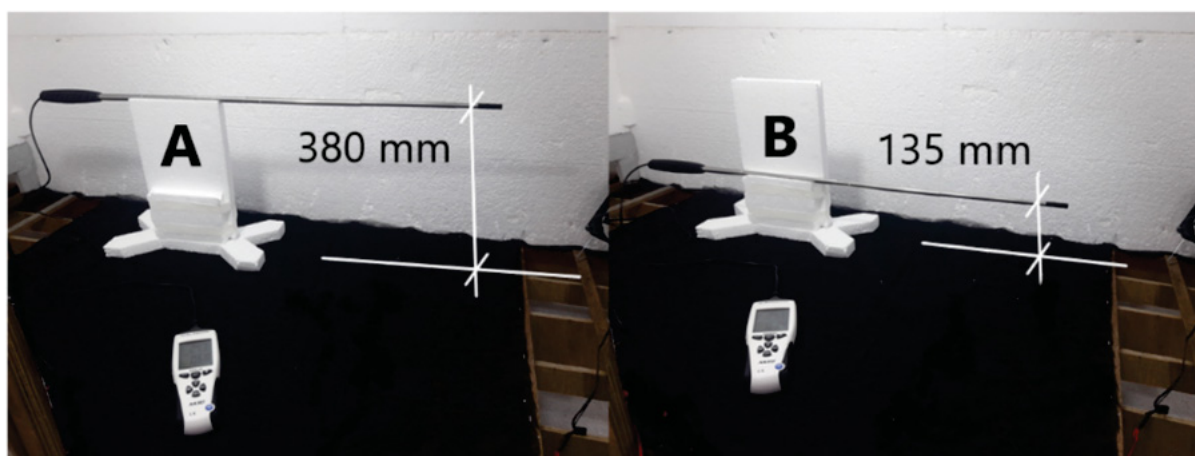
Tabela 19 – Identificação dos pontos de medição no interior da câmara climática

Ponto Nº	Localização		
	Plano	Posição	Identificação
1	Traseiro (Pt)	Superior esquerdo (Se)	Pt-Se
3	Traseiro (Pt)	Superior central (Sc)	Pt-Sc
5	Traseiro (Pt)	Superior direito (Sd)	Pt-Sd
7	Traseiro (Pt)	Inferior esquerdo (Ie)	Pt-Ie
9	Traseiro (Pt)	Inferior central (Ic)	Pt-Ic
11	Traseiro (Pt)	Inferior direito (Id)	Pt-Id
2	Frontal (Pf)	Superior esquerdo (Se)	Pf-Se
4	Frontal (Pf)	Superior central (Sc)	Pf-Sc
6	Frontal (Pf)	Superior direito (Sd)	Pf-Sd
8	Frontal (Pf)	Inferior esquerdo (Ie)	Pf-Ie
10	Frontal (Pf)	Inferior central (Ic)	Pf-Ic
12	Frontal (Pf)	Inferior direito (Id)	Pf-Id

Elaborada pelo autor

Nesta avaliação, foram feitas 30 medições por ponto, sendo uma por minuto após a estabilização da circulação do ar previamente aquecido a 37°C. As avaliações foram feitas com a câmara totalmente vazia, mantendo em seu interior o leitor do anemômetro, distante do ponto avaliado. Para isto, como mostra a Figura 50, foi confeccionada uma estrutura de poliestireno que posicionou o bastão retrátil do anemômetro, nas alturas correspondentes aos pontos mais altos (A) e os mais baixos (B) da área de trabalho.

Figura 50 – Estrutura para a fixação do anemômetro



Elaborada pelo autor

Houve uma única alteração nas dimensões da área de trabalho para a avaliação da circulação do ar, onde foi reduzida a altura total de 475 mm (135 mm + 340 mm), para 380 mm (135 mm + 245 mm). Esta alteração corresponde a medida média da largura inferior da

caixa de ressonância de um violão para cordas de nylon, posicionado deitado sobre suas laterais. Optou-se por esta medida, para acompanhar o fluxo de ar nas áreas próximas ao corpo do instrumento.

3.3.3 Temperatura e umidade no interior da câmara climática

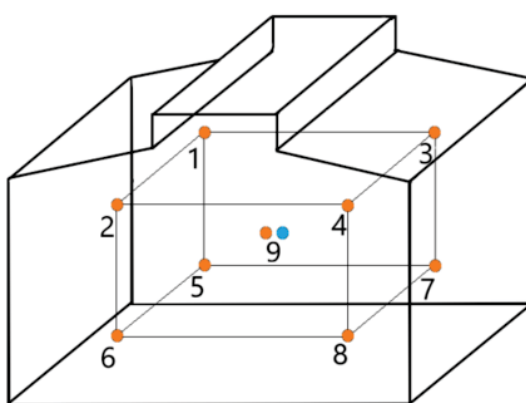
Optou-se por trabalhar na faixa de temperaturas entre 34 °C como mínima e a máxima de 40 °C $\pm$ 2 °C, para a secagem das amostras. Esta faixa de temperatura foi considerada segura para a montagem do instrumento, devido aos seguintes fatores:

- Faixa de temperatura ainda baixa em relação às empregadas na secagem convencional da madeira;

- O limite da temperatura em 40 °C $\pm$ 2 °C, ainda está muito próximo da temperatura ambiente o que não coloca em risco a estabilidade da maioria das colas tradicionais e modernas usadas na luteria.

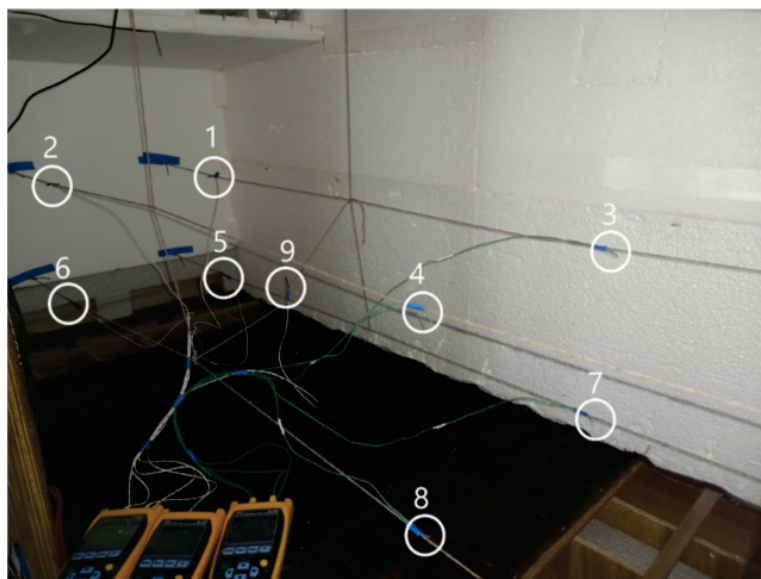
Conforme o documento de caráter orientativo DOQ-CGCRE-028, para espaços de trabalho com volume inferior a 2m², são indicados no mínimo 9 pontos para a medição de temperatura, estando um em cada vértice e outro ao centro do espaço de trabalho. Em cada ponto foi fixado um sensor de temperatura (Termopar do tipo K). A Figura 51, identifica a localização dos sensores no interior do espaço de trabalho.

Figura 51 – Localização dos pontos para a medição de temperatura no interior da câmara climática



Elaborada pelo autor

A Figura 52 mostra o posicionamento dos sensores (termopares) no interior da câmara climática, fixados em uma armação de fios que percorriam os limites estabelecidos para a área de trabalho.

Figura 52 – Estrutura para a fixação dos termopares na área de trabalho

Elaborada pelo autor

Figura 53 – Fiação dos termômetros digitais acessando a câmara climática pela abertura de acesso rápido

Elaborada pelo autor

Para as medições de umidade, utilizou-se o termohigrometro digital fixado no exterior da câmara climática (item 9 da Figura 94), cujo sensor foi instalado no centro do espaço de trabalho. Foi também utilizado o umidostato (item 7 da Figura 94), fixado externamente junto ao termohigrometro, para acompanhar as medições de umidade, seu sensor foi instalado entre os pontos 1 e 2 da Figura 52.

Definida a velocidade e o teor de umidade relativa do ar, no processo de secagem

das madeiras, devidamente bem acomodadas no interior da câmara climática, se torna apenas uma questão de tempo para que o teor de umidade de equilíbrio desejado seja alcançado. A Tabela 20, mostra os teores de umidade de equilíbrio (UE) resultantes entre a associação de uma determinada temperatura ($^{\circ}\text{C}$) com um valor percentual da umidade relativas dentro da câmara climática.

Tabela 20 – Tabela psicrométrica

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Umidade relativa do ar (%)																		
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
-1,1	1,4	2,6	3,7	4,6	5,5	6,3	7,1	7,9	8,7	9,5	10,4	11,3	12,4	13,5	14,9	16,5	18,5	21,0	24,3
10	1,4	2,6	3,6	4,6	5,5	6,3	7,1	7,9	8,7	9,5	10,3	11,2	12,3	13,4	14,8	16,4	18,4	20,9	24,3
21,1	1,3	2,5	3,5	4,5	5,4	6,2	6,9	7,7	8,5	9,2	10,1	11,0	12,0	13,1	14,4	16,0	17,9	20,5	23,9
32,2	1,2	2,3	3,4	4,3	5,1	5,9	6,7	7,4	8,1	8,9	9,7	10,5	11,5	12,6	13,9	15,4	17,3	19,8	23,3
43,3	1,1	2,2	3,2	4,0	4,9	5,6	6,3	7,0	7,7	8,4	9,2	10,0	11,0	12,0	13,2	14,7	16,6	19,1	22,4
54,4	1,0	2,0	2,9	3,7	4,5	5,2	5,9	6,6	7,2	7,9	8,7	9,4	10,3	11,3	12,5	14,0	15,8	18,2	21,5
65,6	0,9	1,8	3,6	3,4	4,1	4,8	5,5	6,1	6,7	7,4	8,1	8,8	9,7	10,6	11,8	13,1	14,9	17,2	20,4
Umidade de equilíbrio da madeira (UE)																			

(HAWKINS, 1978)

3.3.4 Seleção das madeiras e a preparação das amostras

As amostras foram confeccionadas a partir de madeiras estocadas pelo autor, cortadas e adquiridas a mais de 15 anos. Foram selecionadas cinco espécies, apresentadas na Tabela 21.

Tabela 21 – Identificação das madeiras utilizadas para a confecção das amostras

Item	Nome científico	Nome popular	Emprego comum na luteria
1	<i>Dalbergia nigra</i>	Jacarandá-da-bahia	Fundo, laterais, cavalete e elementos decorativos
2	<i>Acer pseudoplatanus</i>	Maple europeu	Fundo, laterais, braço e elementos decorativos

Item	Nome científico	Nome popular	Emprego comum na luteria
3	<i>Picea abies</i>	Pinho alemão	Tampo frontal e elementos estruturais no interior da caixa de ressonância
4	<i>Ocotea porosa</i>	Imbuia	Fundo, laterais e elementos decorativos
5	<i>Cedrela spp.</i>	Cedro	Braço e elementos estruturais no interior da caixa de ressonância

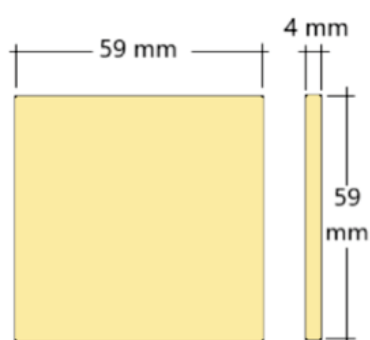
Elaborada pelo autor

Como exibe Tabela 21, dentre as amostras temos como madeiras importadas os itens 2 e 3, e madeiras nacionais os itens 1, 4 e 5.

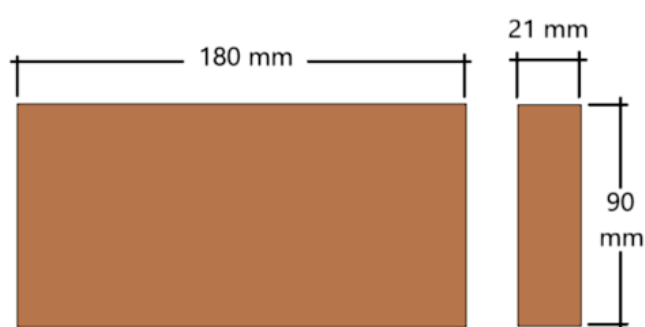
As amostras foram confeccionadas com as medidas de espessura próximas das medidas finais, a Figura 54, exibe o conjunto de medidas adotadas:

Figura 54 – Dimensões de comprimento, espessura e largura utilizadas para a confecção das amostras

Para: Fundo, tampo e laterais:



Para o braço:



Elaborada pelo autor

Para o experimento foram escolhidas 3 amostras de cada uma das espécies de (maple, jacarandá, imbuia, pinho e cedro), todas com corte no sentido radial, com o sentido das fibra bem definidas e sem defeitos como nós, desvios de fibra ou bolças de resina, etc. As amostras foram retiradas de madeiras provenientes de diferentes fontes.

3.3.5 O condicionamento das amostras para o teste de secagem

Após a confecção das amostras, foi necessário ajustar o teor de umidade de equilíbrio (UE) estabilizado próximo dos 16,7% (UE médio de Curitiba) para o experimento

de secagem. Para elevar o teor de umidade das amostras, como exhibe a Figura 55, foi confeccionada uma pequena câmara úmida utilizando-se de uma embalagem de plástico com fechamento hermético (2). Ao fundo desta embalagem, foram coladas algumas tiras de isopor com 20 milímetros de espessura, onde se fixaram suportes de metal para conter as amostras (3 e 4). Sob a tampa foi fixado um *cooler* (2 e 5) para a circulação do ar entre as amostras. Foi adicionada uma porção de água no interior da câmara até a altura de 10 mm, para que não atingisse as amostras. Em sua tampa foi inserido um termômetro digital para medir a temperatura interna da câmara úmida (6).

Figura 55 – Conjunto das amostras e os elementos que compões a câmara úmida

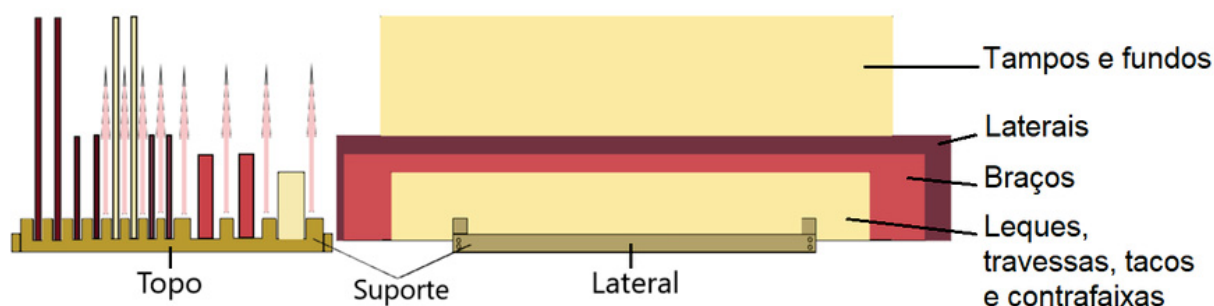


Elaborada pelo autor

3.3.6 Orientação das amostras no interior da câmara climática durante a prova de secagem

Este modelo de câmara climática seca a madeira com o deslocamento ascendente do ar, desta forma, as madeiras devem ficar sobre um suporte (preferencialmente de material não higroscópico), dispostas como apresenta a Figura 56, espaçadas em torno de 2 cm umas das outras, facilitando a passagem do ar quente por entre elas.

Figura 56 – Sugestão de suporte para a secagem da madeira no interior da câmara climática, visão de topo e lateral



Elaborada pelo autor

Como exibe a Figura 57, confeccionou-se um suporte semelhante para o processo de secagem das amostras. Este suporte manteve o mínimo de contato com as amostras, permitindo o máximo de exposição ao ar.

Figura 57 – Suporte para as avaliações de secagem da câmara climática



Elaborada pelo autor

As amostras de cedro foram colocadas diretamente sobre a tela do estrado, apoiadas na face lateral de 21 mm de espessura.

3.3.7 A regulagem do umidostato para as avaliações de temperatura

O termostato e o umidostato adaptados à câmara climática, foram regulados da seguinte forma:

Termostato - mínimo de 35°C e a máximo de 39°C, (temperatura média, **37°C**).

Umidade - mínimo de 33% e máximo de 38% UR, (umidade relativa média, **35,5%**).

Decidiu-se por estes valores (médias de temperatura °C e umidade relativa UR%), pois, conforme mostra a Tabela 22, atinge-se o teor de umidade de equilíbrio (UE) próximo de 7%.

Tabela 22 – Tabela psicrométrica

Temperatura (°C)	35,5% Umidade relativa do ar (%)																		
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
-1,1	1,4	2,6	3,7	4,6	5,5	6,3	7,1	7,9	8,7	9,5	10,4	11,3	12,4	13,5	14,9	16,5	18,5	21,0	24,3
10	1,4	2,6	3,6	4,6	5,5	6,3	7,1	7,9	8,7	9,5	10,3	11,2	12,3	13,4	14,8	16,4	18,4	20,9	24,3
21,1	1,3	2,5	3,5	4,5	5,4	6,2	6,9	7,7	8,5	9,2	10,1	11,0	12,0	13,1	14,4	16,0	17,9	20,5	23,9
37°C	32,2	1,2	2,3	3,4	4,3	5,1	5,9	6,7	7,4	8,1	8,9	9,7	10,5	11,5	12,6	13,9	15,4	17,3	19,8
	43,3	1,1	2,2	3,2	4,0	4,9	5,6	6,3	7,0	7,7	8,4	9,2	10,0	11,0	12,0	13,2	14,7	16,6	19,1
	54,4	1,0	2,0	2,9	3,7	4,5	5,2	5,9	6,6	7,2	7,9	8,7	9,4	10,3	11,3	12,5	14,0	15,8	18,2
	65,6	0,9	1,8	2,6	3,4	4,1	4,8	5,5	6,1	6,7	7,4	8,1	8,8	9,7	10,6	11,8	13,1	14,9	17,2
Umidade de equilíbrio da madeira (UE)																			

(HAWKINS, 1978) Adaptada pelo autor

A variação entre o valor mínimo e máximo para a temperatura ficou em 4°C, e de 5% para o teor de umidade. Foram estabelecidas desta forma, com o intuito de proteger o equipamento. Este diferencial, conhecido como “histerese”, corresponde ao atraso no acionamento ou desacionamento dos equipamentos que controlam tanto a temperatura, quanto o teor de umidade desejados. Esta regulação está diretamente associada à qualidade do isolamento térmico empregado, e do nível de hermeticidade que a câmara climática possui. Como o termostato e o umidostato são acionados por relés², perdas muito rápidas de temperatura e umidade, poderiam ligar o compressor do desumidificador com muita frequência, diminuindo a vida útil destes equipamentos.

Para as 3 medições de temperatura, aguardaram-se em média 20 minutos para a câmara climática atingir estabilidade térmica. Foram efetuadas 30 medições, uma por minuto em cada ponto estabelecido, totalizando 270 medições. Durante este período verificou-se que a umidade relativa mantinha-se dentro da média pré-estabelecida.

² **Relé:** Componente eletromecânico, que consegue acionar um interruptor a partir de um sinal. Isso contando que o interruptor e o sinal de comando são completamente isolados entre si. O interruptor está dentro do relé e geralmente possui uma alta capacidade de tensão e corrente, mesmo em relés pequenos (ATHOS, 2021).

3.3.8 A secagem das amostras em câmara climática

O protótipo de câmara climática foi ajustada para um teor de umidade final em torno de **7%**, como margem de segurança, devido a incerteza quanto o funcionamento dos equipamentos nesta operação. O objetivo é atingir um teor de umidade de equilíbrio (UE) máximo de até **9%**. Para isso a câmara climática foi programada para manter a temperatura média em 37,5°C (35°C mínima e máxima em 40°C) e umidade relativa do ar (UR) média de 35,5%, (33% mínima e máxima de 38%).

A secagem das amostras foi dividida em duas partes, iniciou-se por àquelas que correspondiam ao fundo, tampo e laterais do violão que totalizavam 12, e por último as 3 que correspondiam ao braço do violão.

As 12 amostras de madeiras eram compostas por 3 exemplares de cada espécie: maple (*acer pseudoplatanus*), jacarandá (*dalbergia nigra*), imbuia (*ocotea porosa*) e pinho (*picea abies*). Foram mantidas na câmara úmida que permaneceu em local com temperatura média de 22°C. Após 3 dias nestas condições as amostras apresentaram (UE) entre 18 e 20%, dando condições para a execução do experimento.

Após a CC atingir estabilidade nas faixas de temperatura e umidade relativas programadas, as amostras, a cada 20 minutos, foram submetidas as medições na seguinte ordem: 1.º redução de massa (peso), 2.º teor de umidade e 3.º a redução dimensional. As amostras, no total de 12, foram medidas preservando a mesma ordem de leitura, dentro do menor tempo possível. Foram utilizados os seguintes equipamentos para as medições: **redução de massa:** balança de precisão digital com capacidade de medição de até 0,1gr. **Teor de umidade:** Medidor de umidade de agulha, **Redução dimensional:** Paquímetro analógico. O manuseio das amostras se deu com luvas de borracha, por meio da abertura de acesso rápido junto a porta principal.

Para a secagem das amostras de cedro (*cedrela spp*) câmara climática foi mantida com a mesma regulagem da medição anterior, programada para manter a temperatura média em 37,5°C (35°C mínima e máxima em 40°C), umidade relativa do ar (UR) média de 35,5%, (33% mínima e máxima de 38%), com objetivo de atingir um valor de umidade de equilíbrio próximo dos 7%.

Para o experimento, foram selecionadas 3 amostras de cedro (*cedrela spp.*) provenientes de árvores diferentes, todas com o sentido de corte tangencial, fibra bem definida e sem defeitos.

As medições foram feitas a cada 40 minutos, seguindo a seguinte ordem: 1.º redução de massa (peso), 2.º teor do teor de umidade (%) e 3.º a redução dimensional (mm).

As 3 amostras foram medidas preservando a mesma ordem de leitura, dentro do menor tempo possível. Foram utilizados os seguintes equipamentos para as medições: Peso: balança de precisão digital com capacidade de medição até 0,1gr. Teor de umidade: Medidor de umidade capacitivo, Redução dimensional: Paquímetro analógico. O manuseio das amostras se deu com luvas de borracha, por meio da abertura de acesso rápido junto a porta principal.

Por apresentar pequenas diferenças na leitura de umidade de equilíbrio (UE) entre às duas faces maiores de cada amostra de cedro, adotou-se o valor da média.

Na cultura da luteria é vastamente empregado o selamento dos topos (plano transversal), das madeiras após o desdobramento. Para isso utiliza-se colas, ceras derretidas, entre outras substâncias secantes. Este procedimento evita de forma muito eficiente as rachaduras que ocorrem na região dos topos. Portanto, as amostras de cedro tiveram esta mesmas superfícies seladas, para que a secagem ocorresse apenas pelas paredes celulares e desta forma avaliar a secagem em condições reais. O selante aplicado foi à base de Acetato de Polivinil e Álcool.

A avaliação do teor de umidade das amostras foi feita pela média de duas leituras, uma, no sentido longitudinal das fibras e outra no sentido transversal.

3.4 Confecção da câmara climática

Como mostram os capítulos a seguir, a versão final de câmara climática desenvolvida neste trabalho foi inspirada nas estufas de secagem da madeira, utilizando os princípios da secagem de alimentos por convecção. Iniciada pelo compartimento onde se efetuará a aclimação das madeiras dos instrumentos, o que deveria ser necessário para o seu funcionamento foi se revelando durante as etapas de experimentação.

3.4.1 O compartimento de aclimação

Até ser concluído, o espaço que comportará o material a ser aclimatado, será chamado de compartimento de aclimação. Tornarei a me referir à “câmara climática” quando esta estiver completa com todos os equipamentos necessários e funcionando como tal.

Determinou-se o volume interno para a área útil, ao considerar o volume total de um instrumento pronto e a produção média anual de um luthier com processo de confecção artesanal. Desta forma, o espaço para o interior da câmara de aclimação comporta tranquilamente material para seis instrumentos.

O compartimento de aclimação foi confeccionado com chapas de compensado naval de 10 mm de espessura. Como mostra a Figura 58, a junção das chapas, foram reforçadas com cantoneiras de madeira de pinus com 20 mm X 20 mm de espessura, fixadas apenas com parafusos.

Figura 58 – Junção das chapas de compensado naval

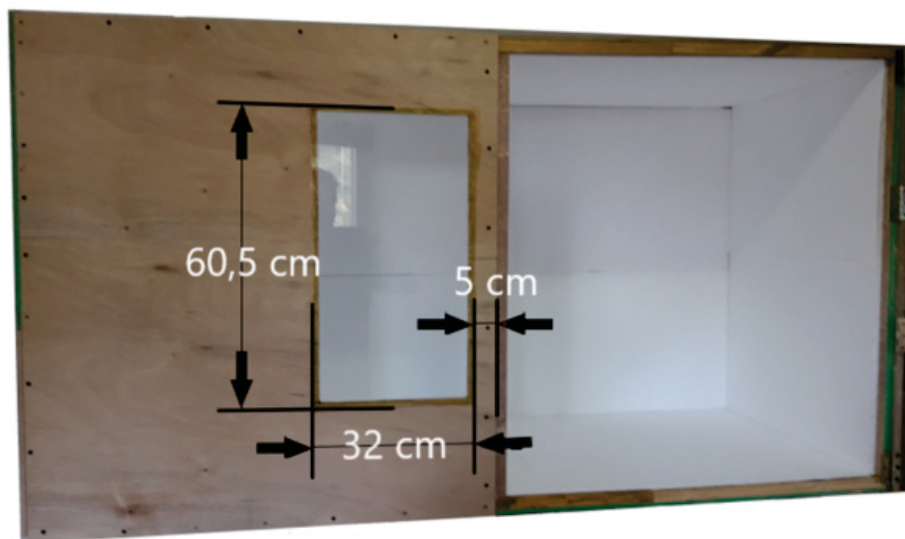


Fonte: o autor

Após o término da confecção da estrutura de madeira do compartimento de aclimação (**CA**), foi feita a forração interna e externa com chapas de **EPS** (isopor) de 25 mm de espessura, colados com cola de contato spray. A aplicação do EPS tem por objetivo reduzir a transferência térmica, evitando a entrada ou saída de calor de um ambiente para outro.

Como ilustra a Figura 59, foi adicionada uma janela na estrutura, próximo da porta de acesso principal. Esta janela é composta por dois vidros de 4 mm de espessura, colados com cola epóxi diretamente na chapa de compensado, um, na parte interna da câmara e outro na parte externa, distantes um do outro conforme a espessura da chapa (10 mm).

