

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

Daniela Silva Lilge

DESEMPENHO DE *Melia azedarach* L. SOB DIFERENTES TIPOS DE TRATAMENTOS DE PARTÍCULAS, PROPORÇÕES DE CIMENTO E ADITIVOS, NA FABRICAÇÃO DE PAINÉIS CIMENTO-MADEIRA

Santa Maria, RS
2018

Daniela Silva Lilge

**DESEMPENHO DE *Melia azedarach* L. SOB DIFERENTES TIPOS DE
TRATAMENTOS DE PARTÍCULAS, PROPORÇÕES DE CIMENTO E ADITIVOS,
NA FABRICAÇÃO DE PAINÉIS CIMENTO-MADEIRA**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Doutora em Engenharia Florestal**.

Orientador: Prof^o Clovis Roberto Haselein

Santa Maria, RS
2018

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pela autora.

Lilge, Daniela Silva

Desempenho de Melia azedarach L. sob diferentes tipos de tratamentos de partículas, proporções de cimento e aditivos, na fabricação de painéis cimento-madeira / Daniela Silva Lilge.- 2018.

207 p.; 30 cm

Orientador: Clovis Roberto Haselein

Coorientador: Elio José Santini

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2018

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

2018

Todos os direitos autorais reservados à **Daniela Silva Lilge**. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Daniela Silva Lilge

DESEMPENHO DE *Melia azedarach* L. SOB DIFERENTES TIPOS DE TRATAMENTOS DE PARTÍCULAS, PROPORÇÕES DE CIMENTO E ADITIVOS, NA FABRICAÇÃO DE PAINÉIS CIMENTO-MADEIRA

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Doutora em Engenharia Florestal**.

Aprovada em 22 de fevereiro de 2018:

L R H

Clovis Roberto Haselein, Dr (UFSM)
Presidente/Orientador

[Signature]

Ana Lúcia Souza Silva Mateus, Dra (UFSM)

Karina Modes

Karina Soares Modes, Dra (UFSC)

Magnos Alan Vivian

Magnos Alan Vivian, Dr (UFSC)

Rafael Beltrame

Rafael Beltrame, Dr (UFPEL)

Santa Maria, RS
2018

DEDICATÓRIA

À minha mãe, *Amelia Silva Lilge*, por todo seu amor e dedicação,
e a meu pai, *Leopoldo Lilge Filho* (in memoriam),
meu grande exemplo de integridade, amor e luta.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria pela oportunidade.

Ao meu orientador, Professor Clovis Roberto Haselein, pelos conhecimentos transmitidos, pela oportunidade de desenvolvimento das habilidades docentes, pelo apoio, pela amizade e pela paciência.

Ao Professor Elio José Santini pelo apoio e constante disponibilidade.

À Professora Ana Lúcia Souza Silva Mateus pela compreensão, disponibilidade e por todo o auxílio no desenvolvimento das análises estatísticas deste trabalho.

Ao Sr. Helio Postal, pela disponibilização da madeira das árvores utilizadas neste estudo.

À Durabile, na figura do Sr. Sabin, pela disponibilização do cimento usado neste trabalho.

Aos Professores Darci Alberto Gatto e Rafael Beltrame, pela cedência de espaço nas dependências da Engenharia Madeireira (UFPEL) para realização de parte deste estudo.

À Fepagro Florestas de Santa Maria, sobretudo à Gerusa Pauli Kist Steffen e Joseila Maldaner, pelo auxílio e cedência de espaço para realização dos ensaios com fungos.

Ao Centro de Desenvolvimento e Controle de Biomateriais da UFPEL, sobretudo à funcionária Tatiana Silva Ramos pela disponibilidade para realizar o corte de corpos de prova.

Ao CEME-SUL (FURG), em especial ao funcionários Caroline Pires Ruas e Rudmar Krumreick, pela disponibilidade em obter as imagens no microscópio eletrônico de varredura, necessárias para este estudo.

Aos acadêmicos Glaucio Giacomelli (UFSM), Vitor Seibel (UFSM), Mayara Spielmann (UFPEL) e Vinícius Cenci Taborda (UFPEL) pelo auxílio na realização deste trabalho.

Aos funcionários Tarso Michelotti, Nelson Castro e Fabiana Ratzlaff por todo auxílio, apoio e criatividade na solução de problemas.