Figura 59 – Visão frontal do compartimento de aclimação com algumas medidas do posicionamento da janela



Fonte: o autor

A porta de acesso foi também confeccionada com compensado naval de 10 mm e instalada com quatro dobradiças para dar mais estabilidade a estrutura. Como mostra a Figura 60, a forração interna de EPS foi feita de tal forma que este sela o interior do CA após ser fechado. Para manter a porta fechada, foram instaladas duas travas de madeira.

Figura 60 – Visão frontal do compartimento de aclimação com a porta de acesso concluída



Fonte: o autor

Após a conclusão da forração frontal externa com EPS de 25 mm, o CA foi coberto com uma manta térmica aluminizada como mostra a Figura 61. Este tipo de manta é indicado para subcoberturas de telhado, pois (conforme o fabricante) proporciona isolamento térmico.

Figura 61 – Forração com a manta térmica concluída

Fonte: o autor

De acordo com a (DAKRON, 2020), esta manta térmica é produzida com espuma de poliestireno expandido, constituída por células fechadas que mantêm o ar em seu interior e possui uma fina camada de alumínio em uma das faces. Esta manta foi utilizada com o objetivo de envolver a camada externa de EPS que é um material leve e muito frágil, além de selar possíveis vazamentos que poderiam permitir a entrada de umidade na câmara, diminuir a transferência térmica entre seu interior e o exterior e dar um acabamento que possibilitasse boa limpeza. Toda a fixação desta manta foi feita com cola, fita adesiva e grampos longos.

3.4.2 Conclusão do compartimento de aclimação e suas versões

Concluído compartimento de aclimação, foi dado início aos testes com a circulação do ar em seu interior. A uniformidade da circulação do ar para o interior do CA é determinante para o sucesso da versão final. A secagem da madeira depende de um volume uniforme e constante de ar aquecido e seco passando pela sua superfície.

Este capítulo descreve de forma abreviada, como foram configuradas internamente às duas primeiras versões do CA e os motivos pelos quais aquelas foram descartadas.

Nas três opções aqui apresentadas, as medições de ventilação e temperatura seguiram orientações técnicas que serão apresentadas no capítulo de método.

Todos os equipamentos de medição e elétricos utilizados na versão final da câmara

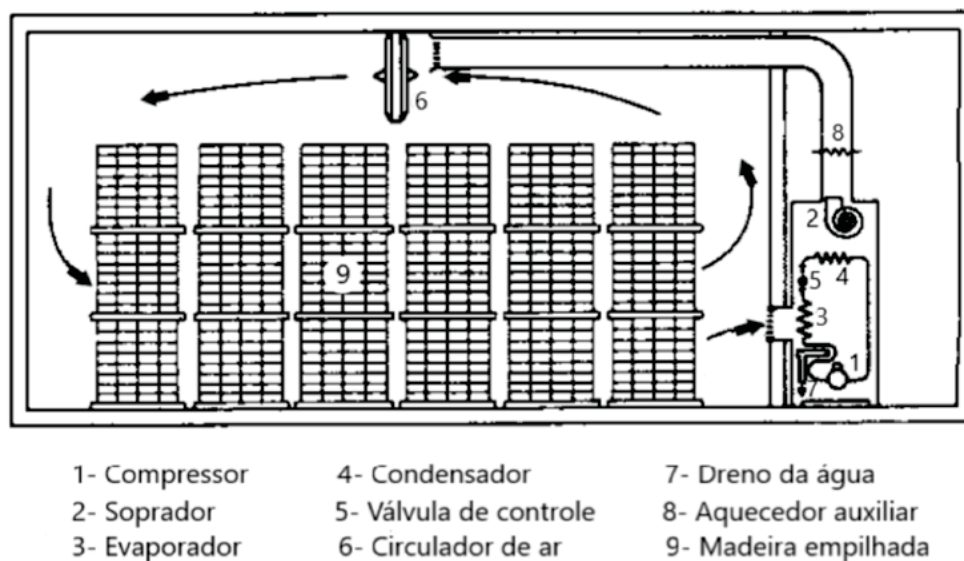
climática, com e seus respectivos valores e especificações, serão listados em um capítulo específico.

3.4.2.1 Primeira configuração interna para o compartimento de aclimação

Inicialmente, o controle de temperatura e umidade para este protótipo de câmara climática não foi considerado, até que se encontrasse uma forma de circulação de ar que atendesse as especificações necessárias.

A qualidade da secagem deve-se muito à circulação do ar em torno da madeira que deve ter o teor de umidade reduzido. Na primeira configuração, a circulação de ar interna foi inspirada na forma como ocorre nas estufas industriais de secagem de madeira. A Figura 62, ilustra de forma simplificada o sentido circular da ventilação que passa por entre as pilhas de madeira espaçadas por tabiques. A ventilação é gerada por grandes circuladores de ar e mantida em movimento até o final da secagem. Este ar é continuamente monitorado mantendo teores de umidade e temperaturas indicadas para cada tipo de madeira.

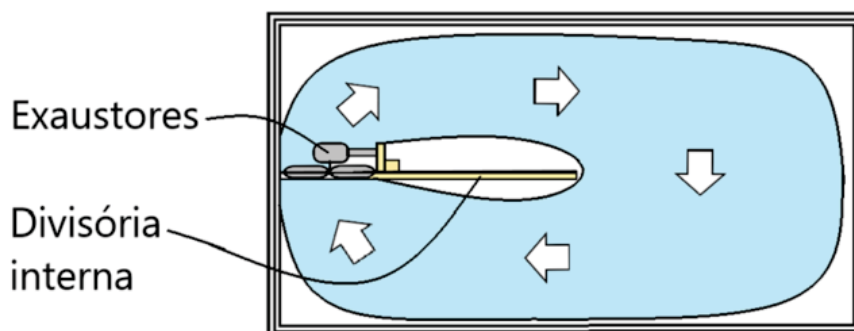
Figura 62 – Esquema simplificado de estufa de secagem de madeira



(SIMPSON, 1991) Editada pelo autor

Na Figura 63, vemos a primeira configuração interna do compartimento de aclimação, onde dois exaustores foram fixados em uma divisória para forçar a circulação do ar em torno desta.

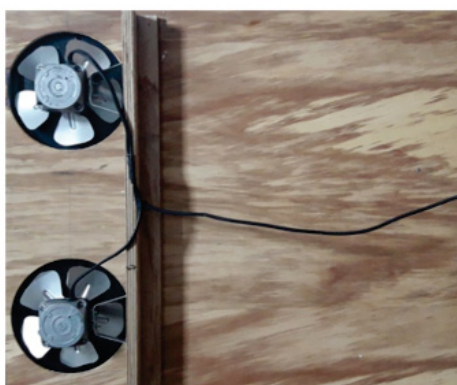
Figura 63 – Representação da circulação do ar na primeira configuração do interior da câmara climática



Fonte: elaborada pelo autor

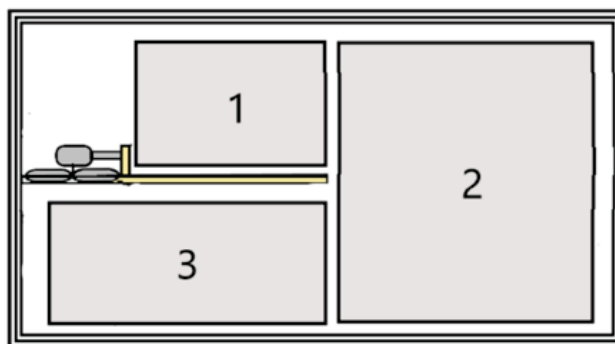
A divisória interna foi confeccionada com o mesmo compensado naval de 10 mm de espessura empregado na estrutura da câmara de aclimação. Foi fixada, de forma que vedava inteiramente a metade esquerda do interior da CA, até o limite da porta de acesso. Foi confeccionada inicialmente com um exaustor e posteriormente foi adicionado um segundo em uma nova divisória, como mostra a Figura 64, em sua versão final.

Figura 64 – Visão superior da divisória interna utilizada na primeira versão do compartimento de aclimação com dois exaustores



Fonte: o autor

Outra característica desta configuração foi proporcionar três áreas úteis de trabalho, como apresenta a Figura 65.

Figura 65 – Interior do compartimento de aclimação com 3 áreas úteis de trabalho

Fonte: elaborada pelo autor

Com esta configuração, a circulação do ar apresentava diversas inconsistências, tais como:

- Velocidade do (ar) muito elevada próximo aos exaustores na parte superior.
- Ventilação irregular entre às três áreas úteis com diferenças de até 6,8 vezes entre alguns pontos.

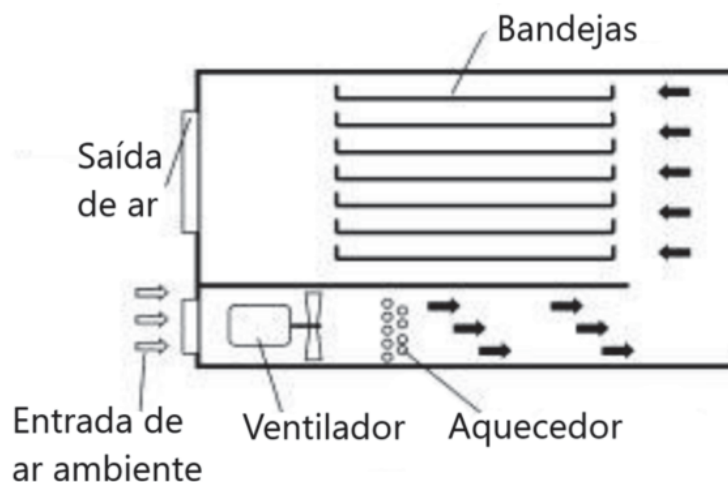
Após a tentativa de corrigir estes problemas com alguns defletores, as variações na circulação do ar persistiram, resultando no abandono desta configuração e deste modelo de exaustor.

3.4.2.2 Segunda configuração interna para o compartimento de aclimação

Para a segunda configuração aproveitou-se o princípio do secador artificial do tipo “desidratador de alimentos elétrico” como mostram a Figura 66. Este tipo de secagem é conhecido como “secagem convectiva de ar quente” (GUINÉ; PINHO; BARROCA, 2011).

Este modelo particular de estufa de secagem, projeta continuamente uma coluna de ar aquecido artificialmente de um lado para outro no interior da câmara. São estufas utilizadas normalmente para desidratar diversas variedades de alimentos sobre bandejas permeáveis.

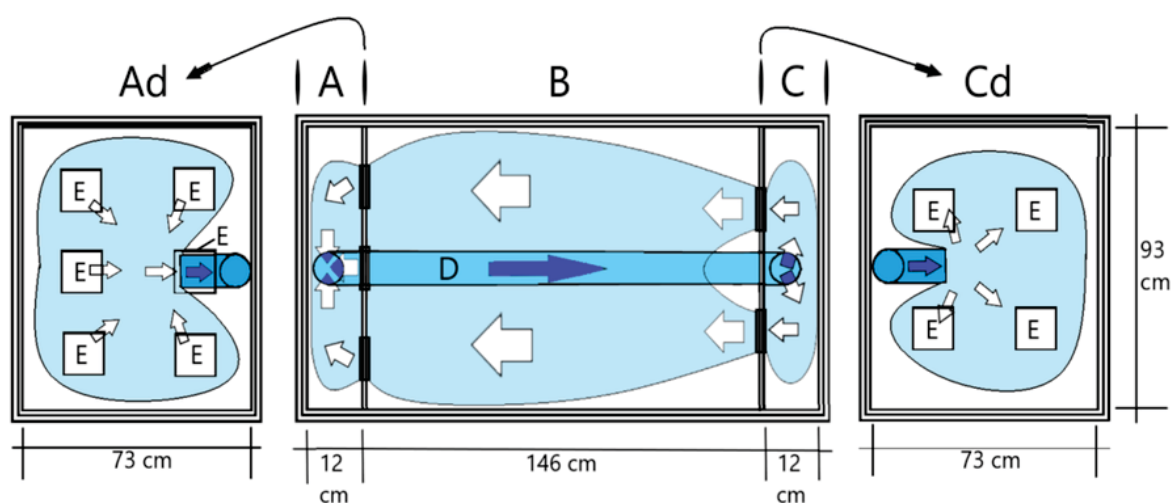
Figura 66 – Esquema de funcionamento de uma desidratadora elétrica de alimentos



(ENGEL, 2016) Editada pelo autor

Para esta nova configuração, mostrada na Figura 67, o compartimento de aclimação foi dividido em três repartições internas, A, B e C. As repartições A e C foram conectados por um tubo de PVC de 100 mm (D) que conduzia o ar que entrava na repartição A para a repartição C. Este possuía em cada extremidade uma curva e outra seção de tubo. Esta seção de tubo era alongada ou encurtada conforme melhorasse a distribuição, ou absorção do ar pelos *coolers* (E), que eram seis na divisória (Ad) e quatro na divisória (Cd). Os seis *coolers* na divisória Ad tinham a função de absorver o ar injetado na repartição B do CA pelos quatro *coolers* da divisória Cd.

Figura 67 – Visão interna do compartimento de aclimação em sua segunda configuração

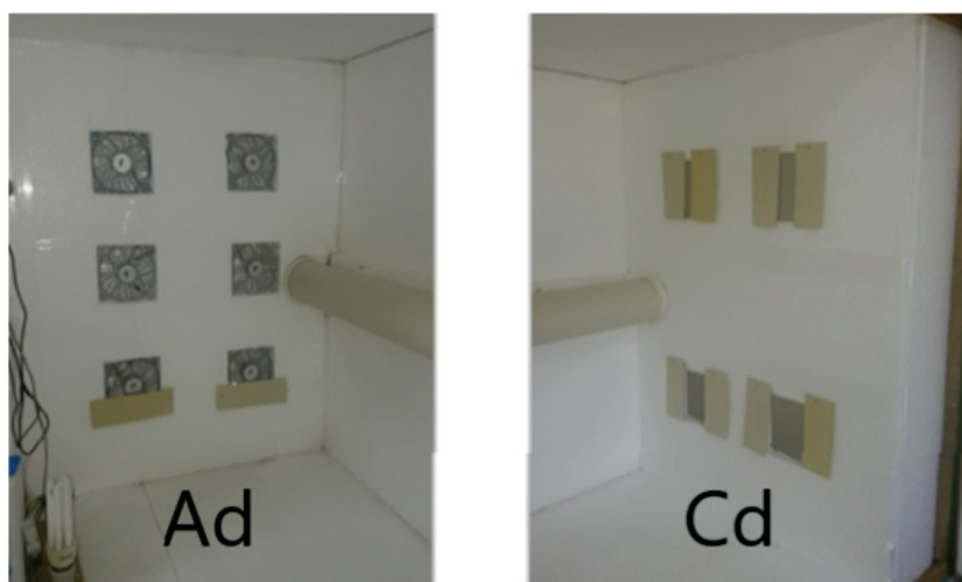


Fonte: elaborada pelo autor

A distribuição dos *coolers* foi definida desta forma, após uma série de experimen-

tações com o fluxo de ar no espaço B, entre as divisórias Cd e Ad. Inicialmente as duas divisórias possuíam seis *coolers* cada, sendo que os seis na divisória Cd injetavam ar na repartição B enquanto os outros seis na divisória Ad absorviam o ar da mesma repartição. Desta forma a vazão do ar era intensa e satisfatória nos pontos de leitura próximos da divisória CD, com velocidade média 3,5 m/min, mas muito baixa considerando a mesma distância de leitura da divisória Ad, 0,4 m por minuto. Foi então reduzida a quantidade de *coolers* da divisória Cd para quatro, na tentativa de reduzir a proporção de ar injetado em relação ao ar absorvido. Mesmo desta forma a injeção de ar da divisória Cd continuava com 3,5 m/min. e a absorção da divisória Ad acusou uma pequena melhora, média de 0,6 m/min. Desta forma os *coolers* da divisória Cd foram removidos como mostra a figura 68, Deixando apenas os *coolers* da divisória Ad como únicos responsáveis pela circulação do ar.

Figura 68 – Imagem das divisórias Ad e Cd no interior do compartimento de aclimação



Fonte: elaborada pelo autor

Desta forma houve uma grande alteração na movimentação do ar no interior do CA, e surpreendentemente o tubo de 100 mm cumpria muito bem sua função, pois, as aberturas dos *coolers* na divisória Cd ainda apresentavam velocidade de saída de ar bem superior em relação ao ar absorvido pelos *coolers* da divisória Ad. Experimentou-se ainda obstruir parcialmente as passagens de ar nas duas divisórias como mostra a imagem 68, com a finalidade de homogeneizar o fluxo do ar no interior da câmara, mas pouco resultado foi obtido o que fez com que esta configuração fosse descartada.

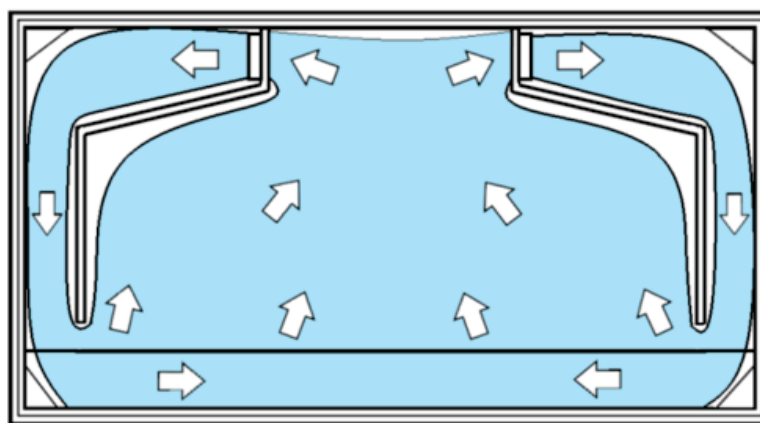
3.4.2.3 Configuração final para o compartimento de aclimação e a conclusão da câmara climática

Empregou-se para esta versão o princípio da corrente de convecção térmica dos gases, que segundo (EVANGELISTA, 2010), ocorre quando massas fluidas como líquidos, gases e vapores trocam suas posições ao apresentarem diferenças de densidade (ar frio e ar quente).

O autor decidiu distribuir a ventilação de forma idêntica para as metades direita e esquerda do interior do CA. O ar é absorvido no alto por oito *coolers*, quatro voltados para a esquerda e quatro para a direita, como ilustra a Figura 69. Estes projetam o ar por dentro de estruturas que o conduz até a base da câmara sob um estrado³ de madeira.

Por ser uma câmara experimental, o autor preferiu o uso de isopor para a confecção das estruturas de condução de ar internas, devido ao baixo custo e a facilidade com que este pode ser modelado. É um material que não absorve água e toda umidade que provenha do interior da câmara será a contida no ar, no estrado e nas madeiras dos instrumentos musicais.

Figura 69 – Distribuição do ar no interior do CA. As setas indicam o movimento ascendente na parte central e descendente pelas estruturas de condução laterais



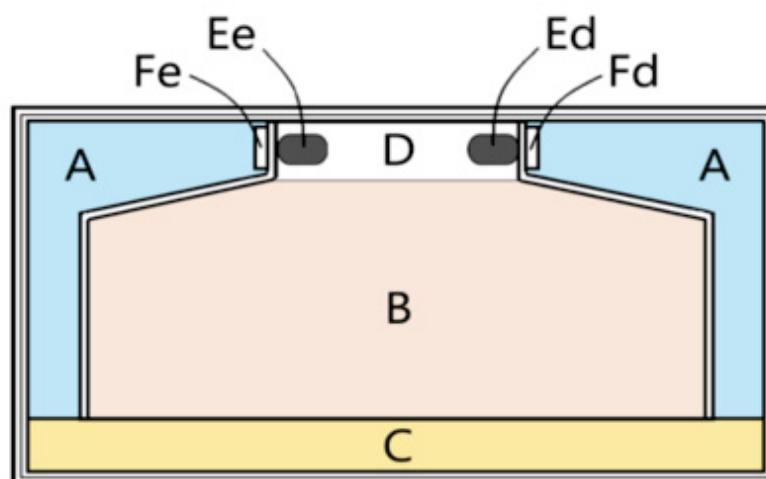
Fonte: elaborada pelo autor

Nos primeiros testes com ar frio, a distribuição do ar se fez muito regular com proporções quase idênticas nas saídas inferiores (direita e esquerda). Devido à regularidade na distribuição da ventilação interna, deu-se início às medições de circulação do ar aquecido

³ **Estrado:** Estrutura de madeira, espécie de plataforma, com pequena altura, montada acima do nível do chão, de modo a constituir um piso mais elevado, para colocar em destaque algum objeto ou pessoa. (MICHAELIS, 2021)

por dois sopradores térmicos⁴ entre os *coolers* na parte superior das estruturas de condução do ar. A Figura 70, identifica os componentes no interior do compartimento de aclimação.

Figura 70 – Identificação das partes que compõem o interior do compartimento de aclimação



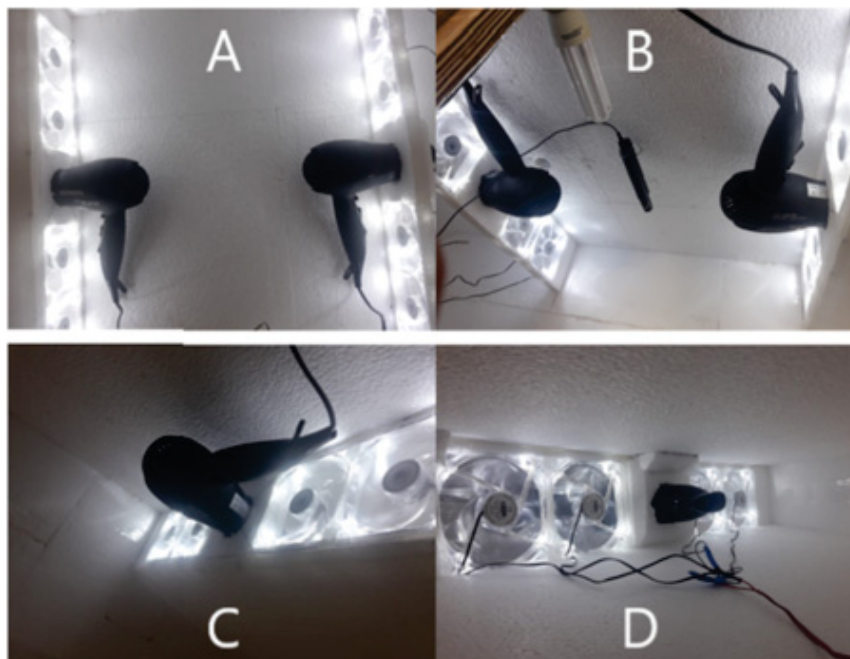
Item	Descrição
A	Espaço para a condução do ar descendente
B	Espaço útil da câmara
C	Estrado
D	Vão de acesso para os <i>coolers</i> e sopradores térmicos
Ee	Soprador térmico da esquerda
Ed	Soprador térmico da direita
Fe	<i>Coolers</i> 5 e 6 / 7 e 8
Fd	<i>Coolers</i> 1 e 2 / 3 e 4

Fonte: elaborada pelo autor

A Figura 71, mostra como foram posicionados os *coolers* e os sopradores térmicos na parte superior da câmara. Os *coolers* foram fixados com pouca cola de isopor para permitir futuras substituições. Os sopradores térmicos foram apenas encaixados em um orifício aberto com a mesma conicidade encontrada no corpo do aparelho para que estes ficassem bem firmes e possibilitasse a remoção no caso de manutenção.

⁴ **Soprador térmico:** Ferramenta elétrica que tem como função liberar o ar quente através do aquecimento gerado por uma resistência elétrica interna, que expelle o ar pelo bocal frontal da pistola. No equipamento, a temperatura é ajustável, podendo variar de 300 °C a 600 °C, característica que exige atenção extra ao ser manuseada, além da utilização dos EPIs adequados para garantir a segurança do operador. (GERAIS, 2019).

Figura 71 – (A e B) posicionamento dos sopradores térmicos no vão superior do compartimento de aclimação. (C e D) encaixe do soprador térmico na estrutura de condução do ar

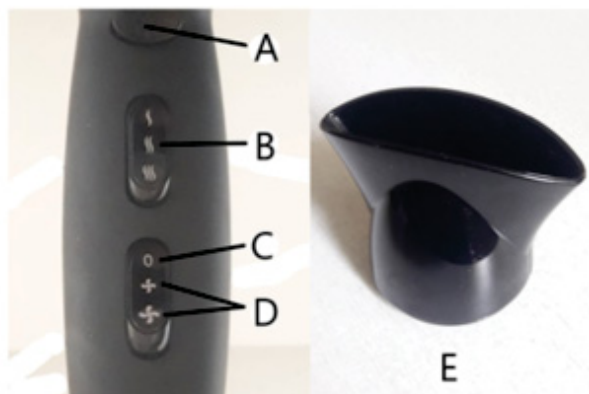


Fonte: elaborada pelo autor

Este trabalho adotou, como sopradores térmicos, dois secadores de cabelo, pois, este aparelho pode gerar calor além do necessário, com um custo inferior aos sopradores térmicos profissionais. Os sopradores térmicos profissionais costumam ser ferramentas mais robustas e duráveis, porém, o objetivo deste trabalho é o de encontrar opções de equipamentos econômicos e confiáveis para o controle de umidade de equilíbrio, e desta forma os secadores foram preferidos.

Como mostra a imagem 72, de forma muito semelhante aos sopradores térmicos profissionais, estes aparelhos possuem regulagens de temperatura, ventilação e vem com um bico dispersor de ar que se mostrou muito eficiente, distribuindo o ar quente por toda a largura do CA.

Figura 72 – Botões de acionamento dos sopradores térmicos e o bico dispensor do ar



Item	Descrição
A	Botão de acionamento do ar com temperatura ambiente
B	Opções de calor (baixa, média e alta)
C	Posição que liga e desliga o aparelho
D	Opções de ventilação (média e alta)
E	Bico dispensor de ar (modela o jato de ar em forma de leque)

Fonte: elaborada pelo autor

Durante os experimentos, os sopradores térmicos geraram temperatura suficiente, regulados na temperatura mínima de calor (B) e na de ventilação média (D).

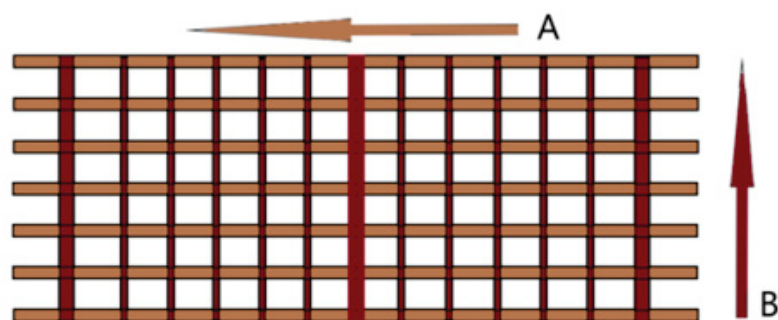
3.4.3 A confecção do estrado

Para aproveitar o movimento de convecção térmica de ar quente pelo interior da área útil da câmara, projetou-se uma estrutura de madeira por onde o ar aquecido e mais seco é distribuído de maneira uniforme e liberado para ascender em direção ao vão onde estão os *coolers* e os sopradores térmicos. Esta estrutura, denominada estrado⁵, na imagem 62, mantém sobre si as madeiras que deverão ser desidratadas. Após a conclusão da estrutura longitudinal do estrado, representados pela letra (A) na Figura 73, foram fixadas sobre esta, 13 ripas⁶ transversais de madeira (B) com prego (10x10)⁷ em todos os pontos de cruzamento (A e B). Três ripas (B), duas nas extremidades e outra no centro são mais largas, porém, com a mesma altura, foram às três primeiras colocadas no início da montagem da estrutura. As duas ripas (B) mais largas que estão nas extremidades apoiam as estruturas de condução do ar descendente.

⁵ **Nota do autor**, como existia a possibilidade de sofrer contínuas alterações em sua estrutura durante o processo de experimentação, o estrado foi confeccionado em madeira, que é um material versátil e de baixo custo. Mas considero para a versão final, o alumínio como o material ideal.

⁶ **Ripa**: madeira cortada em tiras finas e estreitas.

⁷ **Prego** (10 x 10), possui 1,5 mm de diâmetro e 23 mm de comprimento.

Figura 73 – Representação da estrutura do estrado pronto, visão superior

Fonte: elaborada pelo autor

A Figura 74, mostra a estrutura de madeira do (estrado) finalizada no interior do compartimento de aclimação.

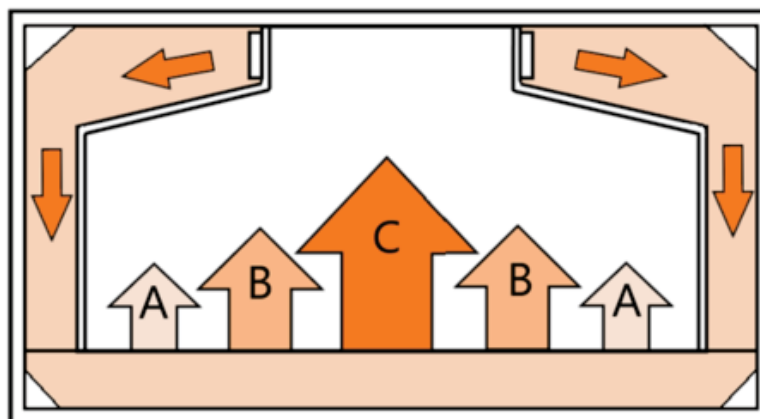
Figura 74 – O estrado finalizado no interior do compartimento de aclimação

Fonte: o autor

3.4.3.1 A distribuição do ar ascendente

Efetuada as primeiras medições, verificou-se que, na parte central do estrado o ar quente ascendia com maior velocidade e diminuía gradualmente ao se aproximar das estruturas laterais. Na Figura 75, a velocidade do ar ascendente é representada pelas letras (C), (B) e (A). A área central (C), apresentava velocidade 5,7 vezes superior à do ponto (A). Nos pontos (B) os valores eram intermediários.

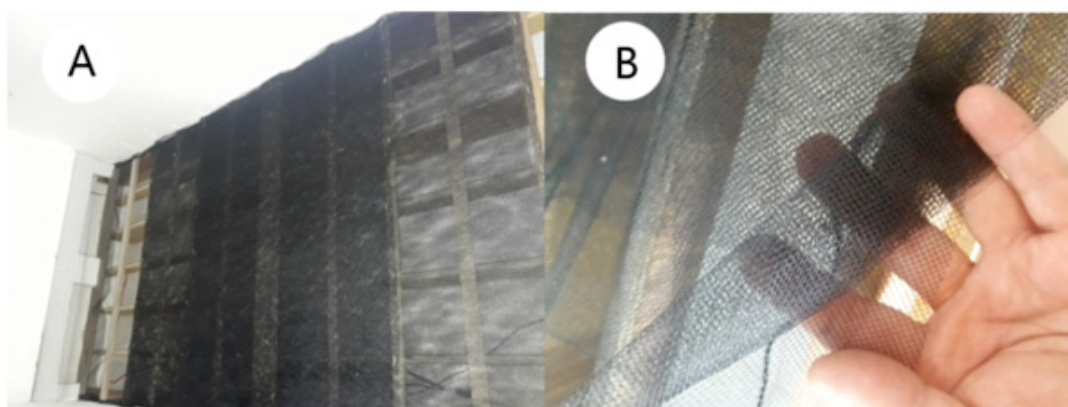
Figura 75 – A diferença na distribuição do ar ascendente entre o centro do estrado e suas extremidades



Fonte: elaborada pelo autor

Como exibe a Figura 76, para uniformizar o fluxo de ar ascendente no interior do compartimento de aclimação, foram fixados sobre o estrado, diversos estratos de tela de poliamida (filó de armação) sobre as áreas com maior fluxo ascendente. Desta forma aumentou-se a resistência da passagem do ar nos pontos mais críticos, distribuindo a passagem do ar pela tela em toda a extensão do estrado. A aplicação da tela de poliamida permitiu também, controlar a velocidade de ascensão do ar.

Figura 76 – Imagem (A), estrado finalizado com cobertura de tela. (B) tela flexível de poliamida



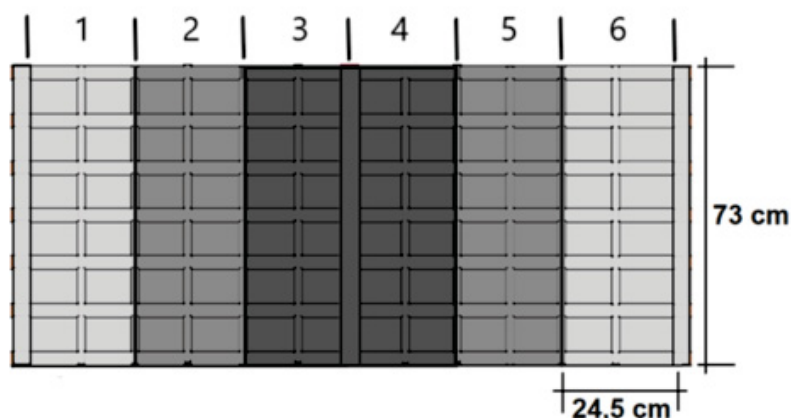
Fonte: o autor

3.4.3.2 A distribuição da tela de poliamida sobre o estrado

Para distribuir as camadas de tela, o estrado foi dividido em seis partes, cada parte contendo 12 aberturas, como mostra a Figura 77. Primeiramente foi fixada uma única camada de tela de poliamida sobre toda a superfície do estrado. Sobre esta camada, foram feitas as demais adições de tela. Foram cortados diversos pedaços de tela com o

comprimento e largura de cada faixa, medindo (73 cm x 24,5 cm), e pedaços menores com (24,5 cm x 24,5 cm) para cobrir 1/3 de cada faixa se necessário. À medida que as medições com o anemômetro indicassem a necessidade de redução na velocidade de ascensão do ar em um determinado ponto, novas camadas de tela de poliamida eram adicionadas.

Figura 77 – As divisões do estrado e suas dimensões



Elaborada pelo autor

Verificou-se que, nas aberturas do estrado, próximas das estruturas de condução do ar descendente nas partes 1 e 6, na Figura 77, o ar se mantinha com taxa de velocidade baixa, uniformizando-se nas partes 2, 3, 4 e 5. Para corrigir esta deficiência, decidiu-se criar uma abertura nas estruturas de condução de ar descendente que anteriormente tocavam o estrado. Estas aberturas correspondem ao 'item' (R) na Tabela da Figura 78. Após novas medições da velocidade do ar ascendente, constatou-se que as aberturas não só funcionaram como esperado, como reduziram a velocidade do ar nas partes centrais do estrado, obrigando a remoção de alguns estratos de tela. Conforme as leituras da velocidade do ar nestas aberturas (R), foi necessário adicionar alguns estratos de tela.

Concluído o trabalho de uniformização do fluxo de ar ascendente com a aplicação das telas de poliamida, obteve-se por parte, o seguinte volume de estratos de tela:

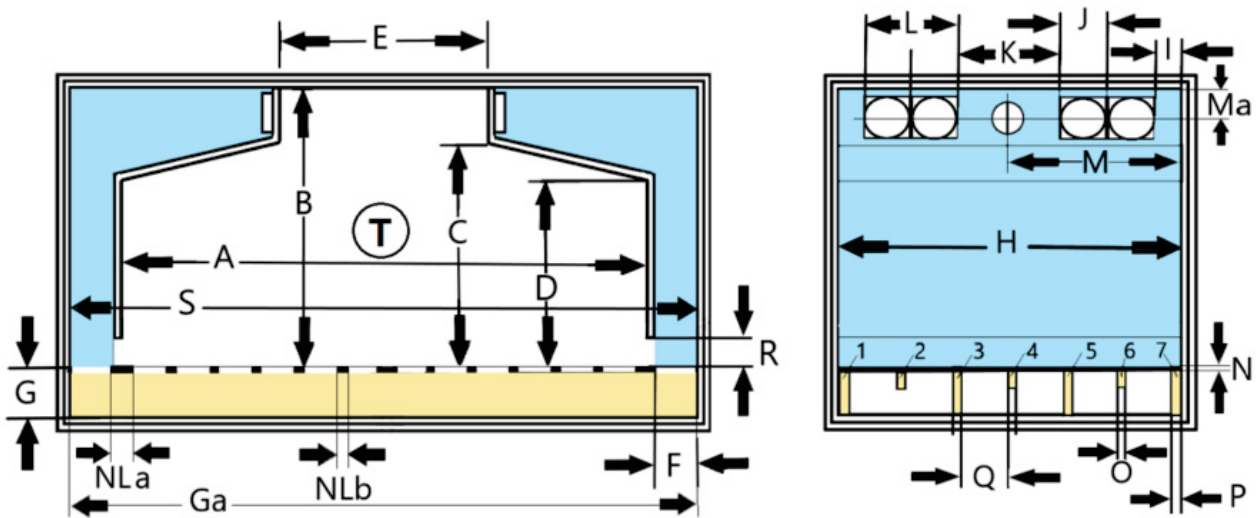
- Partes 1 e 6 (1 camada de tela)
- Partes 2 e 5 (4 camadas de tela)
- Partes 3 e 4 (9 camadas de tela)

O processo de cobertura do estrado com os estratos de tela de poliamida, nivelou

de forma muito simétrica as porções de ar ascendente entre as metades direita e esquerda do estrado.

A Figura 78, apresenta as medidas do CA concluído.

Figura 78 – Conjunto de medidas do CA concluído



Item	Nome	Medidas em centímetros
A	Largura útil interna	145
B	Máxima altura interna	82
C	Máxima altura útil interna	70
D	Mínima altura útil interna	61
E	Distância entre os coolers da câmara	59
F	Largura do vão de condução do ar descendente	12,5
G	Altura total do estrado	11
Ga	Comprimento das ripas 1 e 7 (as ripas 2, 3, 4, 5 e 6 possuem 150 cm)	175

Item	Nome	Medidas em centímetros
H	Profundidade do vão interno útil	73
I	Distância entre as paredes internas para os <i>coolers</i> 1º e 4º, 5º e 8º	6
J	Medida dos <i>coolers</i>	12 x 12
K	Distância entre os pares de <i>coolers</i>	13
L	<i>Coolers</i> juntos	24
M	Introdução do soprador térmico na metade da profundidade	36,5
Ma	Distância entre o teto e o centro dos cooler e da abertura dos sopradores térmicos	7,5
N	Altura das ripas de cobertura do estrado e fixação das telas, 13 ripas distribuídas de forma equidistante em 145 cm	1
NLa	Largura das ripas de cobertura do estrado (largas)	5
NLb	Largura das demais ripas de cobertura do estrado	2
O	Espessura e altura das ripas intermediárias do estrado (2, 4 e 6)	2 x 4
P	Largura das ripas 1, 3, 5 e 7	2
Q	Distância entre as ripas do estrado	11,5
R	Altura da abertura entre o estrado e estrutura de condução de ar descendente	6,5
S	Largura máxima interna	175
T	Volume interno da área útil da câmara (0,72 m³)	

Elaborada pelo autor

3.4.4 A remoção da umidade do interior do compartimento de aclimação

Para a remoção da umidade no interior do CA, levou-se em consideração as principais diferenças entre o processo de secagem em câmara climática, e as estufas de secagem convencional. Como a câmara climática é um equipamento que deve participar das etapas de confecção do produto, deve estar muito próximo ou dentro do ambiente de produção. Desta forma, torna-se necessário o controle do descarte da umidade removida das madeiras em câmara climática.

A Tabela 23, faz uma comparação entre a estufa de secagem convencional e a câmara climática.

Tabela 23 – Comparativo entre as estufas de secagem forçada convencional e a câmara climática

Estufa de secagem convencional	Câmara climática
Opera com a madeira cortada em grandes dimensões	Opera com a madeira em dimensões muito próximas à das peças finalizadas
Reduz um grande percentual de umidade na madeira	Reduz um pequeno percentual de umidade da madeira
Instalações que ocupam grande espaço	Pode ocupar um pequeno espaço no ambiente de produção
Absorve ar do meio ambiente	Recicla o ar que circula internamente
Libera grandes quantidades de umidade no meio ambiente	Retém a umidade retirada das madeiras
Não participa dos processos de montagem do produto	Participa dos processos de montagem do produto

Elaborada pelo autor

3.4.5 O desumidificador de ar

Para remover a umidade da madeira com eficiência, o ar úmido no interior do compartimento de aclimação (CA) deve ser continuamente substituído por ar seco. Para isso, foi adaptado externamente o (CA) um desumidificador de ar. Este aparelho conta ainda com um umidostato, na Figura 79, que é um dispositivo capaz de pré-determinar através de uma chave seletora, o teor de umidade desejado.

Figura 79 – Posição da chave seletora no desumidificador de ar (ajuste da umidade relativa desejada)

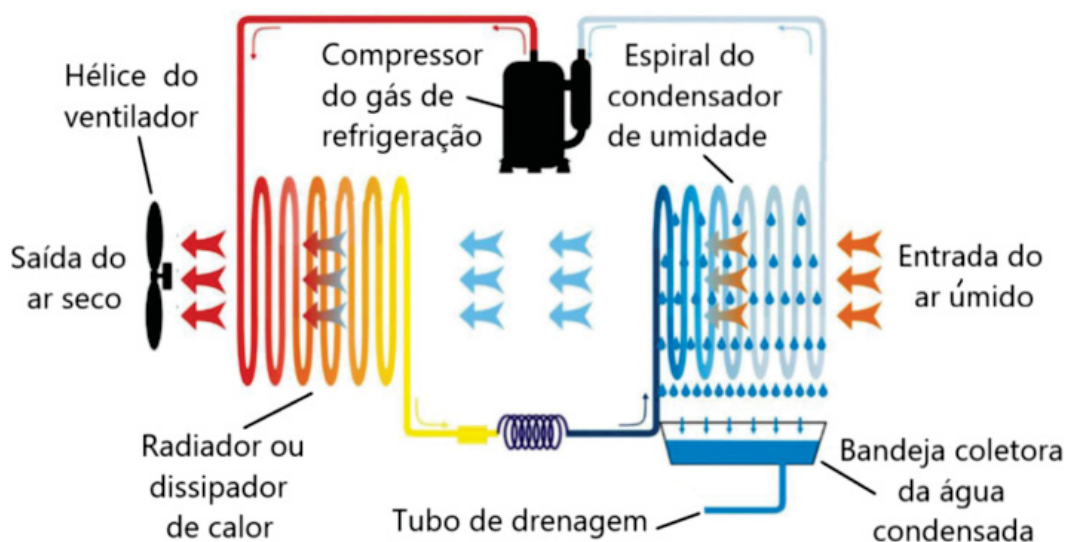
(ARSEC, 2021). Editada pelo autor

Este modelo de aparelho foi selecionado para esta pesquisa por ser de produção nacional, o que facilita a aquisição de peças de manutenção, e por ter pequenas dimensões.

Após diversas experimentações, verificou-se que o desempenho do umidostato incorporado ao desumidificador da Figura 79, apresentava algumas limitações, que obrigaram a sua substituição pelo modelo apresentado na Figura 94, (item 7). Este novo modelo de umidostato, permite o controle da histerese⁸ entre o teor de (UR) mínimo e máximo programados.

Para que se compreenda o funcionamento de um desumidificador de ar, a Figura 80, exhibe um esquema de suas partes e respectivas funções.

Figura 80 – Esquema do funcionamento de um desumidificador de ar



Elaborada pelo autor.

(THERMOMATIC, 2021) Editada pelo autor

O processo de retirada da umidade do ar inicia com um ventilador, que força a passagem do ar externo pelo interior do aparelho. O ar úmido entra em contato com o condensador de umidade, que é um tubo de alumínio em espiral, resfriado pelo gás de refrigeração em seu interior. Este condensa parte da água contida no ar terminando por pingar em um recipiente de coleta. Basicamente, um desumidificador de ar absorve ar úmido por um lado e projeta ar menos úmido pelo outro.

Definido o teor de umidade desejado, o desumidificador de ar trabalha de forma

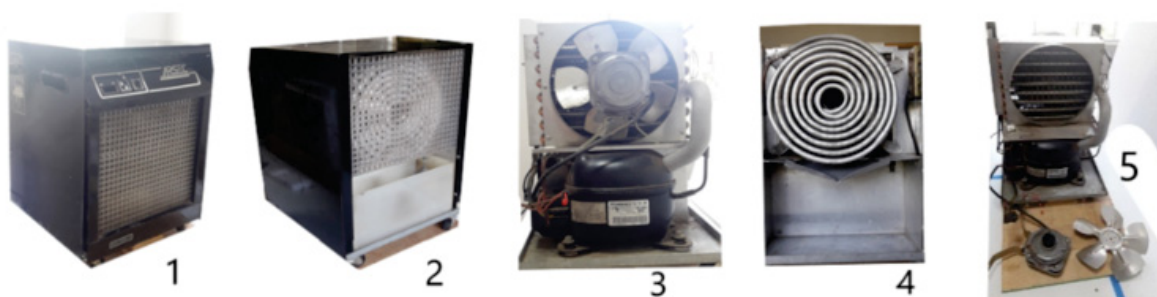
⁸ **Histerese:** aparecimento de um atraso na evolução de um fenômeno físico com relação a outro. (DICIO, 2021).

automatizada, desligando-se quando a umidade relativa do ar estiver no nível programado. Conforme as especificações do fabricante, este modelo de desumidificador pode retirar até 12 litros de água por dia em ambientes com até 150m³, (ARSEC, 2021).

3.4.6 Adaptação do desumidificador de ar à câmara de aclimação.

Na Figura 81, ve-se o início do processo de adaptação do desumidificador ao sistema de circulação de ar do (CA), iniciando com o desmonte do aparelho e a fixação de suas partes em um suporte de madeira compensada de 10 mm.

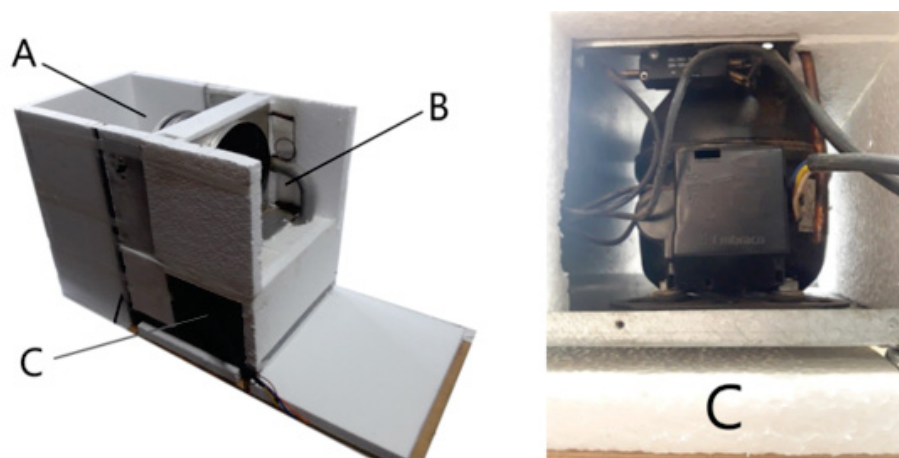
Figura 81 – Etapas do desmonte do desumidificador de ar, (1) visão frontal, (2) visão da traseira, (3) ventilador na parte frontal sobre o motor do compressor, (4) espiral do condensador na parte traseira e (5) fixação do desumidificador em uma lâmina de madeira compensada



Elaborada pelo autor

Como apresenta a Figura 82, sobre o suporte de madeira, foram confeccionados com EPS, divisórias para as seguintes partes: (A) vão para a condução do ar à espiral de condensação e (B) espaço das hélices do ventilador e dissipador de calor. O motor do compressor (C) ficou exposto ao ambiente, pelas laterais da cobertura de isolamento, mantendo-se refrigerado e para que o calor produzido por este, não alterasse o controle da temperatura no interior da câmara.

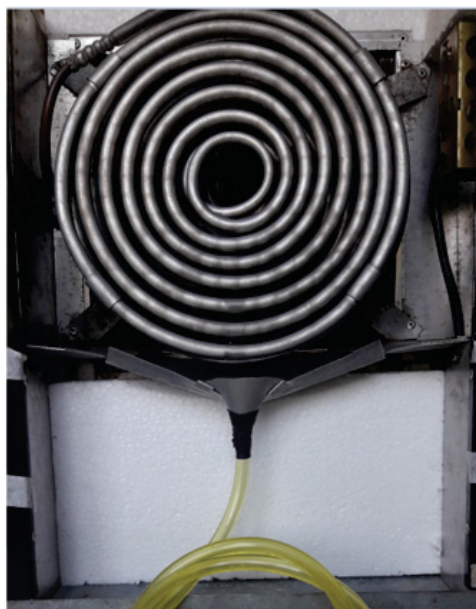
Figura 82 – Isolamento inicial dos componentes do desumidificador de ar no processo de adaptação à câmara de aclimação



Elaborada pelo autor

Para a coleta da umidade sob a espiral de condensação, foi fixada uma bandeja, que direciona a água de condensação para um funil onde está presa a mangueira de drenagem. Esta mangueira conduz a água de condensação para um recipiente fixado fora da câmara de aclimação. Como mostra a Figura 83, tanto a bandeja como o funil, foram confeccionados com lâminas de alumínio.

Figura 83 – Bandeja para a coleta da água de condensação com a mangueira de drenagem adaptada



Elaborada pelo autor

A geração de calor dentro da câmara climática deve ser controlada e estabelecida conforme o estipulado pelo operador do equipamento. Assim como o motor do compressor,

constatou-se através de um termômetro infravermelho, que a temperatura do motor do ventilador ultrapassa os 50 °C, portanto, teve que ser excluído do interior do sistema de ventilação.

Este ventilador tem a função de colocar em movimento todo o ar que passará pelo processo de desumidificação, e suas hélices devem ficar justamente posicionadas em uma abertura circular na estrutura do dissipador de calor.

Nas Figuras 84, 85, 86 e 87 a seguir, vemos as etapas de como foi confeccionado o eixo de extensão para a hélice do motor do ventilador, e como este motor foi removido para fora do sistema de ar do CA.

Figura 84 – Etapas: (1) remoção do ventilador, (2) confecção do eixo de extensão e (3) filetagem das extremidades

1		Remoção do ventilador da posição original.
2		Confecção do eixo de extensão para a hélice do ventilador. Ao eixo foram adicionados dois segmentos de alumínio, um para agir como apoio (freio) para a hélice, e o outro, como enchimento para o encaixe de um rolamento.
3	 	Confecção das roscas nas extremidades do eixo, uma para fixar as hélices e outra para a fixação no motor.

Elaborada pelo autor

Figura 85 – Etapas: (4) Fixação da hélice ao eixo, (5) fixação do eixo no motor e (6) adaptação concluída

4			Montagem da hélice e do rolamento no eixo de extensão
5		Fixação do eixo de extensão no motor. nesta extremidade do eixo foi feita a mesma rosca do parafuso que fixava a hélice em sua posição original.	
6		Eixo de extensão concluído.	

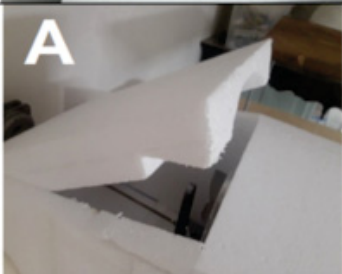
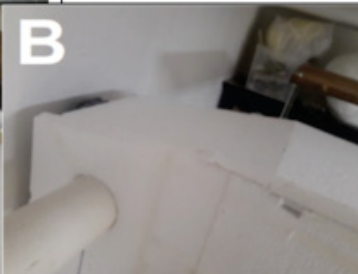
Elaborada pelo autor

Figura 86 – Etapas: (7) Regulagem da hélice junto ao dissipador de calor, (8) Alinhamento do eixo do motor e (9) fixação do motor na estrutura do desumidificador

7		Confecção e montagem do suporte de apoio para o rolamento. Foi utilizado uma barra de ferro medindo 12mm x 5 mm. o rolamento foi fixado com cola epóxi.
8		Nivelamento do eixo de extensão com nível de bolha.
9		Fixação do motor sobre duas colunas de madeira.

Elaborada pelo autor

Figura 87 – Etapas: (10) Motor posicionado fora do sistema de ar da CA e (11) sistema de ar fechado

10		Imagem da exclusão do motor, para fora do sistema de circulação interna do ar. O eixo do motor, passa por uma perfuração no isopor, com o mesmo diâmetro do eixo. Usa-se apenas graxa para a lubrificação.
11	 	(A) Encerramento da seção de passagem do ar. (B) Seção fechada.

Elaborada pelo autor

Em todo o processo do isolamento e condução do ar pelo desumidificador, foram utilizadas as chapas de EPS com 25 mm de espessura. Nas áreas de entrada de ar úmido

e saída de ar seco, foram utilizadas duas camadas de EPS para evitar vazamentos de ar, perda de temperatura e aumentar a resistência da estrutura. Para as junções das chapas foi utilizado a cola indicada para o material.

3.4.7 Incorporação do desumidificador de ar (adaptado), à câmara de aclimação

Sobre o compartimento de aclimação foram feitas algumas marcações para o posicionamento do desumidificador totalmente reconFigurado. A Figura 88, mostra como foi feita a abertura para a coleta do ar úmido ascendente do interior da CA.

Figura 88 – Adaptação do desumidificador reconFigurado



Elaborada pelo autor

Após a fixação do desumidificador de ar sobre o compartimento de aclimação, foram instalados os tubos para a condução do ar seco. A Figura 89, mostra o par de tubos utilizados, e como foram instalados.

Figura 89 – Instalação dos tubos de condução do ar seco



Elaborada pelo autor

Estes tubos, possuem 100 milímetros de diâmetro e são facilmente encontrados nas casas de material de construção civil, são utilizados para a condução de água ou esgoto. O trabalho de adaptação do desumificador de ar foi concluído com o encaixe dos tubos sobre o compartimento de aclimatação, como vemos na Figura 90.

Figura 90 – Instalação do desumidificador concluída

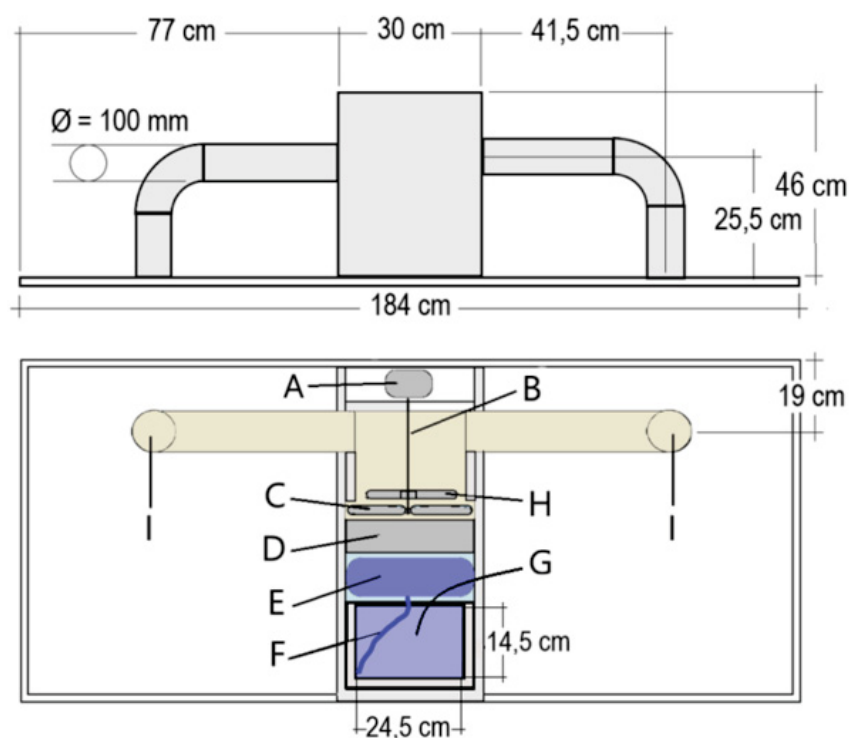


Elaborada pelo autor

Após a conclusão da instalação do desumidificador, a superfície externa do CA foi coberto com uma camada de EPS de 25 mm e coberta com chapas de madeira compesada de 10mm de espessura.

A Figura 91, apresenta as medidas finais para posicionamento do desumidificador adaptado. Também mostra com vista superior os componentes no interior da área de condução do ar.

Figura 91 – Visão frontal e superior do desumidificador sobre a câmara de aclimação, medidas e identificação de suas partes



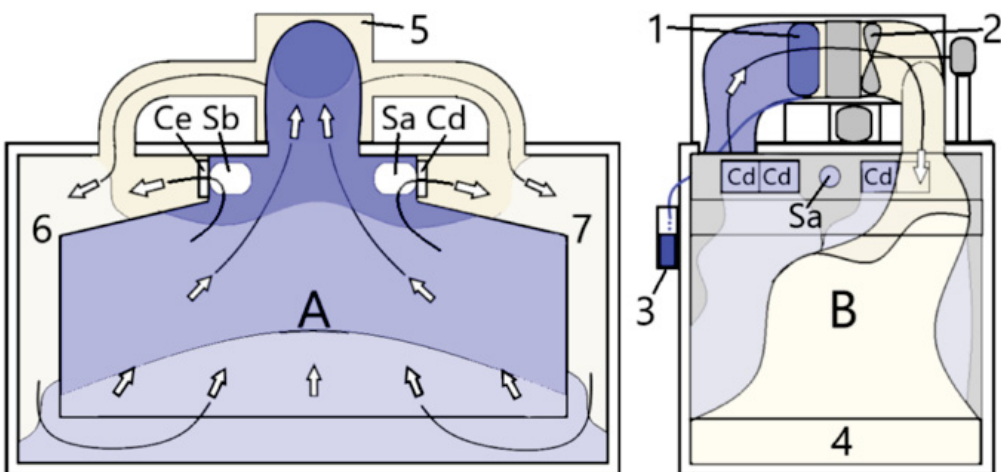
Item	Descrição	Item	Descrição
A	Motor do ventilador	B	Eixo estendido do motor
C	Hélices do ventilador	D	Radiador ou (dissipador de calor)
E	Condensador de umidade	F	Mangueira para a condução e remoção da água condensada
G	Abertura para aspiração do ar úmido no interior do compartimento de aclimação	H	Suporte do rolamento do eixo da hélice
I	Aberturas para entrada do ar seco		

Elaborada pelo autor

A instalação do desumidificador conclui a versão final para a câmara climática. Com esta configuração, os equipamentos responsáveis pela circulação do ar em seu interior são os *coolers*, os sopradores térmicos e o desumidificador de ar. Como demonstra a Figura 92. Estes equipamentos projetam o ar nas estruturas laterais (6 e 7), que o conduzem para espaço sob o estrado (4). Os oito *coolers* (Ce e Cd), mantêm continuamente o ar em movimento durante todo o processo de secagem das madeiras. Quando se torna necessária

a correção da temperatura e a umidade, os sopradores térmicos e o desumidificador de ar são acionados automaticamente pelos respectivos termostato e umidostato. As cores na Figura 92, representam o ar úmido nos tons de azul e o ar mais seco nos tons de amarelo.

Figura 92 – A movimentação do ar no interior da câmara climática, vista frontal A e lateral B



Item	Descrição	Item	Descrição
A	Visão frontal do interior do compartimento de aclimação	1	Condensador de umidade
B	Visão lateral esquerda da estrutura de condução de ar para o estrado	2	Hélice do desumidificador
Ce	Coolers da esquerda	3	Recipiente para a coleta da água de condensação
Cd	Coolers da direita	4	Espaço sob o estrado
Sa	Soprador térmico “a”	5	Compartimento do desumidificador
Sb	Soprador térmico “b”	6	Estrutura de condução do ar descendente da esquerda
		7	Estrutura de condução do ar descendente da direita

3.4.8 A instalação elétrica e o acionamento da câmara climática

A câmara é acionada e controlada por alguns dispositivos anexados à parte da frente, conforme mostra a imagem 93. Quando ligada, dá-se imediatamente início ao ajuste da temperatura e o teor de umidade conforme programação prévia. A ventilação interna proporcionada pelos oito *coolers*, é continua durante todo o processo de secagem a partir do acionamento da câmara.

Figura 93 – Dispositivos do painel de controle da câmara climática

**Termohigrômetro**

(Auxiliar) Para o controle da temperatura e umidade no interior da câmara.

Termostato

Aciona os sopradores térmicos para o controle da temperatura.

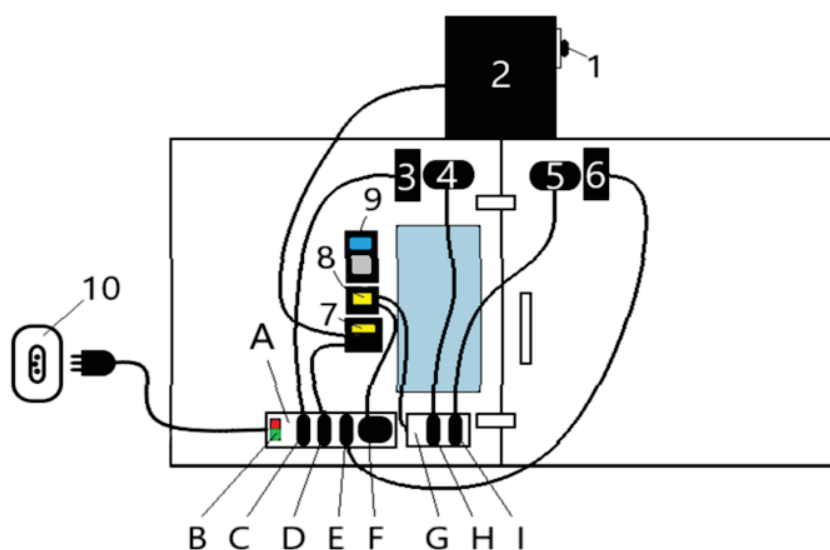
Umidostato

Controla a umidade mínima e máxima pretendida, por meio do desumidificador.

Elaborada pelo autor

Conforme mostra a Figura 94, para que funcione corretamente, deve-se manter a seguinte ordem na conexão de seus componentes elétricos: conectar a uma rede de eletricidade (10) um filtro de linha (A), com no mínimo 5 espaços para tomadas e chave do tipo liga e desliga (B). A este filtro de linha, são ligados o umidostato (7), para o controle do desumidificador, os *coolers* (3 e 6), e a fonte de alimentação do termostato (F). Ao termostato (8), é conectado outro filtro de linha (G), e a este, são ligados os sopradores térmicos (4 e 5). A fiação foi fixada pelo interior da câmara, entrando por uma furação sob o filtro de linha (G). O umidostato que acompanha o desumidificador (1) manteve-se desativado.

Figura 94 – Esquema da ligação entre os componentes elétricos da câmara climática



Item	Descrição	Item	Descrição
A	Filtro de linha com fusível de 6 Amperes	1	Umidostato do desumidificador (substituído pelo item 7)
B	Chave (liga e desliga)	2	Desumidificador
C	Tomada de alimentação dos <i>coolers</i> (5, 6, 7 e 8)	3	<i>Coolers</i> (5, 6, 7 e 8)
D	Tomada de alimentação do umidostato e do desumidificador de ar	4	Soprador térmico B
E	Tomada de alimentação dos <i>coolers</i> (1, 2, 3 e 4).	5	Soprador térmico A
F	Fonte de alimentação do termostato (12 volts).	6	<i>Coolers</i> (1, 2, 3 e 4)
G	Filtro de linha com fusível de 10 Amperes	7	Umidostato
H	Tomada de alimentação do soprador B	8	Termostato
I	Tomada de alimentação do soprador A	9	Termohigrometro digital
		10	Tomada de alimentação

Elaborada pelo autor

O modelo do termostato utilizado nesta pesquisa permite tensão de saída de até 20 A (amperes) em rede de 127 V / AC (corrente alternada), e a este aparelho estão ligados dois sopradores térmicos que podem atingir o consumo de até 15 A cada. Este modelo de termostato foi mantido, pois os dois sopradores atendem as necessidades, sendo usados na opção de regulação mínima de calor. Para dar maior durabilidade para o equipamento, aconselho um modelo de termostato com maior capacidade de saída, ao menos 25 A.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta etapa, foi feita uma abordagem experimental, procurando relacionar causas (na forma e modo de uso da câmara climática) e efeitos (características obtidas no processo de secagem).

Dresch et al. (2015) enfatizam que o Design Science Research (DSR) busca a validade pragmática: o artefato proposto, de fato, soluciona o problema? No entanto, esta validade também é científica (Santos, 2018). Como aqui se trata de uma pesquisa que, na acepção de Robson (Real World Research), é de objetivo rígido e quantitativo, cabe a verificação dos seguintes critérios:

- ausência de viés do observador: confiabilidade implícita na honestidade do pesquisador e transparência do processo;

- ausência de erro do observador, principalmente pela repetição das medições;

- ausência de viés do participante: não se aplica, por não haver pessoas na unidade de análise;

- ausência de erro do participante: não se aplica, por não haver pessoas na unidade de análise;

Robson menciona ainda três itens de validade, que serão explicados a seguir.

- a validade do constructo ou se as variáveis que foram medidas são aquelas de fato na gênese do problema:

- a validade interna (o que causa o quê),

- validade externa ou capacidade de generalização (possibilitando repetir).

Para aferir a validade do constructo, foi feita a triangulação de dados:

- medição da umidade do ar no equipamento (câmara climática);

- medição da umidade de equilíbrio nas amostras de madeira, obtida pelo equipamento (câmara climática);
- medição gravimétrica das amostras já desumidificadas (extração da umidade restante até o estado anidro)
- medição da variação dimensional das amostras;

Para aferir a validade interna foi feita observação minuciosa do comportamento da câmara, qual relatado no capítulo 3.

Sobre a validade externa, ou capacidade de generalização, retornamos ao início deste capítulo. A parametrização do processo, saindo do empirismo e adotando critérios quantitativos e precisos de higroscopicidade da madeira, a pesquisa ganha capacidade de generalização, podendo, a rigor, ser empreendida de qualquer localidade mais úmida para uma localidade mais seca, e também para outras espécies florestais e produtos.

4.1 Resultados da circulação do ar

Neste experimento, simulando uma secagem, as medições foram efetuadas com todos os dispositivos responsáveis pela ventilação operando em conjunto (coolers, sopradores térmicos e o desumidificador).

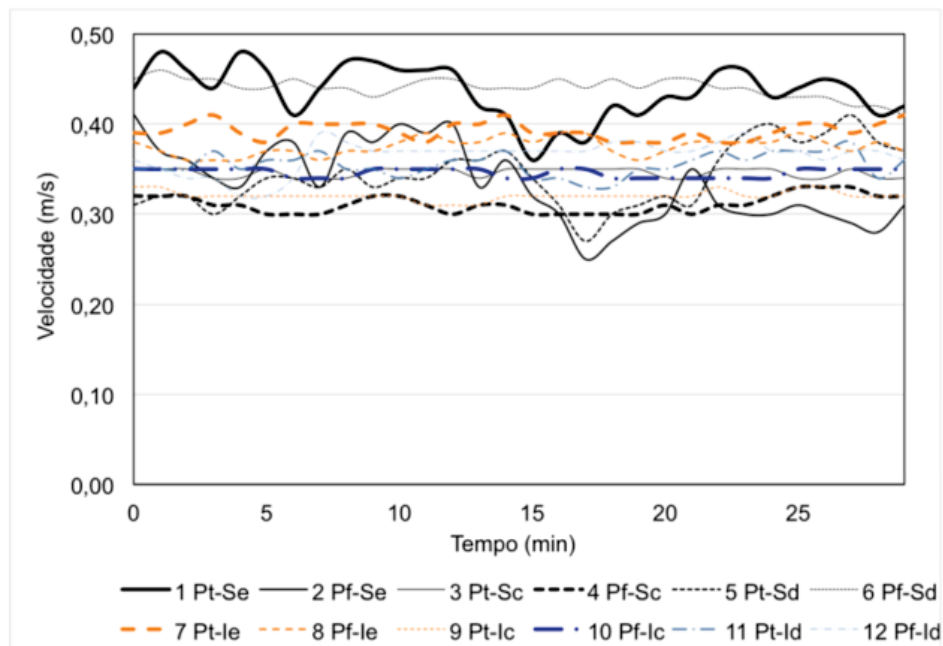
O quadro 1, e o seu respectivo Gráfico 1, mostram os resultados obtidos com a velocidade do ar no interior da câmara climática. Os valores estão expressos em metros por segundo (m/s), nos pontos de medição.

Quadro 1 – Resultado das medições da velocidade do ar (m/s) no interior da câmara climática

t(min.)	Ponto												média (m/s)	desvio padrão
	1 Pt-Se	2 Pt-Se	3 Pt-Se	4 Pt-Se	5 Pt-Sd	6 Pt-Sd	7 Pt-Ie	8 Pt-Ie	9 Pt-Ic	10 Pt-Ic	11 Pt-Id	12 Pt-Id		
1	0,44	0,41	0,35	0,32	0,31	0,45	0,39	0,38	0,33	0,35	0,35	0,36	0,37	0,043
2	0,48	0,37	0,35	0,32	0,32	0,46	0,39	0,37	0,33	0,35	0,35	0,35	0,37	0,049
3	0,46	0,36	0,35	0,32	0,32	0,45	0,40	0,36	0,32	0,35	0,35	0,34	0,37	0,046
4	0,44	0,34	0,34	0,31	0,30	0,45	0,41	0,36	0,32	0,35	0,37	0,34	0,36	0,047
5	0,48	0,33	0,34	0,31	0,32	0,44	0,39	0,36	0,32	0,35	0,35	0,32	0,36	0,050
6	0,46	0,37	0,35	0,30	0,34	0,44	0,38	0,37	0,32	0,35	0,36	0,32	0,36	0,045
7	0,41	0,38	0,34	0,30	0,34	0,45	0,40	0,37	0,32	0,34	0,36	0,34	0,36	0,040
8	0,44	0,33	0,34	0,30	0,33	0,44	0,40	0,36	0,32	0,34	0,37	0,39	0,36	0,044
9	0,47	0,39	0,34	0,31	0,35	0,44	0,40	0,37	0,32	0,34	0,35	0,38	0,37	0,046
10	0,47	0,38	0,35	0,32	0,33	0,43	0,40	0,37	0,32	0,35	0,35	0,37	0,37	0,043
11	0,46	0,40	0,35	0,32	0,34	0,44	0,39	0,38	0,32	0,35	0,34	0,37	0,37	0,043
12	0,46	0,39	0,35	0,31	0,34	0,45	0,38	0,39	0,31	0,35	0,35	0,37	0,37	0,045
13	0,46	0,40	0,35	0,30	0,36	0,45	0,40	0,38	0,31	0,35	0,36	0,37	0,37	0,046
14	0,42	0,33	0,34	0,31	0,36	0,44	0,40	0,38	0,31	0,35	0,36	0,37	0,36	0,039
15	0,41	0,36	0,35	0,31	0,37	0,44	0,41	0,39	0,32	0,34	0,37	0,37	0,37	0,037
16	0,36	0,32	0,35	0,30	0,34	0,44	0,39	0,38	0,32	0,34	0,34	0,37	0,35	0,036
17	0,39	0,30	0,35	0,30	0,31	0,45	0,39	0,39	0,32	0,35	0,34	0,37	0,36	0,043
18	0,38	0,25	0,35	0,30	0,27	0,44	0,39	0,39	0,32	0,35	0,33	0,37	0,35	0,052
19	0,42	0,27	0,35	0,30	0,30	0,45	0,38	0,37	0,32	0,34	0,33	0,38	0,35	0,050
20	0,41	0,29	0,35	0,30	0,31	0,44	0,38	0,36	0,32	0,34	0,35	0,38	0,35	0,043
21	0,43	0,30	0,34	0,31	0,32	0,45	0,38	0,37	0,32	0,34	0,35	0,37	0,36	0,044
22	0,43	0,35	0,34	0,3	0,31	0,45	0,39	0,38	0,32	0,34	0,36	0,37	0,36	0,044
23	0,46	0,31	0,35	0,31	0,36	0,44	0,38	0,38	0,33	0,34	0,37	0,38	0,37	0,044
24	0,46	0,30	0,35	0,31	0,39	0,44	0,38	0,38	0,32	0,34	0,36	0,39	0,37	0,047
25	0,43	0,30	0,35	0,32	0,40	0,43	0,39	0,38	0,32	0,34	0,37	0,37	0,37	0,040
26	0,44	0,31	0,34	0,33	0,38	0,43	0,40	0,39	0,33	0,35	0,37	0,37	0,37	0,039
27	0,45	0,30	0,34	0,33	0,39	0,43	0,40	0,38	0,33	0,35	0,37	0,36	0,37	0,042
28	0,44	0,29	0,35	0,33	0,41	0,42	0,39	0,37	0,32	0,35	0,38	0,37	0,37	0,042
29	0,41	0,28	0,34	0,32	0,38	0,42	0,40	0,38	0,32	0,35	0,34	0,37	0,36	0,040
30	0,42	0,31	0,34	0,32	0,37	0,41	0,41	0,37	0,32	0,35	0,36	0,36	0,36	0,035
média	0,44	0,33	0,35	0,31	0,34	0,44	0,39	0,38	0,32	0,35	0,36	0,36		
desvio padrão	0,03	0,04	0,00	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02		

Elaborada pelo autor

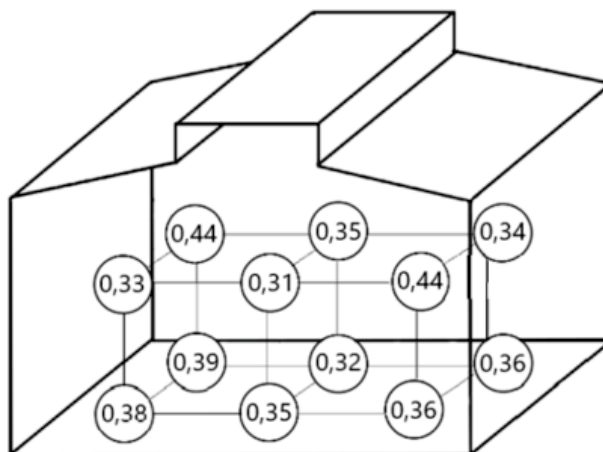
Gráfico 1 – Flutuações da velocidade do ar em (m/s) no interior da câmara climática, por ponto de medição



Elaborada pelo autor

As flutuações na velocidade do ar apresentadas no gráfico 1, mostram os intervalos entre os acionamentos dos componentes geradores da ventilação (sopradores térmicos, desumidificador e os coolers). Os *coolers* mantém a circulação constante do ar, pois, permanecem ligados durante todo o processo de secagem. As diferenças na flutuação, ocorrem devido ao acionamento/desligamento individual, ou de ambos os sopradores térmicos e o desumidificador.

Figura 95 – Média da velocidade do ar no interior da câmara climática, por ponto de medição



Média da velocidade do ar nos locais de medição (m/s)											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pt-Se	Pf-Se	Pt-Sc	Pf-Sc	Pt-Sd	Pf-Sd	Pt-le	Pf-le	Pt-lc	Pf-lc	Pt-ld	Pf-ld
0,44	0,33	0,35	0,31	0,34	0,44	0,39	0,38	0,32	0,35	0,36	0,36
Velocidade média no interior da câmara climática (m/s)											
0,36 m/s											

Elaborada pelo autor

Como vimos no gráfico 1, a alternância no acionamento automatizado dos equipamentos geram alterações na velocidade do ar no interior da câmara, mesmo assim, mantiveram-se dentro das expectativas com máxima de 0,50 m/s e a mínima de 0,15 m/s. A Figura 95, mostra a média entre os valores de velocidade do ar por ponto de medição, estas ficaram entre 0,44 m/s (máxima) e 0,31 m/s (mínima).

4.2 Avaliações da temperatura no interior da câmara climática

Foram realizadas três avaliações da temperatura no interior da câmara climática nas seguintes datas:

1ª Avaliação: Dia 13/11/2020, 48,5% de UR, temperatura ambiente com 22°C.

2ª Avaliação: Dia 16/11/2020, 61% de UR, temperatura ambiente com 21°C.

3ª Avaliação: Dia 17/11/2020, 71% de UR, temperatura ambiente com 23,5°C.

4.2.1 Primeira avaliação da temperatura

O quadro 2, mostra a totalidade dos valores obtidos com as medições. Nas linhas horizontais, as médias de temperatura por medição e, nas colunas, as médias de temperatura por ponto.

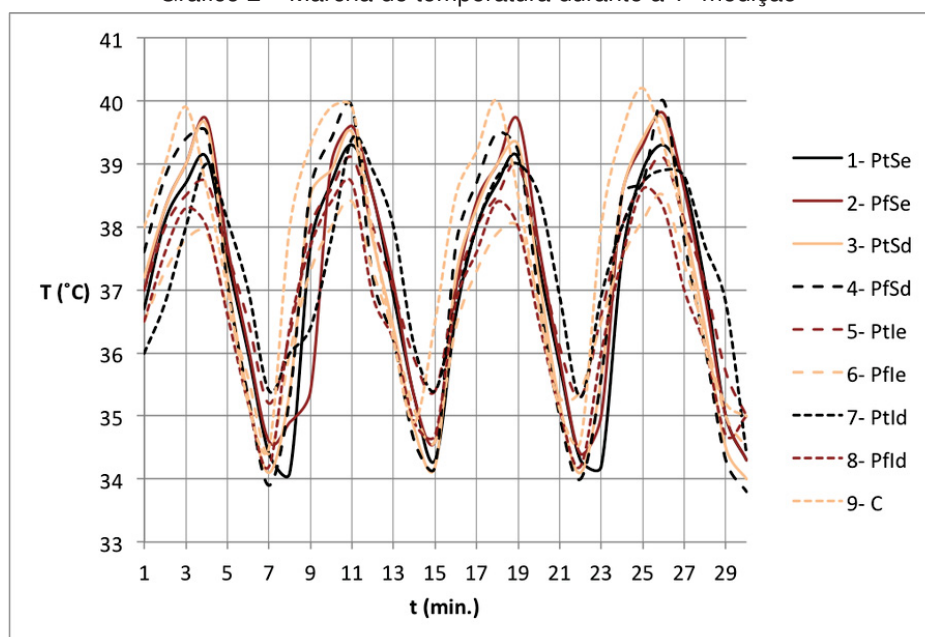
Quadro 2 – Temperaturas na primeira medição

T (min.)	Pontos									média	desvio padrão
	1- Pt-Se	2- Pf-Se	3- Pt-Sd	4- Pf-Sd	5- Pt-Ie	6- Pf-Ie	7- Pt-Id	8- Pf-Id	9- C		
1	36,7	37,0	37,2	37,6	37,0	36,5	36,0	36,5	38,0	36,94	0,57
2	38,1	38,3	38,3	38,8	38,0	37,3	36,8	37,6	39,0	38,02	0,66
3	38,7	39,0	39,0	39,4	38,5	37,8	38,0	38,3	39,9	38,73	0,63
4	39,1	39,7	39,6	39,5	38,7	37,9	39,0	38,0	38,6	38,90	0,62
5	37,5	37,7	37,2	37,1	37,6	36,7	38,1	36,6	37,0	37,28	0,46
6	36,0	36,1	35,3	35,3	36,5	35,6	37,0	35,2	35,2	35,80	0,61
7	34,4	34,6	34,1	33,9	35,2	34,4	35,4	34,2	34,5	34,52	0,46
8	34,1	34,9	35,4	35,3	36,3	36,0	36,0	36,4	38,0	35,82	1,03
9	37,7	35,4	38,5	38,6	38,0	37,3	36,4	37,7	39,3	37,66	1,12
10	38,7	39,0	38,9	39,4	38,6	38,0	37,8	38,4	39,9	38,74	0,62
11	39,3	39,6	39,5	39,9	39,1	38,4	39,4	38,7	39,9	39,31	0,48
12	38,5	38,5	37,8	37,2	38,0	37,3	38,9	36,9	37,9	37,89	0,63
13	36,9	37,1	36,4	36,2	37,0	36,3	38,0	36,2	36,2	36,70	0,58
14	35,3	35,3	34,8	34,6	35,9	35,1	36,1	34,9	34,9	35,21	0,47
15	34,3	34,6	34,2	34,2	35,4	34,6	35,4	34,7	36,5	34,88	0,72
16	36,6	37,0	37,2	37,7	37,0	36,4	36,8	36,8	38,5	37,11	0,60
17	38,0	38,4	38,3	38,7	38,0	37,3	38,0	37,6	39,2	38,17	0,54
18	38,7	39,0	39,0	39,5	38,5	37,9	38,8	38,4	40,0	38,87	0,58
19	39,1	39,7	39,3	39,2	39,0	38,0	39,0	38,0	38,5	38,87	0,55
20	37,4	37,7	37,2	36,9	37,6	36,8	38,5	36,5	36,7	37,26	0,59
21	35,8	35,9	35,2	35,0	36,1	35,3	36,9	35,1	35,1	35,60	0,59
22	34,3	34,4	34,1	34,0	35,3	35,4	35,3	34,2	34,6	34,62	0,53
23	34,2	35,0	35,6	35,6	36,6	36,5	36,9	36,0	38,0	36,04	1,05
24	37,5	38,5	38,5	38,5	38,0	37,5	38,0	37,5	39,5	38,17	0,62
25	38,9	39,3	39,4	38,7	38,7	38,1	38,7	38,6	40,2	38,96	0,57
26	39,3	39,8	39,7	40,0	39,1	38,5	38,9	38,3	39,3	39,21	0,54
27	38,7	38,6	38,1	37,8	38,1	37,4	38,8	37,0	38,0	38,06	0,57
28	37,1	36,9	36,4	36,1	37,1	36,3	37,7	36,1	36,1	36,64	0,54
29	35,0	35,0	34,5	34,3	35,7	35,0	36,8	34,7	35,2	35,13	0,70
30	34,3	34,3	34,0	33,8	35,0	34,5	34,4	35,0	35,0	34,48	0,42
média	37,01	37,21	37,09	37,09	37,32	36,67	37,39	36,67	37,62		
desvio padrão	1,78	1,85	1,90	2,04	1,25	1,21	1,32	1,39	1,85		

Elaborada pelo autor

O Gráfico 2 apresenta as flutuações de temperatura no interior da câmara climática em seus respectivos pontos de medição.

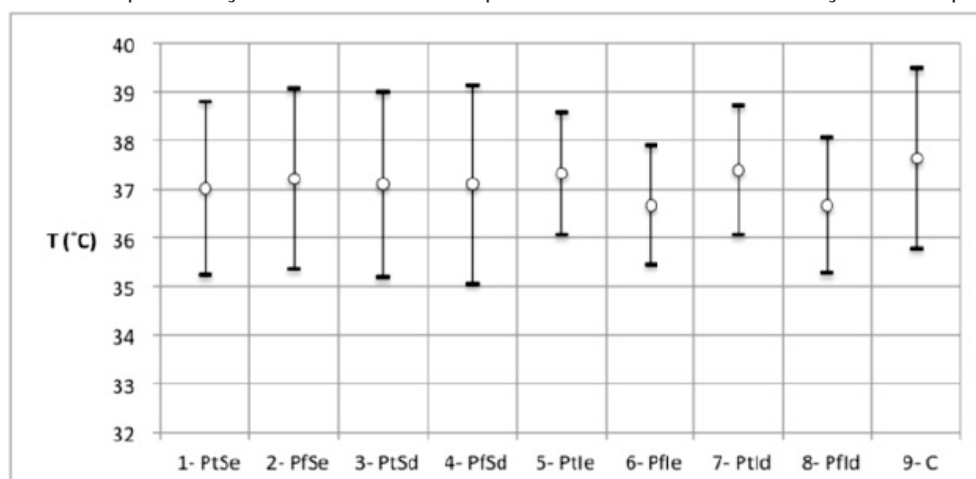
Gráfico 2 – Marcha de temperatura durante a 1ª medição



Elaborada pelo autor

O Gráfico 2, mostra a oscilação da temperatura dentro do intervalo de tempo (t) 30 minutos. Quando a temperatura (T) interna da CC atinge o mínimo programado (34°C), o termostato aciona os sopradores térmicos que elevam novamente a temperatura, desligando-os assim que a (T) máxima programada em (40°C) seja restabelecida.

Gráfico 3 – Representação de média e desvio padrão dos valores na 1ª medição de temperatura



Elaborada pelo autor

As flutuações são representadas como média e desvio padrão no gráfico 3.

4.2.2 Segunda avaliação da temperatura

O quadro 3, mostra a totalidade dos valores obtidos com as medições de temperatura. Nas linhas horizontais, as médias de temperatura por medição e, nas colunas, as médias de temperatura por ponto.

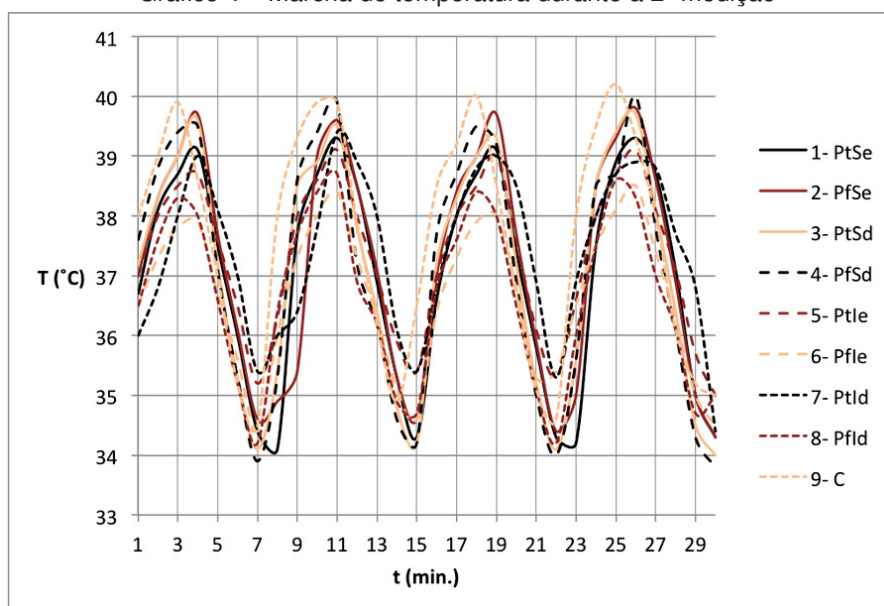
Quadro 3 – Temperaturas na segunda medição

T (min)	Pontos									média	desvio padrão
	1- Pt-Se	2- Pf-Se	3- Pt-Sd	4- Pf-Sd	5- Pt-Ie	6- Pf-Ie	7- Pt-Id	8- Pf-Id	9- C		
1	36,7	37,0	37,2	37,6	37,0	36,5	36,0	36,5	38,0	36,9	0,57
2	38,1	38,3	38,3	38,8	38,0	37,3	36,8	37,6	39,0	38,0	0,66
3	38,7	39,0	39,0	39,4	38,5	37,8	38,0	38,3	39,9	38,7	0,63
4	39,1	39,7	39,6	39,5	38,7	37,9	39,0	38,0	38,6	38,9	0,62
5	37,5	37,7	37,2	37,1	37,6	36,7	38,1	36,6	37,0	37,3	0,46
6	36,0	36,1	35,3	35,3	36,5	35,6	37,0	35,2	35,2	35,8	0,61
7	34,4	34,6	34,1	33,9	35,2	34,4	35,4	34,2	34,5	34,5	0,46
8	34,1	34,9	35,4	35,3	36,3	36,0	36,0	36,4	38,0	35,8	1,03
9	37,7	35,4	38,5	38,6	38,0	37,3	36,4	37,7	39,3	37,7	1,12
10	38,7	39,0	38,9	39,4	38,6	38,0	37,8	38,4	39,9	38,7	0,62
11	39,3	39,6	39,5	39,9	39,1	38,4	39,4	38,7	39,9	39,3	0,48
12	38,5	38,5	37,8	37,2	38,0	37,3	38,9	36,9	37,9	37,9	0,63
13	36,9	37,1	36,4	36,2	37,0	36,3	38,0	36,2	36,2	36,7	0,58
14	35,3	35,3	34,8	34,6	35,9	35,1	36,1	34,9	34,9	35,2	0,47
15	34,3	34,6	34,2	34,2	35,4	34,6	35,4	34,7	36,5	34,9	0,72
16	36,6	37,0	37,2	37,7	37,0	36,4	36,8	36,8	38,5	37,1	0,60
17	38,0	38,4	38,3	38,7	38,0	37,3	38,0	37,6	39,2	38,2	0,54
18	38,7	39,0	39,0	39,5	38,5	37,9	38,8	38,4	40,0	38,9	0,58
19	39,1	39,7	39,3	39,2	39,0	38,0	39,0	38,0	38,5	38,9	0,55
20	37,4	37,7	37,2	36,9	37,6	36,8	38,5	36,5	36,7	37,3	0,59
21	35,8	35,9	35,2	35,0	36,1	35,3	36,9	35,1	35,1	35,6	0,59
22	34,3	34,4	34,1	34,0	35,3	35,4	35,3	34,2	34,6	34,6	0,53
23	34,2	35,0	35,6	35,6	36,6	36,5	36,9	36,0	38,0	36,0	1,05
24	37,5	38,5	38,5	38,5	38,0	37,5	38,0	37,5	39,5	38,2	0,62
25	38,9	39,3	39,4	38,7	38,7	38,1	38,7	38,6	40,2	39,0	0,57
26	39,3	39,8	39,7	40,0	39,1	38,5	38,9	38,3	39,3	39,2	0,54
27	38,7	38,6	38,1	37,8	38,1	37,4	38,8	37,0	38,0	38,1	0,57
28	37,1	36,9	36,4	36,1	37,1	36,3	37,7	36,1	36,1	36,6	0,54
29	35,0	35,0	34,5	34,3	35,7	35,0	36,8	34,7	35,2	35,1	0,70
30	34,3	34,3	34,0	33,8	35,0	34,5	34,4	35,0	35,0	34,5	0,42
média	37,0	37,2	37,1	37,1	37,3	36,7	37,4	36,7	37,6		
desvio padrão	1,78	1,85	1,90	2,04	1,25	1,21	1,32	1,39	1,85		

Elaborada pelo autor

O Gráfico 4, apresenta as flutuações de temperatura no interior da câmara climática em seus respectivos pontos de medição.

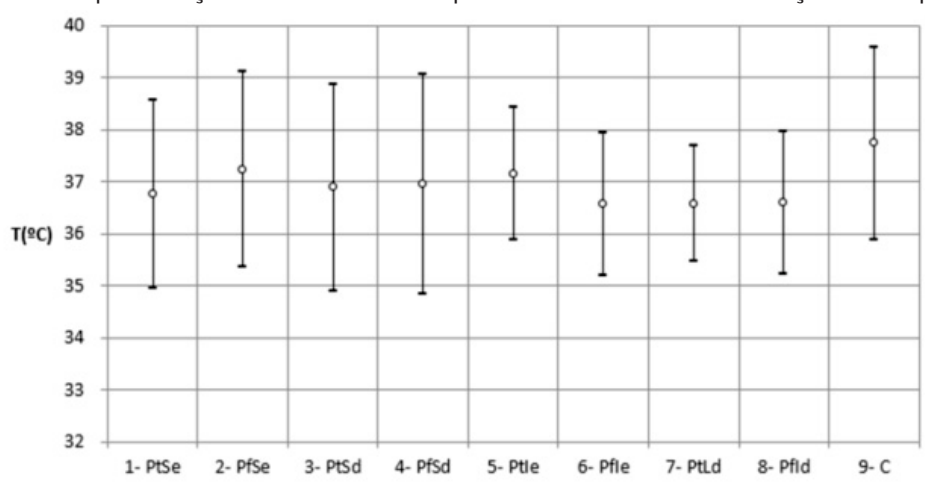
Gráfico 4 – Marcha de temperatura durante a 2ª medição



Elaborada pelo autor

Gráfico 4, mostra a oscilação da temperatura dentro do intervalo de tempo (t) 30 minutos. Quando a temperatura (T) interna da CC atinge o mínimo programado (34 °C), o termostato aciona os sopradores térmicos que elevam novamente a temperatura, desligando-os assim que a (T) máxima programada em (40 °C) seja restabelecida.

Gráfico 5 – Representação de média e desvio padrão dos valores na 2ª medição de temperatura



Elaborada pelo autor

As flutuações são representadas como média e desvio padrão no Gráfico 5.

4.2.3 Terceira avaliação da temperatura

O quadro 4, mostra a totalidade dos valores obtidos com as medições. Nas linhas horizontais, as médias de temperatura por medição e, nas colunas, as médias de temperatura por ponto.

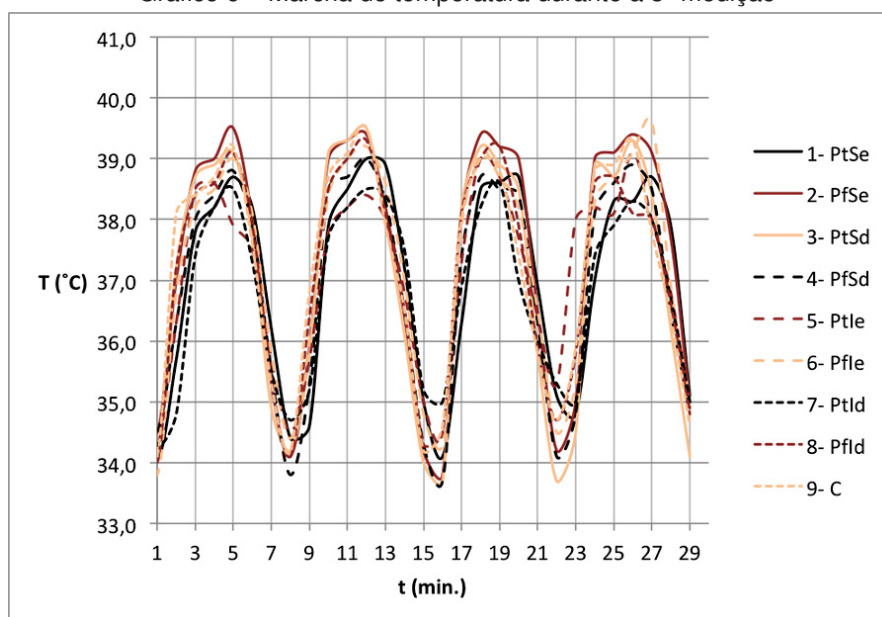
Quadro 4 – Temperaturas na terceira medição

T (min)	Pontos									média	desvio padrão
	1- Pt-Se	2- Pf-Se	3- Pt-Sd	4- Pf-Sd	5- Pt-Ie	6- Pf-Ie	7- Pt-Id	8- Pf-Id	9- C		
1	36,0	35,4	34,9	35,3	35,4	35,7	35,8	35,3	35,3	35,5	0,31
2	34,1	34,5	34,2	34,5	34,3	33,8	34,3	34,0	34,1	34,2	0,22
3	35,7	37,0	37,2	36,3	36,3	36,8	34,8	37,2	38,1	36,6	0,91
4	37,8	38,8	38,7	38,0	38,5	38,2	37,4	38,4	38,4	38,2	0,42
5	38,2	39,0	38,9	38,4	38,6	38,5	38,2	38,6	38,7	38,6	0,26
6	38,7	39,5	39,1	38,8	37,9	39,0	38,5	39,1	39,2	38,9	0,44
7	38,2	38,0	37,7	37,9	37,5	38,1	37,3	37,9	37,6	37,8	0,28
8	36,2	35,3	34,9	35,5	35,7	35,8	35,5	35,4	35,3	35,5	0,34
9	34,4	34,1	34,2	33,8	34,5	34,4	34,7	34,1	34,2	34,3	0,25
10	34,6	35,9	35,8	35,3	35,7	36,0	35,2	36,4	36,8	35,7	0,62
11	37,9	39,0	39,1	38,5	37,8	38,4	37,7	38,5	38,7	38,4	0,48
12	38,5	39,3	39,3	38,7	38,2	39,0	38,2	39,0	39,1	38,8	0,41
13	39,0	39,4	39,5	39,0	38,4	39,2	38,5	39,3	39,5	39,1	0,38
14	38,9	38,2	38,0	38,3	38,0	38,6	38,4	38,1	37,9	38,3	0,31
15	37,2	36,4	36,1	36,5	36,8	37,0	37,5	36,5	36,5	36,7	0,42
16	35,0	34,2	34,0	34,3	35,0	34,8	35,2	34,3	34,2	34,6	0,42
17	34,1	33,8	33,7	33,7	34,4	34,3	35,0	34,5	34,6	34,2	0,42
18	36,3	38,1	38,2	37,4	37,3	37,9	36,9	38,1	38,0	37,6	0,62
19	38,5	39,4	39,2	38,7	39,0	39,1	38,2	39,0	39,0	38,9	0,35
20	38,6	39,2	38,9	38,5	38,7	38,7	38,6	39,2	38,8	38,8	0,24
21	38,7	39,0	38,5	38,4	37,7	38,2	37,0	37,9	37,4	38,1	0,61
22	36,9	36,5	35,8	36,3	36,4	36,5	36,0	35,9	35,8	36,2	0,36
23	35,1	34,2	33,7	34,1	35,3	34,5	35,3	34,7	34,7	34,6	0,52
24	34,8	35,0	34,5	34,8	38,0	35,3	35,0	35,8	35,9	35,5	1,00
25	37,0	39,0	38,9	38,1	38,2	38,3	37,4	38,6	38,8	38,3	0,64
26	38,3	39,1	38,7	38,6	38,1	38,7	37,9	38,7	38,9	38,6	0,36
27	38,3	39,4	39,3	38,9	39,1	39,1	38,3	38,1	39,3	38,9	0,47
28	38,7	39,1	38,4	38,5	38,0	39,6	38,0	38,0	37,8	38,5	0,56
29	37,9	37,7	36,2	36,5	36,8	36,9	36,7	36,6	36,4	36,9	0,54
30	35,1	35,0	34,1	34,8	34,9	35,0	35,0	34,8	34,6	34,8	0,29
média	36,96	37,28	36,99	36,88	37,02	37,18	36,75	37,07	37,12		
desvio padrão	1,64	1,99	2,07	1,79	1,48	1,76	1,41	1,74	1,79		

Elaborada pelo autor

O Gráfico 6, apresenta as flutuações de temperatura no interior da câmara climática em seus respectivos pontos de medição. As flutuações são representadas como média e desvio padrão no Gráfico 7.

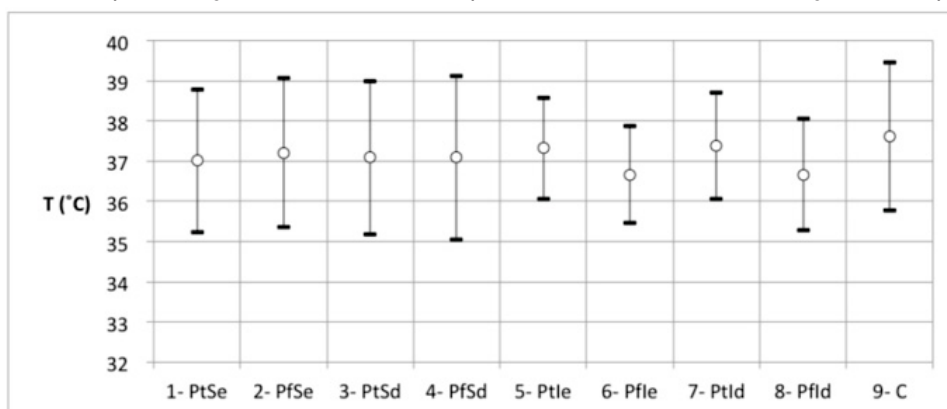
Gráfico 6 – Marcha de temperatura durante a 3ª medição



Elaborada pelo autor

O Gráfico 6, mostra a oscilação da temperatura dentro do intervalo de tempo (t) 30 minutos. Quando a temperatura (T) interna da CC atinge o mínimo programado (34 °C), o termostato aciona os sopradores térmicos que elevam novamente a temperatura, desligando-os assim que a (T) máxima programada em (39,5 °C) seja restabelecida.

Gráfico 7 – Representação de média e desvio padrão dos valores na 3ª medição de temperatura

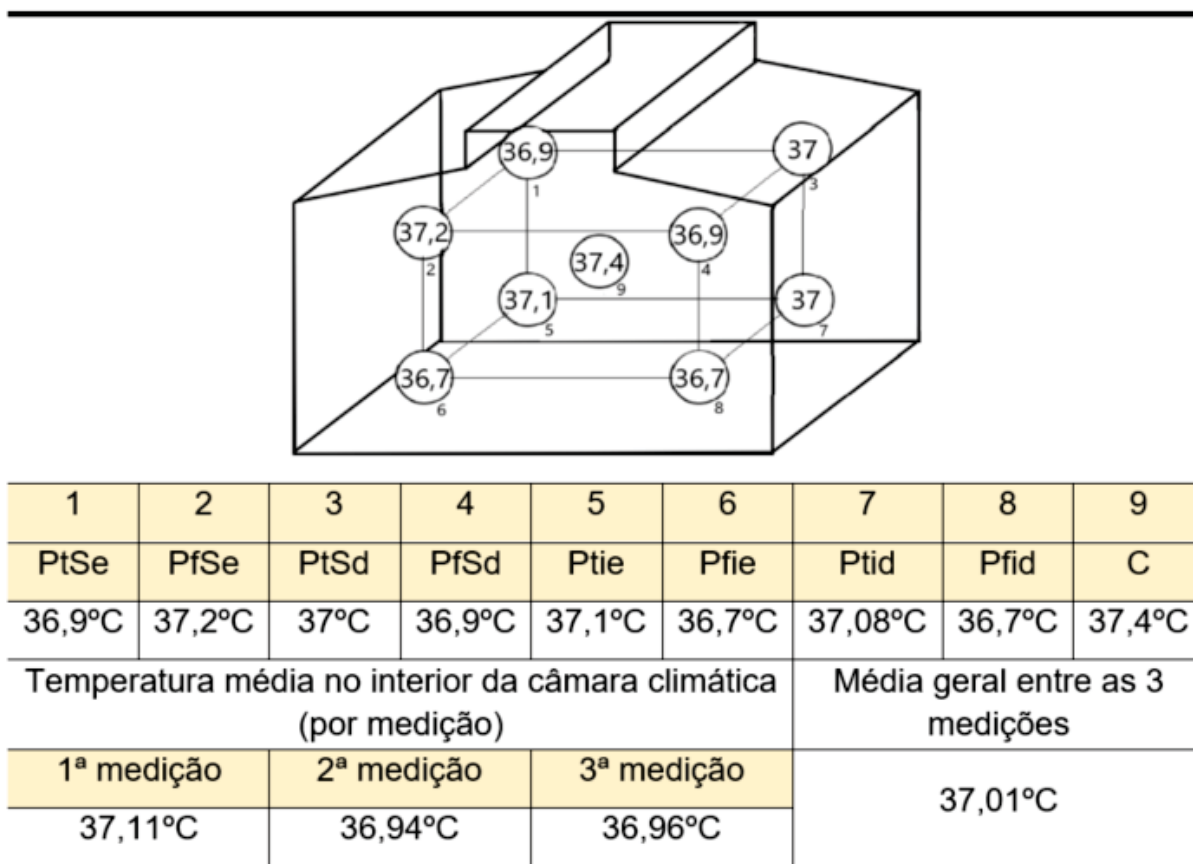


Elaborada pelo autor

4.2.4 Resultado das avaliações de temperatura

A Figura 96, a seguir, mostra as temperaturas expressas em (°C) das médias nos locais de medição dentro do espaço de trabalho, a temperatura média do interior da câmara climática por medição e a média de temperatura geral.

Figura 96 – Temperatura média nos pontos de medição



Elaborada pelo autor

Os resultados alcançados com as avaliações de temperatura, apresentaram uma diferença de 0,17 °C entre o valor mínimo (36,94 °C) e máximo (37,11 °C) das 3 avaliações. Sendo que, 0,17 °C corresponde a 0,459% de oscilação total da temperatura média geral de 37,01°C.

Os gráficos 2, 4 e 6, mostram que a CC sofre uma perda térmica de seis graus a cada dois minutos em média, que, atingindo a temperatura mínima programada no termostato, dá início ao aquecimento interno ao acionar os sopradores térmicos. Isto indica que o isolamento térmico precisa ser revisto e melhorado.

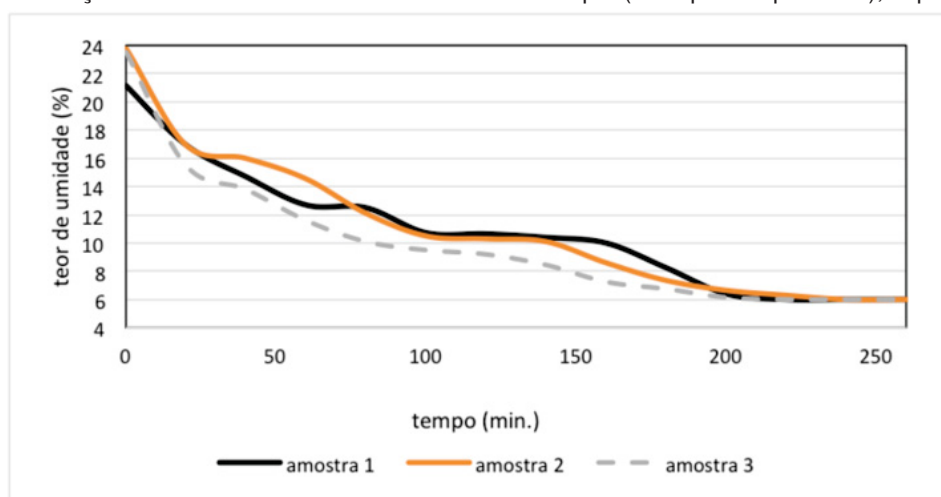
4.3 Avaliação do desempenho da secagem das amostras com a câmara climática

A avaliação do desempenho de secagem da câmara climática proposta neste experimento, aconteceu no dia 21 de dezembro de 2020, sob as seguintes condições climáticas no ambiente de medição: 22°C de temperatura e 72% de umidade relativa do ar.

4.3.1 Secagem das amostras de maple (*acer pseudoplatanus*)

O Gráfico 8, o Gráfico 9 e o Gráfico 10 a seguir, mostram os resultados obtidos com as amostras de **maple** (*acer pseudoplatanus*). Os teores de umidade apresentados no Gráfico 8, a seguir, foram obtidos por meio de um medidor de umidade de agulha.

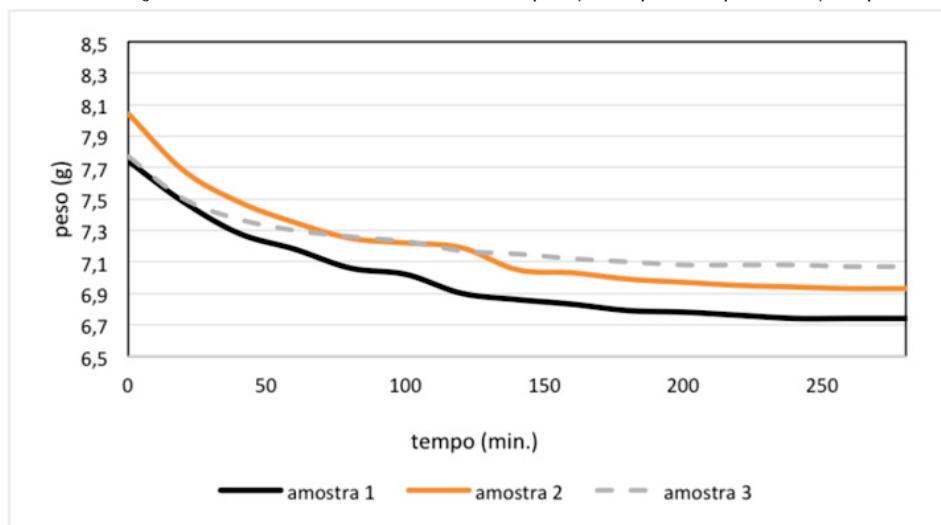
Gráfico 8 – Redução do teor de umidade das amostras de maple (*Acer pseudoplatanus*), expressa em (%)



Elaborado pelo autor

Tabela 24 – Redução do teor de umidade TU das amostras de maple apresentadas no gráfico 8

Amostras de maple	TU inicial em (%)	TU final em (%)	Total de TU reduzido em (%)	Total de horas (h) para atingir o TU programado
1	21,1	6	14,7	4,16
2	23,8	6	17,5	4,16
3	23,5	6	17,35	4,16

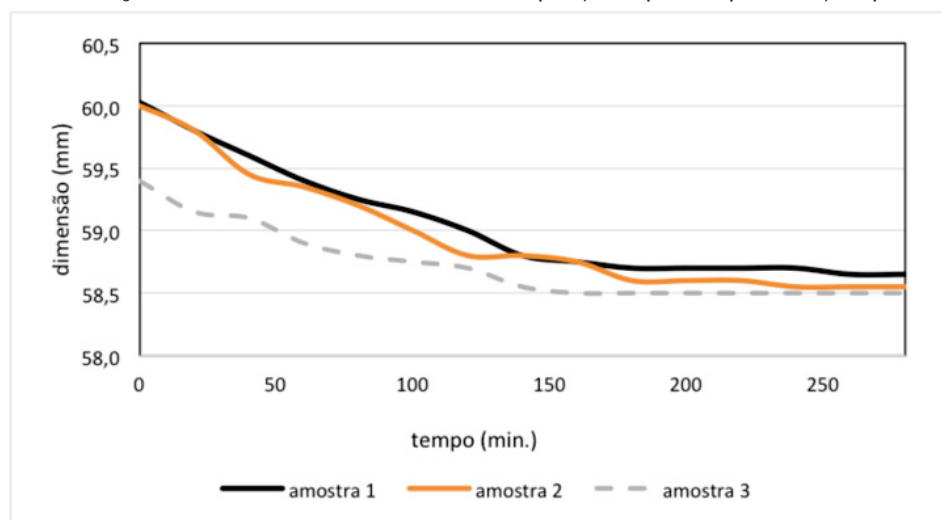
Gráfico 9 – Redução de massa das amostras de maple (*Acer pseudoplatanus*), expressa em (g)

Elaborado pelo autor

Tabela 25 – Redução de massa das amostras de maple apresentadas no gráfico 9

Amostras de maple	Peso inicial em (gr)	Peso final em (gr)	Total de redução de massa em (gr)	Total de horas (h) para estabilizar o peso
1	7,74	6,74	1,0	4,16
2	8,04	6,93	1,11	4,16
3	7,77	6,7	1,07	4,16

Elaborada pelo autor

Gráfico 10 – Redução dimensional das amostras de maple (*Acer pseudoplatanus*), expressa em (mm)

Elaborado pelo autor

Tabela 26 – Redução dimensional das amostras de maple apresentadas no gráfico 10, medidas tomadas conforme o sentido do corte radial (r)

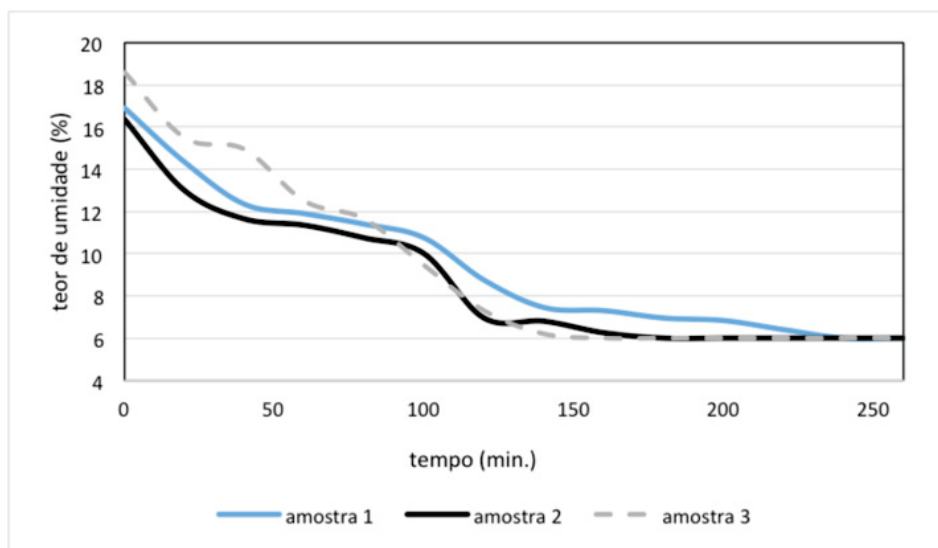
Amostras de maple	Medida inicial em (mm)	Medida final em (mm)	Total de redução das medidas em (mm)	Total de horas (h) para estabilizar as medidas
1	60,3	58,7	1,6	4,33
2	60	58,55	1,45	4,33
3	59,4	58,5	0,9	4,33

Elaborada pelo autor

4.3.2 Secagem das amostras de jacarandá (*dalbergia nigra*)

O Gráfico 11, o Gráfico 12 e o Gráfico 13 a seguir, mostram os resultados obtidos com as amostras de **jacarandá** (*Dalbergia nigra*).

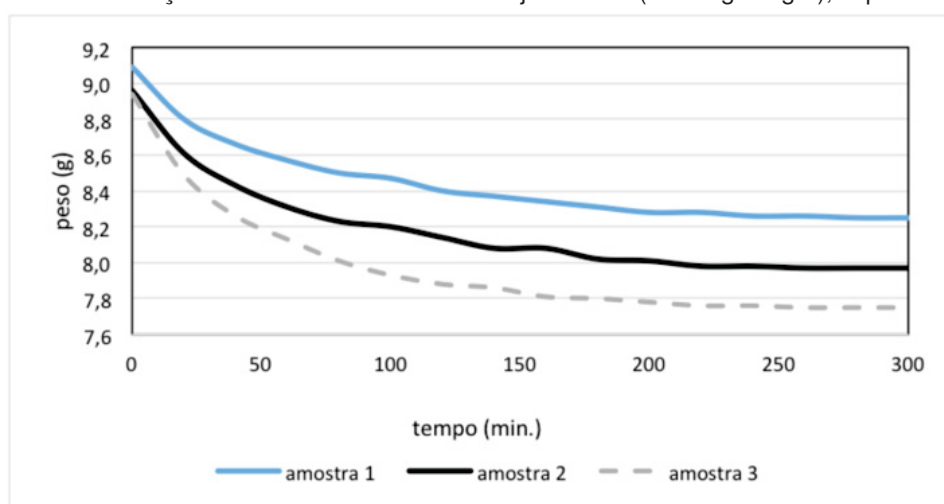
Gráfico 11 – Redução do teor de umidade das amostras de jacarandá (*Dalbergia nigra*), expressa em (%)



Elaborado pelo autor

Tabela 27 – Redução do teor de umidade TU das amostras de jacarandá apresentadas no Gráfico 11

Amostras de jacarandá	TU inicial em (%)	TU final em (%)	Total de TU reduzido em (%)	Total de horas (h) para atingir o TU programado
1	16,9	6,0	10,9	4,33
2	16,35	6,0	10,35	4,33
3	18,6	6,0	12,6	4,33

Gráfico 12 – Redução de massa das amostras de jacarandá (*Dalbergia nigra*), expressa em (g)

Elaborado pelo autor

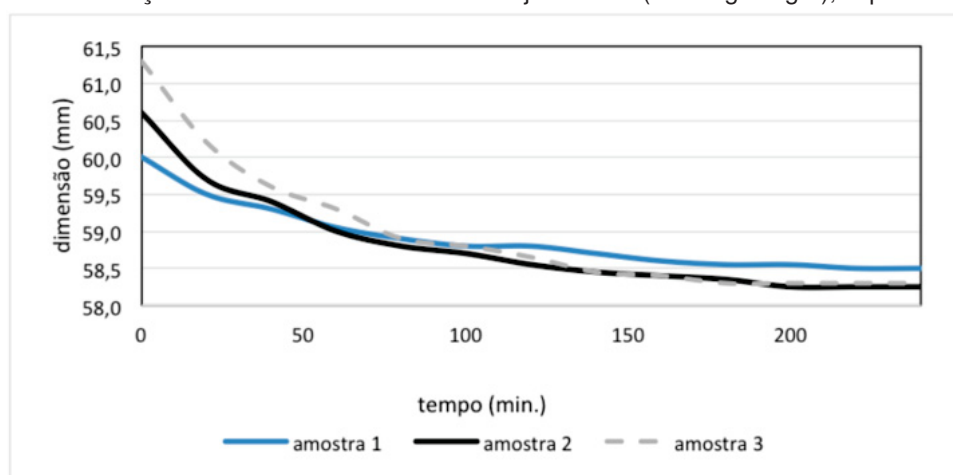
Tabela 28 – Redução de massa das amostras de jacarandá apresentadas no gráfico 12

Amostras de jacarandá	Peso inicial em (gr)	Peso final em (gr)	Total de redução de massa em (gr)	Total de horas (h) para estabilizar o peso
1	9,09	8,26	0,83	4,33
2	8,96	7,97	0,99	4,33
3	8,94	7,75	1,19	4,33

Amostras de jacarandá	Peso inicial em (gr)	Peso final em (gr)	Total de redução de massa em (gr)	Total de horas (h) para estabilizar o peso
-----------------------	----------------------	--------------------	-----------------------------------	--

Elaborada pelo autor

Gráfico 13 – Redução dimensional das amostras de jacarandá (*Dalbergia nigra*), expressa em (mm)



Elaborado pelo autor

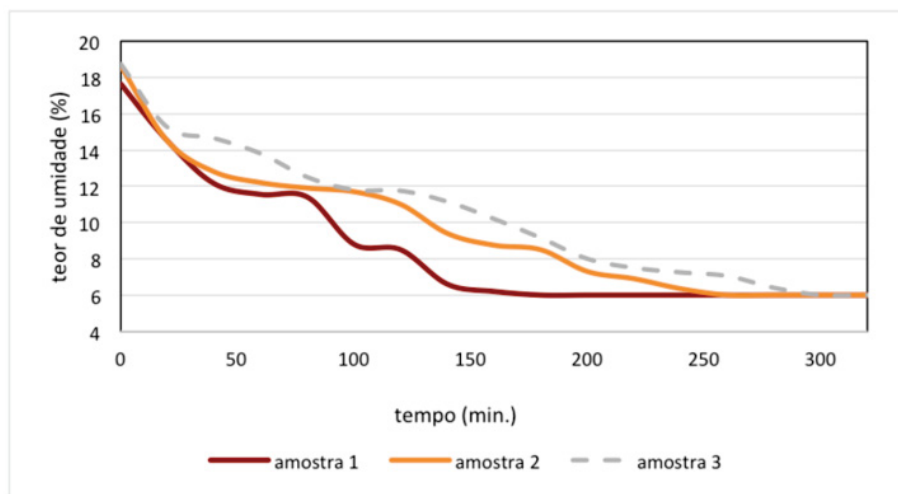
Tabela 29 – Redução dimensional das amostras de jacarandá apresentadas no gráfico 13, medidas tomadas conforme o sentido do corte radial (r) e tangencial (t)

Amostras de jacarandá	Medida inicial em (mm)	Medida final em (mm)	Total de redução das medidas em (mm)	Total de horas (h) para estabilizar as medidas
1 (r)	60	58,5	1,5	4,33
2 (r)	60,6	58,25	2,35	4,33
3 (t)	61,3	58,30	3	4,33

Elaborada pelo autor

4.3.3 Secagem das amostras de imbuia (*ocotea porosa*)

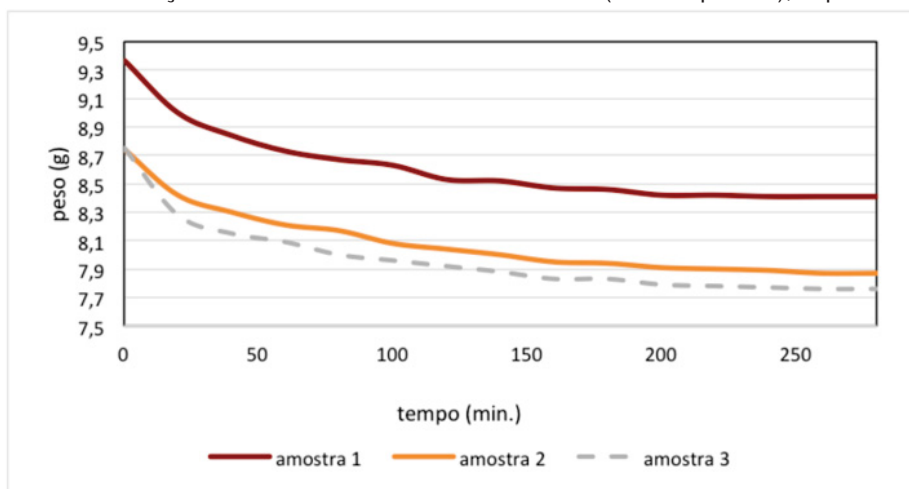
O Gráfico 14, o Gráfico 15 e o Gráfico 16 a seguir, mostram os resultados obtidos com as amostras de **imbuia** (*Ocotea porosa*)

Gráfico 14 – Redução do teor de umidade das amostras de imbuia (*Ocotea porosa*), expressa em (%)

Elaborado pelo autor

Tabela 30 – Redução do teor de umidade TU das amostras de imbuia apresentadas no Gráfico 14

Amostras de imbuia	TU inicial em (%)	TU final em (%)	Total de TU reduzido em (%)	Total de horas (h) para atingir o TU programado
1	17,6	6,0	11,6	4,66
2	18,6	6,0	12,6	4,66
3	18,7	6,0	12,7	5

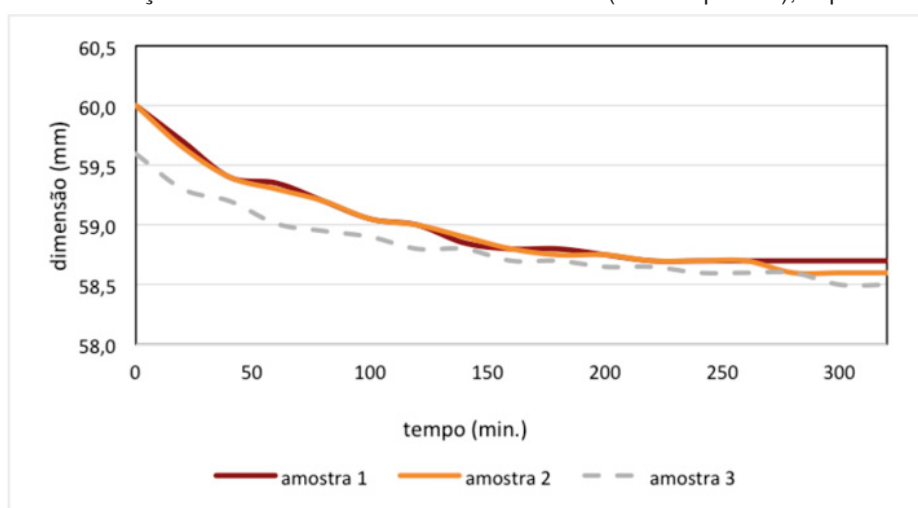
Gráfico 15 – Redução de massa das amostras de imbuia (*Ocotea porosa*), expressa em (g)

Elaborado pelo autor

Tabela 31 – Redução de massa das amostras de imbuia apresentadas no gráfico 15

Amostras de imbuia	Peso inicial em (gr)	Peso final em (gr)	Total de redução de massa em (gr)	Total de horas (h) para estabilizar o peso
1	9,37	8,41	0,96	4,33
2	8,74	7,87	0,87	4,33
3	8,75	7,76	0,99	4,33

Elaborada pelo autor

Gráfico 16 – Redução dimensional das amostras de imbuia (Ocotea porosa), expressa em (mm)

Elaborado pelo autor

Tabela 32 – Redução dimensional das amostras de imbuia apresentadas no gráfico 16, medidas tomadas conforme o sentido do corte radial (r)

Amostras de imbuia	Medida inicial em (mm)	Medida final em (mm)	Total de redução das medidas em (mm)	Total de horas (h) para estabilizar as medidas
1	60	58,7	1,3	5

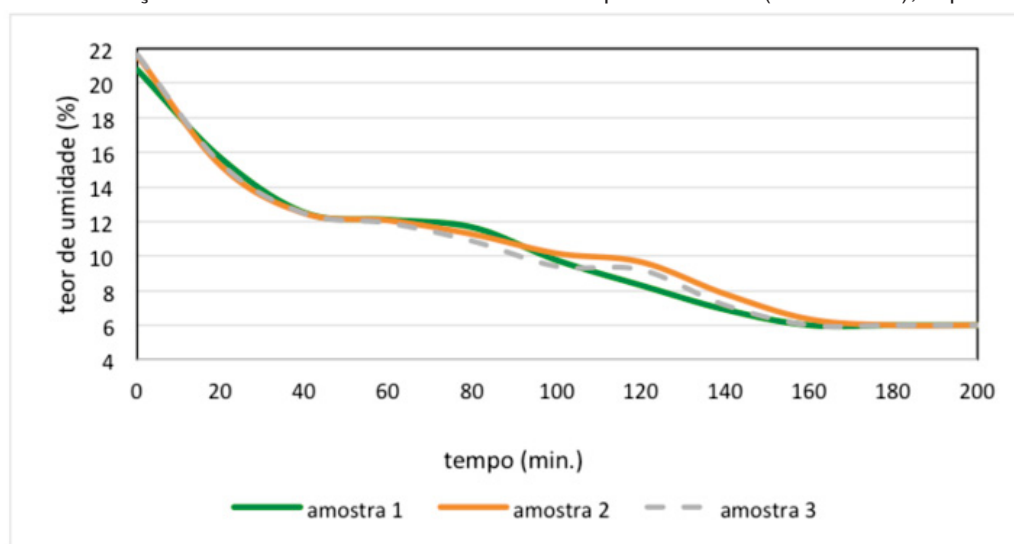
Amostras de imbuia	Medida inicial em (mm)	Medida final em (mm)	Total de redução das medidas em (mm)	Total de horas (h) para estabilizar as medidas
2	60	58,6	1,4	5
3	59,6	58,5	1,1	5,33

Elaborada pelo autor

4.3.4 Secagem das amostras de pinho alemão (*picea abies*)

O Gráfico 17, o Gráfico 18 e o Gráfico 19 a seguir, mostram os resultados obtidos com as amostras de **pinho alemão** (*Picea abies*).

Gráfico 17 – Redução do teor de umidade das amostras de pinho alemão (*Picea abies*), expressa em (%)

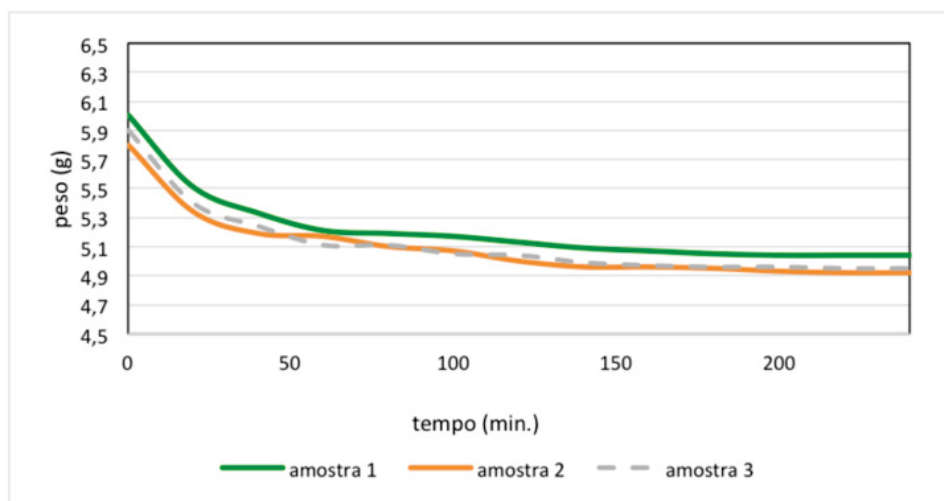


Elaborado pelo autor

Tabela 33 – Redução do teor de umidade TU das amostras de pinho alemão apresentado no Gráfico 17

Amostras de pinho alemão	TU inicial em (%)	TU final em (%)	Total de TU reduzido em (%)	Total de horas (h) para atingir o TU programado
1	20,75	6,0	14,75	3

Amostras de pinho alemão	TU inicial em (%)	TU final em (%)	Total de TU reduzido em (%)	Total de horas (h) para atingir o TU programado
2	21,6	6,0	15,6	3
3	21,65	6,0	15,65	3

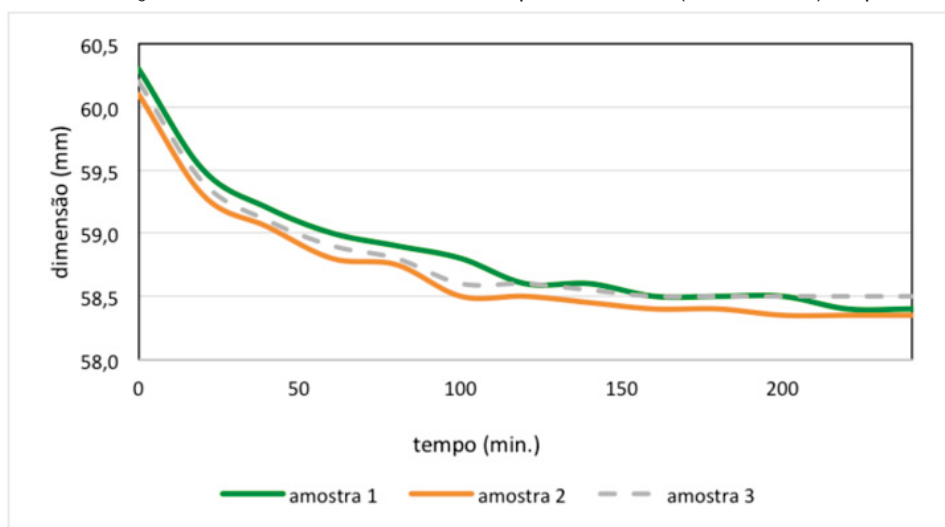
Gráfico 18 – Redução de massa das amostras de pinho alemão (*Picea abies*), expressa em (g)

Elaborado pelo autor

Tabela 34 – Redução de massa das amostras de pinho alemão apresentado no gráfico 18

Amostras de pinho alemão	Peso inicial em (gr)	Peso final em (gr)	Total de redução de massa em (gr)	Total de horas (h) para estabilizar o peso
1	6	5,03	0,7	3,66
2	5,80	4,92	0,88	3,66
3	5,90	4,95	0,95	3,66

Elaborada pelo autor

Gráfico 19 – Redução dimensional das amostras de pinho alemão (*Picea abies*), expressa em (mm)

Elaborado pelo autor

Tabela 35 – Redução dimensional das amostras de pinho alemão apresentado no gráfico 19, medidas tomadas conforme o sentido do corte radial (r)

Amostras de pinho alemão	Medida inicial em (mm)	Medida final em (mm)	Total de redução das medidas em (mm)	Total de horas (h) para estabilizar as medidas
1	60,3	58,4	1,9	4
2	60,1	58,35	1,75	4
3	60,2	58,5	1,7	4

Elaborada pelo autor

4.3.5 Avaliação dos resultados com a secagem das amostras empregando os medidores resistivos e capacitivos

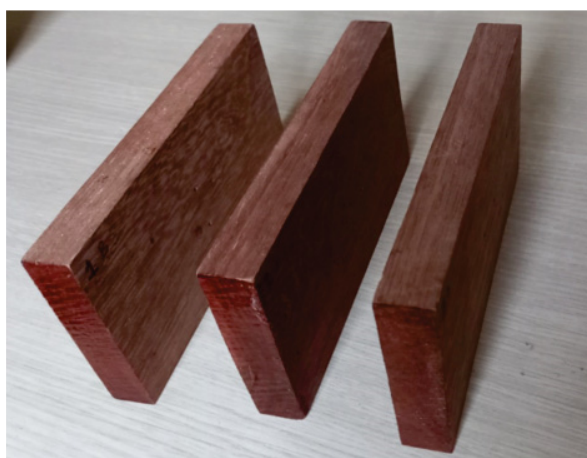
Constatou-se com o método gravimétrico, que o resultado obtido de 6% no teor de umidade final de todas as 4 espécies de madeira (12 amostras) não correspondiam a realidade. As avaliações do teor de umidade foram realizadas com um medidor resistivo de agulha, o aparelho empregado na pesquisa não apresenta resultados confiáveis com teores de umidade inferiores à (9%). Como mostra a tabela 43, as amostras atingiram umidade de equilíbrio (UE) entre 7,54% e 8,77%, portanto, o medidor resistivo de agulha acusou em média 2,16% de TU inferior ao resultado obtido pelo método gravimétrico.

O medidor de umidade capacitivo utilizado nas amostras de cedro foi mais preciso acusando uma pequena diferença, porém, com valor médio maior em 0,65% de TU.

4.3.6 Secagem das amostras de cedro (*cedrela spp.*) com a câmara climática

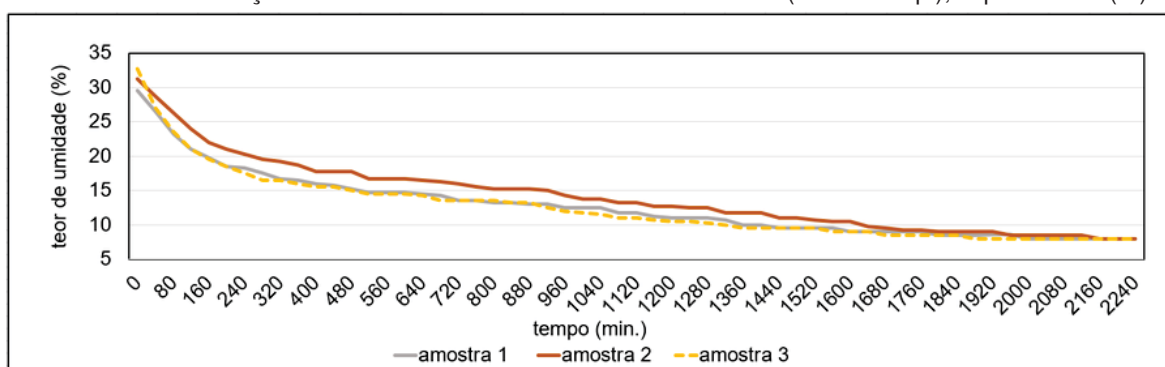
O experimento de secagem com as 3 amostras de cedro (*cedrela spp.*) na Figura 97, foi realizada no dia 29 de dezembro de 2020, sob as seguintes condições climáticas no ambiente de medição: 25,5°C de temperatura e 68% de umidade relativa do ar. Para as verificações do teor de umidade das amostras de cedro foi utilizado um medidor capacitivo.

Figura 97 – Amostras de cedro confeccionadas para a pesquisa



Elaborada pelo autor

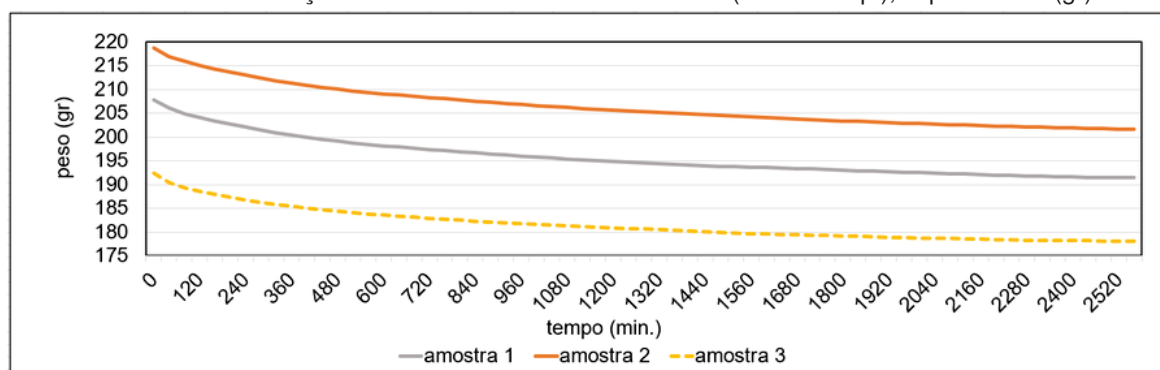
Gráfico 20 – Redução do teor de umidade das amostras de cedro (*Cedrela spp.*), expressa em (%)



Elaborado pelo autor

Tabela 36 – Redução do teor de umidade TU das amostras de cedro apresentadas no gráfico 20

Amostras de cedro	TU inicial em (%)	TU final em (%)	Total de TU reduzido em (%)	Total de horas (h) para atingir o TU programado
1	29,50	9	20,50	37,33
2	31,25	10	21,25	37,33
3	32,75	9	23,75	37,33

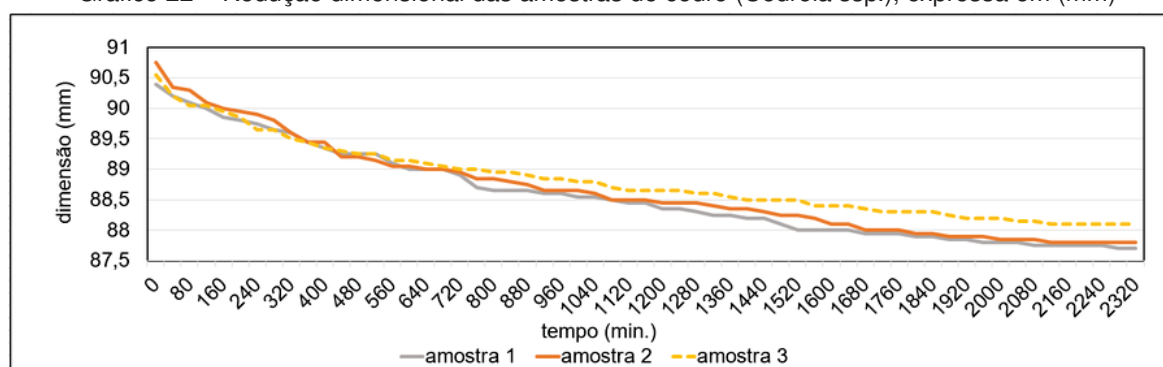
Gráfico 21 – Redução de massa das amostras de cedro (Cedrela ssp.), expressa em (gr)

Elaborado pelo autor

Tabela 37 – Redução de massa das amostras de cedro apresentadas no gráfico 21

Amostras de cedro	Peso inicial em (gr)	Peso final em (gr)	Total de redução de massa em (gr)	Total de horas (h) para estabilizar o peso
1	207,87	191,48	16,39	42
2	218,77	201,63	17,14	42
3	192,46	178,12	14,34	42

Elaborada pelo autor

Gráfico 22 – Redução dimensional das amostras de cedro (*Cedrela ssp.*), expressa em (mm)

Elaborado pelo autor

Tabela 38 – Redução dimensional das amostras de cedro apresentadas no gráfico 22, medidas tomadas conforme o sentido do corte tangencial (t)

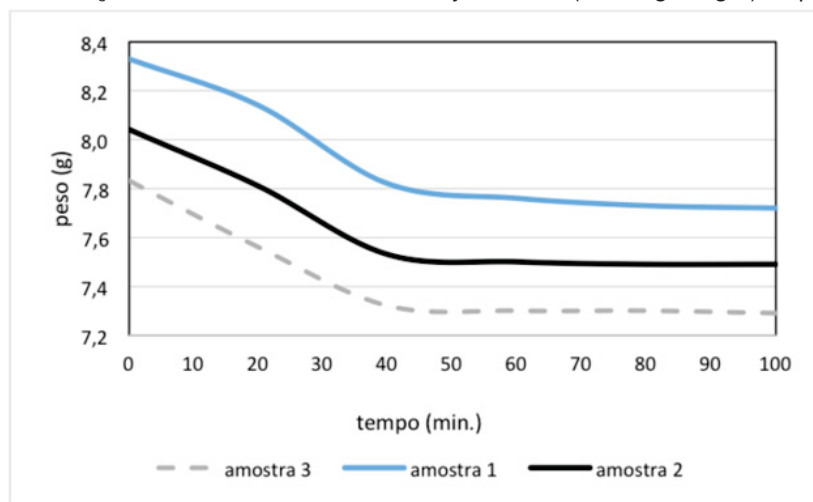
Amostras de cedro	Medida inicial em (mm)	Medida final em (mm)	Total de redução das medidas em (mm)	Total de horas (h) para estabilizar as medidas
1	90,4	87,7	2,7	38,66
2	90,75	87,8	2,95	38,66
3	90,55	88,1	2,45	38,66

Elaborada pelo autor

4.3.7 Resultados dos testes gravimétricos das amostras

Como procedimento de validação para o processo de secagem com a câmara climática, as amostras foram submetidas ao teste gravimétrico no laboratório de secagem da madeira do Departamento de Engenharias e Tecnologia Florestal da Universidade Federal do Paraná. As 12 amostras de (maple, jacarandá, imbuia e pinho) foram colocadas em uma estufa, com temperatura entre $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, tendo o peso verificado a cada 20 minutos. Posteriormente as amostras de cedro passaram pela mesma condição de temperatura e procedimento, sendo pesadas a cada 30 minutos. Todas as amostras foram mantidas e pesadas até que não se verificasse mudanças na leitura do peso, superiores a 0,05g num intervalo de 1 hora.

Os Gráficos 23, 24, 25, 26 e 27 a seguir, correspondem sucessivamente aos resultados obtidos com a gravimetria das amostras de (jacarandá, imbuia, pinho, maple e cedro).

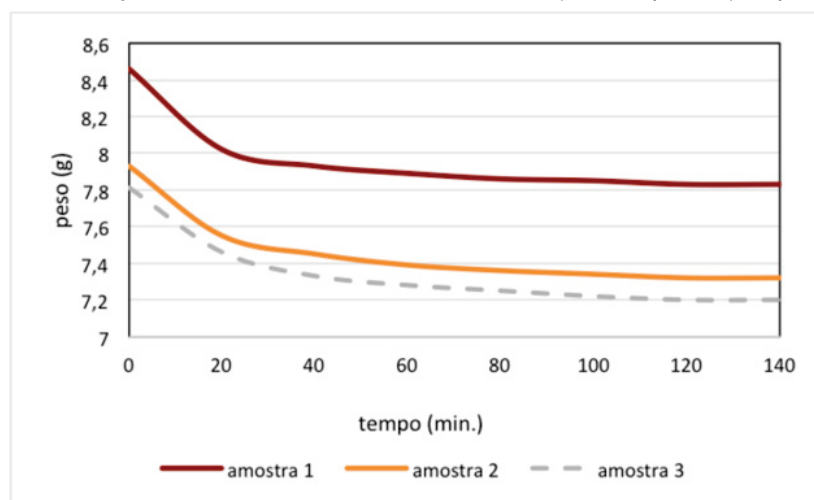
Gráfico 23 – Redução de massa das amostras de jacarandá (*Dalbergia nigra*), expressa em (g)

Elaborado pelo autor

Tabela 39 – Redução de massa das amostras de Jacarandá apresentadas no gráfico 23

Amostras	Massa Inicial em (gr)	Massa final em (gr)	Perda total de massa em (gr)	Tempo decorrido até a estabilização do peso em (min)
1	8,33	7,72	0,61	100
2	8,04	7,49	0,55	100
3	7,83	7,29	0,54	100

Elaborado pelo autor

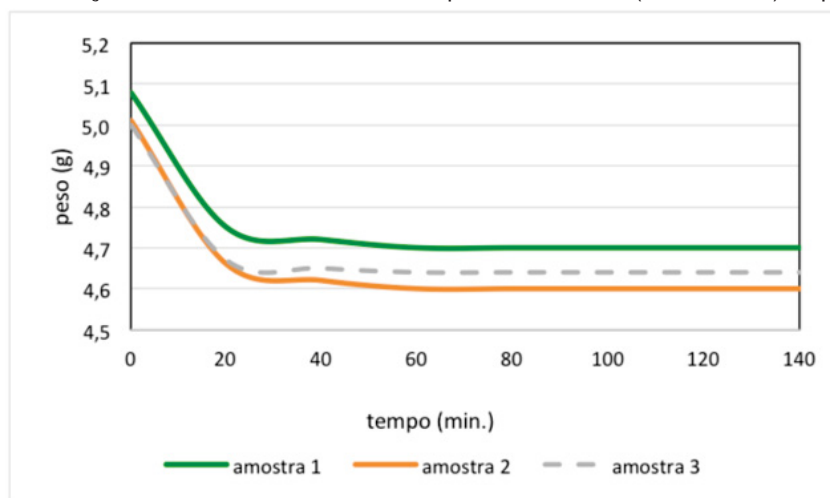
Gráfico 24 – Redução de massa das amostras de imbuia (*Ocotea porosa*), expressa em (g)

Elaborado pelo autor

Tabela 40 – Redução de massa das amostras de imbuia apresentadas no gráfico 24

Amostras	Massa Inicial em (gr)	Massa final em (gr)	Perda total de massa em (gr)	Tempo decorrido até a estabilização do peso em (min)
1	8,46	7,83	0,63	140
2	7,93	7,32	0,61	140
3	7,81	7,20	0,61	140

Elaborado pelo autor

Gráfico 25 – Redução de massa das amostras de pinheiro alemão (*Picea abies*), expressa em (g)

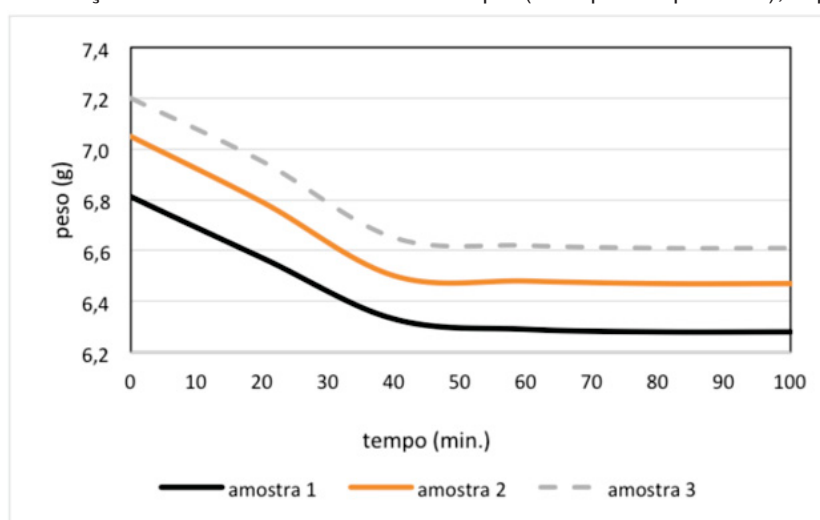
Elaborado pelo autor

Tabela 41 – Redução de massa das amostras de pinho alemão apresentadas no gráfico 25

Amostras	Massa Inicial em (gr)	Massa final em (gr)	Perda total de massa em (gr)	Tempo decorrido até a estabilização do peso em (min)
1	5,08	4,70	0,38	60
2	5,01	4,60	0,41	60
3	5,00	4,64	0,36	60

Elaborado pelo autor

Gráfico 26 – Redução de massa das amostras de maple (*Acer pseudoplatanus*), expressa em (g)



Elaborado pelo autor

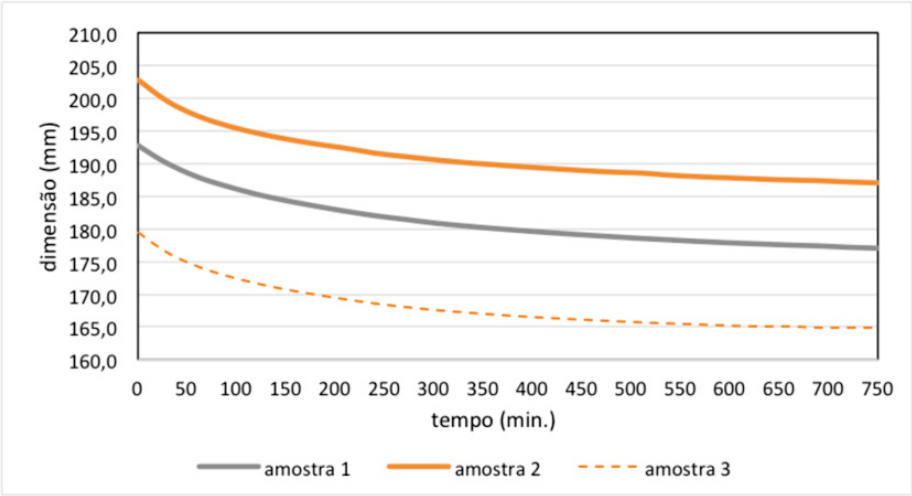
Tabela 42 – Redução de massa das amostras de maple apresentadas no gráfico 26

Amostras	Massa Inicial em (gr)	Massa final em (gr)	Perda total de massa em (gr)	Tempo decorrido até a estabilização do peso em (min)
1	6,81	6,28	0,53	60
2	7,05	6,47	0,58	60

Amostras	Massa Inicial em (gr)	Massa final em (gr)	Perda total de massa em (gr)	Tempo decorrido até a estabilização do peso em (min)
3	7,20	6,61	0,59	60

Elaborado pelo autor

Gráfico 27 – Redução de massa das amostras de cedro (Cedrela ssp.), expressa em (g)



Elaborado pelo autor

Tabela 43 – Redução de massa das amostras de cedro apresentadas no gráfico 27

Amostras	Massa Inicial em (gr)	Massa final em (gr)	Perda total de massa em (gr)	Tempo decorrido até a estabilização do peso em horas (h)
1	192,67	177,05	15,63	12,5
2	202,80	187,04	15,76	12,5
3	179,43	164,90	14,53	12,5

Elaborado pelo autor

4.3.8 Avaliação geral dos resultados de secagem

Para constatar o resultado do teor de umidade de equilíbrio (UE) das amostras, proporcionado pelo protótipo de câmara climática, empregou-se a seguinte fórmula:

$$TU = \frac{PU - PS}{PS} \times 100(\%)$$

Onde: TU = Teor de umidade da amostra (%), PU = Peso úmido da amostra (gr) e PS = Peso seco da amostra (gr).

Para o conjunto das amostras temos, os seguintes resultados, apresentados na Tabela 44.

Tabela 44 – Teores de umidade de equilíbrio (UE), atingidos pelas amostras

Nome popular	Nome científico	Amostra nº	Teor de (UE) alcançado por amostra	Média do teor de (UE) alcançado
Maple	<i>acer pseudoplatanus</i>	1ª	8,44%	8,77%
		2ª	8,96%	
		3ª	8,92%	
Jacarandá	<i>dalbérkia nigra</i>	1ª	7,90%	7,54%
		2ª	7,34%	
		3ª	7,40%	
Imbuia	<i>ocotea porosa</i>	1ª	8,04%	8,28%
		2ª	8,33%	
		3ª	8,47%	
Pinho	<i>picea abies</i>	1ª	8,08%	8,25%
		2ª	8,91%	
		3ª	7,75%	
Cedro	<i>cedrela spp.</i>	1ª	8,82%	8,68%
		2ª	8,42%	
		3ª	8,81%	
Mínimo e máximo teor de (UE), 7,34% e 8,96%. Diferença de 1,62% de (UE)				
Média geral de teor de umidade de equilíbrio (UE) das amostras:				
8,30%				

Elaborada pelo autor

5 CONCLUSÃO

O desempenho da câmara climática, como equipamento para a redução da umidade da madeira, depende de três fatores que ocorrem conjuntamente em seu interior: circulação do ar, teor de umidade e temperatura. Esta, deve simular condições climáticas específicas (pré-programadas) que forçam as madeiras em seu interior a entrar novamente em equilíbrio higroscópico.

As flutuações na velocidade do ar no interior da câmara climática mantiveram a média da circulação em 0,36 m/s, com valores totais muito próximos entre os 12 pontos de medição distribuídos pela área de trabalho no interior da CC. Esta média de velocidade, conforme apresenta na tabela 7 no capítulo 2.4.12, encontra-se entre a secagem com **circulação natural do ar** e a **secagem a baixa temperatura ou pré-secador** e mostrou-se muito eficiente pois, a temperatura no interior da CC estava limitada a $40\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ como descrito no final do capítulo 2. 4. 12, e não alcançaria os $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ indicados como temperatura inicial para os processos de secagem industrial.

O controle do teor de umidade relativa do ar no processo de secagem com a CC se deve a adaptação do secador de ar, este manteve a média de 35,5%. O ar que circula no interior da CC é continuamente forçado a passar pelo desumidificador, retornando para a base do estrado na figura 77. Este aparelho é programado para atuar em um espaço de 150 m^3 tornando-o muito eficiente dentro do espaço interno da CC com cerca de $2,2\text{ m}^3$.

Dentre os três fatores necessários para o desempenho da CC, o controle da temperatura foi a mais simples de ser instalado e controlado. Os sopradores térmicos na figura 71, respondem muito prontamente aos comandos do termostato e o bom aproveitamento do calor depende exclusivamente da qualidade do isolamento térmico da câmara de aclimação e do desumidificador de ar. O controle de temperatura mesmo tendo que ser acionado em curtos espaços de tempo, por perder em média $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ a cada 2 minutos, manteve nas 3 medições programadas a temperatura em quase exatos $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ (média de $37,01\text{ }^{\circ}\text{C}$). Conforme mostra a figura 96, apresentou uma variação de $0,16\text{ }^{\circ}\text{C}$ entre o valor mínimo e o máximo.

Os resultados apresentados na secagem das amostras estão plenamente de acordo com o pretendido. Ficaram dentro das médias para os ambientes internos: Italiana, Francesa e Escandinava, sugeridas por Marchi (1983), com variação entre **8 e 12%**, e com as médias sugeridas por Bergman (2010), para a maioria dos estados nos EUA incluindo as áreas

costeiras úmidas, variando entre **8 e 13%**.

O tempo de secagem em CC das amostras de madeiras utilizadas na confecção da caixa de ressonância não apresentou surpresa alguma. Na literatura encontramos as características de secagem de cada espécie de madeira e, como era esperado, o menor tempo de secagem ocorreu com as amostras de pinho com respectivamente 3 e 4 horas. A que necessitou de mais tempo foi a imbuia, chegando a 5:33 horas.

As medidas de espessura das amostras estão muito próximas das espessuras finais, mas ainda estão mais espessas do que as empregadas na montagem do instrumento, portanto, o ponto desejado de umidade de equilíbrio final será alcançado em um tempo ainda menor.

5.1 Teste piloto

Como mostra a Figura 98, para corroborar com a eficiência o processo sugerido neste trabalho, foi montada uma caixa acústica de violão dentro dos limites estabelecidos de temperatura ($35\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $40\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$) e teor de umidade relativa média em 40%. Esta caixa de ressonância foi concluída mantendo-se muito estável não apresentando até este momento qualquer problema com as colagens¹ ou deformações de qualquer espécie nas madeiras.

Figura 98 – Caixa acústica de violão confeccionada conforme o processo sugerido neste trabalho



Elaborada pelo autor

¹ **Colas da luteria**, para testar a resistência das colas, foram utilizadas duas das colas mais empregadas na luteria, uma à base em proteína (gelatina animal) e outra de (resina alifática).

Acredito que a boa estabilidade da caixa acústica da figura 98, se deve também ao nivelamento do teor de umidade de equilíbrio entre seus componentes. Com o mesmo teor de umidade de equilíbrio, as partes componentes da caixa de ressonância mantiveram uma proporção de inchamento e retração sem grandes diferenças entre elas.

Durante o processo de confecção artesanal, o luthier muitas vezes não consegue manter o ambiente de trabalho com temperatura e umidade, dentro de limites que favoreçam a estabilidade da madeira que está sendo trabalhada, isso certamente fará com que as partes que compõem seus instrumentos sejam montadas com diferentes teores de umidade e desta forma temos uma espécie de “conflito dimensional” entre elas. Peças mais úmidas (inchadas) unidas às peças mais secas (retraídas) que, durante o processo de ajuste higroscópico às oscilações do clima, poderão gerar tensões muito fortes entre as próprias peças e, desta forma, criar tensões prejudiciais para a estrutura e o desempenho acústico do instrumento.

5.2 Aprimoramentos necessários

Inicialmente acreditei que aproveitando o calor gerado pelo dissipador de calor do desumidificador (item D da Figura 91), reduziria o consumo de eletricidade com os sucessivos acionamentos dos sopradores térmicos. Porém, com o uso contínuo do desumidificador o calor removido do dissipador se acumula no interior da câmara e gradualmente se torna excessivo. Aconselho para uma versão mais atualizada da CC, a remoção deste componente interno do sistema de ar. Que se mantenha apenas o condensador de umidade (Item E da Figura 91) próximo à hélice do ventilador, preservando a função de manter o ar em movimento. Porém, para preservar o funcionamento do dissipador de calor fora do sistema de ar, seria necessário incorporar a este, outro ventilador. Desta forma, acredito que seria possível fazer ajustes de umidade final das madeiras, com opções de temperatura mais baixas.

O isolamento térmico também precisa ser melhorado, 50 mm de EPS e uma chapa de compensado naval de 10 mm não se mostraram muito eficientes. Aconselho que se dobre a espessura do material isolante, pois, as correções de temperatura interna se davam em curtos espaços de tempo, o que gera mais despesa com eletricidade. Aconselho colocar entre duas chapas de compensado naval de 10 mm, 100 mm de EPS com maior densidade e internamente, fazer o isolamento da madeira com tinta epóxi.

5.2.1 Relação e custo dos equipamentos utilizados na operação da câmara climática

Na Tabela 45, estão relacionados os instrumentos fixos que operam a câmara climática, adquiridos no comércio local e pela internet, adquiridos conforme o critério de baixo custo e confiabilidade. As especificações dos aparelhos foram fornecidas pelo revendedor ou fabricante.

Tabela 45 – Relação dos equipamentos eletrônicos e de medição da câmara climática

Item	Especificações	Valores em reais (janeiro de 2021)
Termohigrometro digital	Display: LCD. Faixa de medição: -40 °C ~ 70 °C. Umidade Relativa: 0% ~ 100%. Resposta de medição de Umidade: cerca de 4 segundos. Medição de Temperatura: de 5 a 30 segundos. Temperatura de Operação: 0 °C ~ +50 °C. Temperatura de Armazenamento: -10 °C ~ +60 °C. Tamanho: 32 X 9.2 X 2.5cm. Peso: cerca de 155g (incluindo 2 pilhas AAA). Precisão: 20 °C ~ 30 °C ±0.5° / C 30 °C ~ 40 °C ±1 °C / 40 °C ~ 50 °C ±1.25 °C. Resolução: 0.01C°	190,00
Marca / modelo: INSTRUTEMP / ITHT2210		Quantidade: 1
Item2	Especificações	Valor
Termômetro químico de mercúrio	Escala: interna - 10 °C a + 60 °C; Divisão: 1 °C; Capilar: transparente; Enchimento: Hg; Material: vidro; Diâmetro: 7-8 mm; Comprimento: 200 mm;	68,00
Marca / modelo: INCOTERM /HG 5002	Imersão: total; Limite de erro: ±1.	Quantidade: 1

Item	Especificações	Valores em reais (janeiro de 2021)
Item 3	Especificações	Valor
Termostato digital Marca / modelo: BIGENG/ W1209	Faixa de medição: -50 °C ~ +110 °C.Precisão: 0.1 °C.Taxa de atualização: 0.5 seg.Tensão de entrada: DC12V.Entrada de medição: ntc (10 k 0.5%).Sensor do tipo à prova d' água.Saída: relé NA 10A / 250V / AC.Requisitos ambientais: -10 °C ~ 60 °C.Umididade: 20% ~ 85%	34,00 Quantidade: 1
Item 4	Especificações	Valor
Desumidificador de ar Marca / modelo: ARSEC/ 160	Reservatório para a água recolhida com capacidade de 3 Litros. Controlador de umidade "Umidostato". Chave liga-desliga evita alteração na regulação do umidostato. Lâmpada piloto avisa quando reservatório está cheio. Retirando até 12 litros de água por dia (variando de acordo com a umidade do ambiente). Voltagem 110V ou 220V 60HZ, c/fio terra. Modelo 160, para ambientes de até 150 m³ =50m².Dimensões: (A) 44 X (L) 30 X.(P) 38.	1.840,00 Quantidade: 1
Item 5	Especificações	Valor
<i>Coolers</i> Marca /modelo: DEX/ DX-12L	Cooler de 17X120X120 mm. Luzes de iluminação (LED). Acrílico. Alimentação da fonte com pino de 12V (qualquer saída compatível). 1100 RPM +/-10%. Cor do LED: Branco.Peso c/ embalagem 140 gr.	30,90 Quantidade: 8

Item	Especificações	Valores em reais (janeiro de 2021)
Item 6	Especificações	Valor
Secador de cabelo		
Marca / modelo:	Potência 1900W. Consumo 1,88Kw/h.Design Emborrachado.2 velocidades de ventilação.3 temperaturas.Botão de ar frio	75,00
MONDIALPOWER SHINE / SC13		Quantidade: 2
Item 7	Especificações	Valor
Umidostato		
Marca e modelo:	Tensão de alimentação: 90 - 250v AC. Medição da umidade relativa: 0% - 99%. Precisão de controle de umidade: 0,1%. Precisão de medição: 2%. Potência suportada: 1500W. Tipo de saída: Direta.. Intervalo da furação: 73 mm. Tamanho: 60 x 45 x 31 mm. Tamanho do fio do sensor: 1,5 metros	130,00
DIYMORE XH-W3005		Quantidade: 1
Total		R\$ 2.659,20

Elaborada pelo autor

5.2.2 Relação e custo dos materiais utilizados na confecção da câmara climática.

Tabela 46 – Relação e custo dos materiais utilizados na confecção da câmara climática.

Item	Descrição	Quantidade	Valores em reais (janeiro de 2021)
1	Compensado Naval 10 mm, 2200 cm x 1600cm x 1,0 cm	2	320,00

Item	Descrição	Quantidade	Valores em reais (janeiro de 2021)
2	Tubo de 100 mm e duas curvas de 100 mm	1 metro de tubo e 2 curvas	99,00
3	Táboas de madeira (cambará) para o estrado e a junção das chapas de compensado (2500cmx 30 cm x 25 mm)	2	140,00
4	Manta térmica aluminizada	10 metros	200,00
5	Tela de aramida (filó de armação)	5,5 metros	85,00
6	Placas de isopor 100 cm x 50 cm x 25 mm	38	250,00
7	Vidro (janela) 60,5 cm x 32 cm x 3 mm	2	60,00
8	Parafuso para Madeira Cabeça Chata Phillips 3,5 x 22 mm - 500 unidades, Bicromatizado	1 caixa	18,00
9	Dobradiças para porta, fita adesiva, grampos, pregos, material para a adaptação do desumidificador, colas para madeira e isopor	somados	80,00
Total			1.252,00

5.2.3 Soma dos gastos com o protótipo de câmara climática.

Tabela 47 – Somatória entre os valores dos equipamentos da câmara climática e dos materiais para a confecção da câmara climática.

Equipamentos e materiais	Valores
Valor total dos equipamentos da câmara climática	2.659,20
Valor total dos materiais para a confecção da câmara climática	1.252,00
Total geral	3.911,00

5.2.4 Equipamentos de medição resistivo e capacitivo empregados

Tabela 48 – Medidores de umidade da madeira, modelo, especificações e custo

Medidor resistivo de agulha	Especificações	Valor
	Material: ABS Cor: Cinza	
	Princípio de medição: resistência elétrica, 0% ~ 99,9%rh	
	Precisão: 0,5% rh/Resolução: 0,1 rh	80,00
	Comprimento dos pinos: 10mm	
	Dimensões: 6,5 cm x 3,1 cm x 14,5 cm	
Medidor capacitivo de contato	Especificações	Valor
	Marca/Modelo: Smart Sensor / AS981	
	De alta frequência: Onda eletromagnética de medição	
	Seleção: 10 modos de seleção de densidade de madeira	130,00
	Precisão: (1rh + 0.5)	
	Temperatura de trabalho: 0 ~ 40 °C ou 32 ~ 104	
	Peso /Tamanho: 137g / 77*40*195mm	

REFERÊNCIAS

- AKSO. **Medidor de Umidade de Materiais - AK840**. 2021. Website. Disponível em: <https://loja.akso.com.br/produto/medidor-de-umidade-de-materiais-ak840-458>. Acesso em: 2021.
- ALLORTO, E. *et al.* **La Chitarra**. 1^a. ed. Torino: E. D. T. Edizione di Torino, 1990. 288 p. ISBN 88-7063-081-1.
- ARAÚJO, I. R. **Disciplina de Organologia**: Universidade Do Estado Do Rio Grande Do Norte, Faculdade de Letras e Artes. 2012. Disponível em: http://www.uern.br/professor/arquivo_baixar.asp?arq_id=6869. Acesso em: fevereiro de 2019.
- ARAÚJO, J. N. **Aprendizagem significativa de botânica em laboratórios vivos**. 2014. 229 p. Tese (Educação em Ciências e Matemática) — Universidade Federal de Mato Grosso, Universidade do Estado do Amazonas, Universidade Federal do Pará.
- ARSEC, D. **Desumidificadores de ar**. 2021. Website. Disponível em: <https://arsec.com.br/wp-content/uploads/2019/02/manual-digital-desumidificador.pdf>. Acesso em: fevereiro de 2021.
- ATHOS, E. **Relé – O que é e como funciona**. 2021. Educação online. Disponível em: <https://athoselectronics.com/rele/>. Acesso em: fevereiro de 2021.
- BEAN, K. R. **Seasoning Pianos for Different Climates**. 1999. Revista digital. Disponível em: <https://www.pianofinders.com/techtalk/seasoning.htm>. Acesso em: julho de 2018.
- BERGMAN, R. Drying and Control of Moisture Content and Dimensional Changes Wood handbook. In: USDA (Ed.). **Drying and Control of Moisture Content and Dimensional Changes Wood handbook**. 1^a. ed. Madison: USDA, 2010. cap. 13, p. 292 – 297. Disponível em: <https://www.fs.usda.gov/treearch/pubs/37419>. Acesso em: fevereiro de 2021.
- BOND, B.; ESPINOZA, O.; ARAMAN, P. **Design and Operation of a Solar-Heated Dry Kiln for Tropical Latitudes**. Asheville, 2011. Disponível em: https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/gtr/gtr_srs134.pdf. Acesso em: novembro de 2020.
- BORLAND, M. J. **The effect of humidity and moisture content on the tone of musical instruments**. 2014. 146 p. Tese (Philosophy course) — University Of Waterloo. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10012/8253>. Acesso em: julho de 2018.
- BRITEZ, C. A.; NOGUEIRA, V. **Inter-relação entre as propriedades e a microestrutura das madeiras**: PCC 5726 – Princípios da Ciência dos Materiais Aplicados aos Materiais de Construção Civil. São Paulo, 2006. Disponível em: http://netulio.weebly.com/uploads/9/0/6/6/9066781/madeira_-_ipt_-_microestrutura.pdf. Acesso em: setembro de 2020.
- BROMPTON'S. **Lot 168: A Very Important Spanish Guitar by Antonio de Torres, Almeria 1888**. 2014. Website. Disponível em: <https://www.bromptons.co/auction/27th-october-2014/lots/168-a-very-important-spanish-guitar-by-antonio-de-torres-almeria-1888.html>. Acesso em: janeiro de 2020.

BURGUER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 158 p. ISBN 8521306695.

CAMPOS, W. **A História do Violão**: Mostra de Instrumentos Musicais - SESC, Serviço Social do Comércio - Administração Nacional. SESC, 2005. Disponível em: https://www.sesc.com.br/portal/publicacoes/cult/livro/a+historia+do+violao/a_historia_do_violao. Acesso em: novembro de 2019.

COPPIARDI, F. *et al.* **QUADERNI DI LUTERIA Nº 11, La costruzione dela chitarra clássica. Gruppo Studi Liutari di Cremona**. 68p. Cremona, 1980.

COX, J. **Gibson: Iconic Guitar Brand Reportedly On The Brink of Bankruptcy**. 2018. Revista digital. Disponível em: <https://www.independent.co.uk/news/business/news/gibson-guitars-bankruptcy-slash-santana-bob-marley-nashville-post-debt-a8217886.html>. Acesso em: março de 2018.

CREMONAMUSICA. **CONFERENZA – ANTONIO DE TORRES IL GRANDE MAESTRO**. 2021. Website. Disponível em: <http://www.cremonamusica.com/schedule/conferenza-antonio-de-torres-grande-maestro/>. Acesso em: fevereiro de 2021.

CUMPIANO, W.; NATELSON, J. D. **Guitarmaking, Tradition and technology**. San Francisco: Chronicle Books, 1994. 388 p. ISBN 0-8118-0640-5.

DAKRON. **Isolamento térmico e acústico**. 2020. Website. Disponível em: <https://akronrs.com.br/produto/manta-para-isolamento-acustico/>. Acesso em: setembro de 2020.

DHGATE. **Higrômetro de Agulha para Madeira EMT01**. 2020. Website. Disponível em: https://pt.dhgate.com/product/hygrometer-needle-type-wood-moisture-tester/435558152.html#redirect_detail=WAP2PC. Acesso em: 2020.

DICIO, D. O. **Histerese**. 2021. Dicionário on-line. Disponível em: <https://www.dicio.com.br/histerese/>. Acesso em: fevereiro de 2021.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. **Design Science Research: Método de Pesquisa para Avanço da Ciência e Tecnologia**. 1ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015. 181 p. ISBN 978858260298.

EDGERS, G. **Why my guitar gently weeps. The slow, secret death of the six-string electric. And why you should care**. 2017. Revista digital. Disponível em: https://www.washingtonpost.com/graphics/2017/lifestyle/the-slow-secret-death-of-the-electric-guitar/?utm_term=.9e6457e2ae9d. Acesso em: junho de 2017.

ENGEL, B. *et al.* Tecnologias de atomização e desidratação: alternativas para a produção de farinhas a partir de vegetais. **Revista Jovens Pesquisadores, Santa Cruz do Sul**, Santa Cruz do Sul, v. 6, n. 1, p. 31 – 44, junho 2016.

ESTADÃO, C. **Fabricação de instrumentos musicais se destaca na crise**. 2018. Revista digital. Disponível em: [https://dcomercio.com.br/categoria/negocios/fabricacao-de-instrumentos-musicais-se-destaca-na-crise#:~:text=O%20mercado%20brasileiro%20de%20instrumentos,Ind%C3%BAstria%20da%20M%C3%BAsica%20\(Anafima\)](https://dcomercio.com.br/categoria/negocios/fabricacao-de-instrumentos-musicais-se-destaca-na-crise#:~:text=O%20mercado%20brasileiro%20de%20instrumentos,Ind%C3%BAstria%20da%20M%C3%BAsica%20(Anafima)). Acesso em: novembro de 2019.

EVANGELISTA, C. R. **Corrente de convecção**. 2010. Revista digital. Disponível em: <https://www.infoescola.com/termodinamica/corrente-de-conveccao/>. Acesso em: outubro de 2020.

EXPOSTI, K. D. **Classificação climática de Köppen-Geiger**. 2013. Educação online. Disponível em: <https://www.infoescola.com/geografia/classificacao-climatica-de-koppen-geiger/>. Acesso em: fevereiro de 2021.

FACHIN, O. **Fundamentos de metodologia**. 5ª. ed. São Paulo: Saraiva, 2005. ISBN 978-85-02-C5532-2. Disponível em: <http://maratavarespsictics.pbworks.com/w/file/etch/74302802/FACHIN-Odilia-fundamentos-de-Metodologia.pdf>. Acesso em: agosto de 2019.

FIBREGLAST. **Pinless Moisture Meter- REED**. 2021. Website. Disponível em: <https://www.fibreglast.com/product/Pinless-Moisture-Meter/Instrumentation>. Acesso em: fevereiro de 2021.

FREITAS, E. de. **Zonas térmicas da Terra**. 2019. Revista digital. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/zonas-termicas-terra.htm>. Acesso em: março de 2020.

GALVÃO, A. P. M. ESTIMATIVAS DA UMIDADE DE EQUILÍBRIO DA MADEIRA EM DIFERENTES CIDADES DO BRASIL. **IPEF - Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, IPEF, São Paulo, p. 53 – 65, 1975. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr11/cap04.pdf>. Acesso em: março de 2020.

GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKY, I. P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel S/A, 1985. 112 p. ISBN 8521302797.

GERAIS, F. **Medidor de umidade da madeira digital - MO280**. 2016. Website. Disponível em: <https://www.fg.com.br/medidor-umidade-de-madeira-digital-mo280/p>. Acesso em: fevereiro de 2021.

GERAIS, F. **Soprador Térmico: o que é e para o que serve?** 2019. Website. Disponível em: <http://conectafg.com.br/tudo-sobre-soprador-termico/>. Acesso em: setembro de 2020.

GUINÉ, R. P. F.; PINHO, S.; BARROCA, M. J. Study of the convective drying of pumpkin (*Cucurbita maxima*). Food and Bioproducts Processing,. **Ichme**, Elsevier, v. 89, n. 4, p. 422 – 428, outubro 2011. ISSN 09603085. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/251627554_Study_of_the_convective_drying_of_pumpkin_Cucurbita_maxima. Acesso em: setembro de 2020.

HAWKINS, G. A. HEAT. In: HILL, M. . (Ed.). **Mark's standard handbook for mechanical engineers**. 8ª. ed. New York: McGraw - Hill, 1978. cap. 4, p. 1 – 58.

IBGE. **Anuário Estatístico do Brasil**. Rio de Janeiro, 1997. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/20/aeb_1997.pdf. Acesso em: julho de 2018.

IBGE. **Atlas geográfico escolar / IBGE**. 4ª. ed. Rio de Janeiro: [s.n.], 2007. 214 p. ISBN 8524039035. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?id=235596&view=detalhes>. Acesso em: março de 2019.

INMETRO. **Orientação Para a Calibração de Câmaras Térmicas Sem Carga / DOQ-CGCRE-028**. [S.l.], 2013. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/Sidoq/Arquivos/Cgcre/DOQ/DOQ-Cgcre-28_01.pdf. Acesso em: março de 2020.

INTERNATIONAL, L. M. **Acoustic Guitar Backs and Sides**: LMI Shop. Windsor: LUTHIERS MERCANTILE INTERNATIONAL, INC, 2021. Disponível em: <https://www.lmii.com/216-acoustic-guitar-backs-and-sides>. Acesso em: abril de 2019.

KAMEN, C. **The origin and development of the double top guitar**. 2013. Revista digital. Disponível em: <https://www.classicguitar.com/the-origin-and-development-of-the-double-top-guitar/>. Acesso em: novembro de 2019.

KENNEDY, F. **Medidor de Umidade Digital Stht77030 Stanley**. 2021. Website. Disponível em: <https://www.ferramentaskennedy.com.br/106375/medidor-de-umidade-digital-stht77030-stanley>. Acesso em: 2020.

KNOWLES, D. **American Companies are Producing Higher-quality Affordable Acoustics in China**. 2014. Revista digital. Disponível em: <https://acousticguitar.com/american-companies-are-producing-higher-quality-affordable-acoustics-in-china/>. Acesso em: 2018.

KOLLMANN, F. F. P.; COTÊ JUNIOR; WILFRED, A. J. **Principles of wood science and technology**. Berlin: Springer, 1968. v. 2. 604 p. ISBN 3642879306.

KÖPPEN, W. **Grundriss der Klimakunde**: Outline of climate science. Berlin: Walter de Gruyter, 1931. 388 p.

LABORATORY F P. Wood as an engineering material. **Forest Products Laboratory**, 466 p. U.S.D.A., Washington, 1987.

LAET, M. de. **ANAFIMA - INDÚSTRIA BRASILEIRA DE INSTRUMENTOS MUSICAIS APOSTA EM MERCADO CHINÊS**. 2014. Website. Disponível em: <http://www.anafima.com.br/site/industria-brasileira-de-instrumentos-musicais-aposta-em-mercado-chines/>. Acesso em: julho de 2018.

LINDON, D.; LENDREVIE, J.; VICENTE, J. **Mercator 2000 – teoria e prática do Marketing**. Lisboa: Publicações Don Quixote, 2000. ISBN 9722010212.

LUTHIERS, A. B. **Australian/New Zealand Luthiers Forum South Pacific/Indian Ocean/Gulf of Carpentaria**. 2020. Website. Disponível em: <http://www.anzlf.com/viewtopic.php?t=465>. Acesso em: maio de 2020.

MARCHI, N. **Tecnologia del legno**. 4^a. ed. Venezia: Marsilio Editori, 1983. 96 p. ISBN 9788831742603.

MARCUS, D. **Bracing Styles for Classical Guitars**. 2015. Website. Disponível em: <https://www.thisisclassicalguitar.com/bracing-styles-for-classical-guitars/>. Acesso em: janeiro de 2020.

MARRARI. **Medidor de umidade para madeira portátil – M52**. 2021. Website. Disponível em: <https://www.marrari.com.br/produto/m52-medidor-de-umidade-para-madeira/>. Acesso em: fevereiro de 2021.

MEDEIROS, R. M. de; HOLANDA, R. M. de. CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA E BALANÇO HÍDRICO PELO MÉTODO DE KÖPPEN E THORNTHTWAITE DO MUNICÍPIO DE BARBALHA, CEARÁ, BRASIL. **Revista Equador**, UFPI, Teresina, v. 8, n. 3, p. 19 – 43, 2019. ISSN 2317-3491.

MICHAELIS, D. **Significado de Xilófago**. 2020. Dicionário on-line. Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/xil%C3%B3fago/>. Acesso em: fevereiro de 2021.

MICHAELIS, D. **Estrado**. 2021. Dicionário on-line. Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/estrado/>. Acesso em: fevereiro de 2021.

MMA. PORTARIA Nº 443, DE 17 DE DEZEMBRO DE 2014.pdf. **Lista Nacional Oficial de Espécies da Flora Brasileira Ameaçadas de Extinção**, Diário Oficial da União, Brasília, n. 245, dezembro 2014. ISSN 1677-7042. Disponível em: <https://jbb.ibict.br/bitstream/1/363/1/PORTARIA%20N%C2%BA%20443%2C%20DE%2017%20DE%20DEZEMBRO%20DE%202014.pdf>. Acesso em: Julho de 2018.

MORESCHI, J. C. **Propriedades da Madeira**. Curitiba, 2014. Disponível em: <http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasmoreschi/PROPRIEDADES%20DA%20MADEIRA.pdf>. Acesso em: junho de 2019.

MUÑIZ, G. I. B. **Caracterização e desenvolvimento de modelos para estimar as propriedades e o comportamento na secagem da madeira de Pinus elliottii Engelm. E Pinus taeda L.** 1993. 235 p. Tese (Ciências Florestais) — Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/25307/T%20-%20BOLZON%20DE%20MUIZ%2C%20GRACIELA%20INES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: março de 2019.

NELLIS, S.; RUCINSKI, T. **After bankruptcy, Gibson plots return to basics, and possibly ukuleles**. 2018. Revista digital. Disponível em: https://www.reuters.com/article/us-gibson-brands-bankruptcy/after-bankruptcy-gibson-plots-return-to-basics-and-possibly-ukuleles-idUSKBN1JN3AL?feedType=RSS&feedName=businessNews&utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+reuters%2FbusinessNews+%28Business+News%29. Acesso em: maio de 2019.

NELSON INSTITUTE. Average Annual Relative Humidity. **Atlas of the Biosphere**, Nelson Institute, Wisconsin, 1999a. Disponível em: <https://nelson.wisc.edu/sage/data-and-models/atlas/data.php?incdataset=Average%20Annual%20Relative%20Humidity>. Acesso em: abril de 2020.

NELSON INSTITUTE. Average Temperature. **Atlas of the Biosphere**, Nelson Institute, Wisconsin, 1999b. Disponível em: <https://nelson.wisc.edu/sage/data-and-models/atlas/maps.php?datasetid=54&includerelatedlinks=1&dataset=54>. Acesso em: 2019.

NEVES, D. A. **Por que não devemos acreditar que o mercado de instrumentos musicais morreu**. 2018. Revista digital. Disponível em: <https://musicaemercado.org/vendas-instrumentos-musicais-no-brasil/>. Acesso em: julho de 2018.

- NICAWÉ. **MEDIDORES DE SENSOR CAPACITIVO E RESISTIVO: ENTENDA A DIFERENÇA**. 2019. Website. Disponível em: <https://www.nicawe.com.br/medidores-de-sensor-capacitivo-e-resistivo-entenda-a-diferenca/>. Acesso em: abril de 2020.
- OBATAYA, E. Effects of natural and artificial ageing on the physical and acoustic properties of wood in musical instruments. **Journal of Cultural Heritage**, Tulips, Tsukuba, p. 1 – 7, junho 2016. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/56664474.pdf>. Acesso em: julho de 2018.
- OBERG, P. **Brazilian Rosewood and German Spruce**. 2011. Website. Disponível em: <https://www.obergguitars.com/BrazilianSpruce2011.htm>. Acesso em: janeiro de 2020.
- PARCHEM, J. **Completely traditional looking Hauser style classical guitar**. 2011. Website. Disponível em: <http://acousticguitarconstructionforum.com/viewtopic.php?f=%2030&t=2717>. Acesso em: janeiro de 2020.
- PEPPLER, C. **The best of the best guitar builders**. 2019. Revista digital. Disponível em: <http://guitarsa.co.za/tag/mathias-dammann/>. Acesso em: janeiro de 2020.
- PONCE, R. H.; WATAI, L. T. **Secagem da Madeira**: Secretaria de Tecnologia Industrial, IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 70p. Brasília, 1985.
- POWERS, W. **Violin Makers: Nicolò Amati (1596–1684) and Antonio Stradivari (1644–1737) See works of art**. New York. 2003. Website. Disponível em: https://www.metmuseum.org/toah/hd/strd/hd_strd.htm. Acesso em: julho de 2018.
- RASMUSSEN, E. **Dry Kiln operator's manual**. Madison: United States Department of Agriculture, 1961. 273 p. ISBN 0160358191. Disponível em: <https://www.esf.edu/wus/documents/DryKilnOperatorsManual.pdf>. Acesso em: outubro de 2020.
- ROSETTE, D. **Classical Rosette Style**. 2020. Website. Disponível em: http://www.japarts.ca/_japarts_ca/DoMo/DoMoRosette.asp?ManufacturerID=&ProductCategory=Rosette+%2D+Parquetry&Body=&Finish=&Button=&Post=&Sort=. Acesso em: janeiro de 2020.
- SANTOS, A. dos. **Seleção do Método de Pesquisa**: Guia para pós-graduandos em Design e áreas afins. 1ª. ed. Curitiba: Insight, 2018. 228 p.
- SANTOS, G. R. V.; JANKOWSKY, I. P.; ANDRADE, A. Curva característica de secagem para madeira de Eucalyptus grandis. **Scientia Forestalis**, São Paulo, n. 3, p. 214 – 220, junho 2003.
- SCITEC. **São diversos equipamentos para simular as várias situações de intemperismo**. 2019. Website. Disponível em: <https://scitec.com.br/ensaios/simulacao-climatica-e-ensaios-de-envelhecimento-acelerado/>. Acesso em: fevereiro de 2021.
- SILVER, V. **A \$45 Million Viola? The World's Newest Most-Expensive Instrument**. 2014. Revista digital. Disponível em: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2014-06-24/45-million-stradivarius-would-set-new-record-price-for-instruments>. Acesso em: março de 2018.
- SIMPSON, W. (ed.). **Dry Kiln Operator's Manual**. Madison: Research Forest Products Technologist, 1991. 273 p. Disponível em: <https://www.esf.edu/wus/documents/DryKilnOperatorsManual.pdf>. Acesso em: outubro de 2020.

SLOANE, I. **Classic Guitar Construction**. 1ª. ed. [S.l.]: The Bold Strummer, Ltda, 1989. 100 p. ISBN 0-933224-14-1.

SMALLMAN, G. **Greg Smallman & Sons Damon & Kym**. 2021. Website. Disponível em: <http://www.gregsmallmanguitar.com/>. Acesso em: fevereiro de 2021.

SOUZA, M. R. **Classificação De Madeiras Para Instrumentos Musicais**. Brasília, 1983. Disponível em: https://aluthiers.org/wp-content/uploads/2019/04/Classificac%CC%A7a%CC%83o-de-madeiras-para-instrumentos-musicais-DE-Serie_Tecnica06.pdf. Acesso em: maio de 2017.

SZUCS, C. A. *et al.* **Estruturas de Madeira**. Florianópolis, 2016.

TAHOE, G. **Build thread-Walnut Carpathian slope shoulder dread (J45 style)**. 2008. Website. Disponível em: <http://images.yuku.com/image/jpeg/9e216f45239f9a95463034b4fbfa641b0e3a225b.JPG>. Acesso em: janeiro de 2020.

TARISIO. **Tarisio, fine instruments & Bows. Antonio Stradivari, Cremona, 1711, o 'Duport'**. 2018. Website. Disponível em: <https://tarisio.com/cozio-archive/property/?ID=40274>. Acesso em: setembro de 2020.

THERMOMATIC do B. **Desumidificador de ar funciona?** 2021. Website. Disponível em: <https://www.thermomatic.com.br/fique-por-dentro/desumidificador-de-ar-funciona.html>. Acesso em: fevereiro de 2021.

THORTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**: Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1948. 104 p.

TIMELESS, I. **The Wood**. 2020. Website. Disponível em: https://www.timelessinstruments.com/contents/en-ca/d48_Course_Description.html. Acesso em: maio de 2020.

TOLZ, D. **Tolz Guitars**. 2021. Website. Disponível em: <https://tolz-gitarren.de/>. Acesso em: fevereiro de 2021.

TOMASELLI, I.; KLITZKE, R. J. **Secagem da Madeira**. Curitiba: Fundação Hugo Simas / Universidade Federal do Paraná, Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Curso de Engenharia Florestal, 90p., 2000.

TSURUTA, M. **Plans for you**. 1995. Website. Disponível em: http://www.crane.gr.jp/CRANE_etc/CRANE_Plan_E.html. Acesso em: abril de 2019.

VINTAGE, G. W. **Louis Panormo 1832 Romantic Guitar**. 2019. Website. Disponível em: <https://www.vintage-guitar-world.com/shop/louis-panormo-1832-romantic-guitar/>. Acesso em: setembro de 2020.

WESTBROOK, J. **Antonio de Torres Jurado (1817–1892), Father of the Spanish Guitar**. 2014. Revista digital. Disponível em: <https://www.bromptons.co/reference/articles/details/antonio-de-torres-jurado.html>. Acesso em: março de 2019.

YAMAHA. **Yamaha Corporation, Bamboo Acoustic Guitars FGB1 e FGXB1**. 2000. Disponível em: <https://usa.yamaha.com/files/download/brochure/6/320276/fgb1.pdf>. Acesso em: março de 2020.

YAMAHA. **Various wood are used for guitar construction - How the Acoustic Guitar is Made**. 2020. Website. Disponível em: https://pt.yamaha.com/pt/products/contents/musical_instrument_guide/acoustic_guitar/made001.html. Acesso em: maio de 2020.

ZANOTTI, R. **Câmaras climáticas**. 2017. Website. Disponível em: <https://blog.zanottirefrigeracao.com.br/camaras-climaticas/>. Acesso em: setembro de 2020.