Aos meus colegas, em especial ao Paulo Fernando Machado pelo auxílio e amizade e à Sabrina Finatto, por toda cumplicidade, apoio, amizade e auxílio indispensável na realização deste trabalho.

Ao meu amigo/irmão Dian Francisco de Oliveira pela amizade, auxílio, disponibilidade e companheirismo.

À minha amiga Ana Cristina de Almeida por todo seu apoio e amizade.

À minha prima Carla Lilge Scheer e às minhas afilhadas Taila Scheer e Taís Scheer pela torcida constante e por todo apoio e amor.

A Guilherme de Oliveira por todo amor, dedicação, apoio e auxílio a mim proporcionados durante todo período de doutoramento e durante todos os 8 anos em que estamos compartilhando nossas vidas.

Ao meu pai, Leopoldo Lilge Filho (in memoriam), por todo amor, por representar a estrutura de minha vida e por continuar ao meu lado, mesmo distante.

À minha mãe, Amelia Silva Lilge, pelo amor, pela grande amizade, pelo apoio e pela renúncia que me permitiram concluir este trabalho.

A todos meus amigos e familiares que trouxeram amor, luz e paz para minha vida, fatores imprescindíveis para meu crescimento pessoal.

Agradeço.

RESUMO

DESEMPENHO DE *Melia azedarach* L. SOB DIFERENTES TIPOS DE TRATAMENTOS DE PARTÍCULAS, PROPORÇÕES DE CIMENTO E ADITIVOS, NA FABRICAÇÃO DE PAINÉIS CIMENTO-MADEIRA

AUTORA: Daniela Silva Lilge
ORIENTADOR: Clovis Roberto Haselein

No mercado de painéis de madeira, as chapas de cimento-madeira surgem como produto com interessantes características de resistência à degradação biológica e de ótimo desempenho físico-mecânico. Estes painéis possuem grande aplicabilidade na construção civil e vem sendo utilizados em larga escala desde os anos 70 em países da Europa e sobretudo Ásia. As madeiras comumente utilizadas para fabricação desses painéis são provenientes de coníferas. Contudo, pesquisas sobre o desempenho de folhosas têm demonstrado que estas podem ser uma boa alternativa, desde que sofram tratamento prévio à manufatura do painel. A espécie *Melia azedarach* (cinamomo) tem sido avaliada quanto à sua utilização na manufatura de painéis reconstituídos e tem demonstrado um desempenho interessante na fabricação de chapas aglomeradas. Contudo, sua performance na manufatura de painéis cimento-madeira não foi investigada. Dessa forma, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a viabilidade de painéis compostos de cimento e partículas de cinamomo. Para isto, os fatores avaliados foram: métodos de preparo das partículas (banho térmico, imersão em solução de sulfato de alumínio, imersão em solução de hidróxido de sódio e testemunha); proporções de madeira:cimento (1:2,5 e 1:3,0); e aditivos (cloreto de cálcio, cloreto de magnésio e testemunha). Totalizando, deste modo, 24 tratamentos com 5 repetições cada. Para determinar a qualidade dos painéis foram avaliadas as propriedades físicas (densidade aparente; absorção de água a 2 e 24 horas de imersão, inchamento em espessura a 2 e 24 horas de imersão e resistência ao fogo), a resistência mecânica (módulo de ruptura e de elasticidade em flexão estática; ligação interna e resistência ao arrancamento de parafusos), além da resistência dos painéis ao ataque de fungo de podridão branca (*Pycnoporus sanguineus*). Os painéis produzidos com preparo das partículas por imersão das mesmas em solução de NaOH apresentaram menor eficiência das propriedades físicas, mecânicas e de resistência ao fungo apodrecedor. O uso de aditivos na formulação dos painéis incrementou suas características físicas, mecânicas e de resistência ao fungo. A proporção de madeira:cimento de 1:2,5 gerou maior resistência mecânica dos painéis. Contudo, esta mesma proporção gerou pior desempenho dos painéis no que se refere às suas propriedades físicas e de resistência ao fungo de podridão branca. Sendo assim, para a manufatura de painéis cimento-madeira de cinamomo, o preparo das partículas com NaOH não é recomendado. Quanto aos aditivos, recomenda-se o uso de CaCl_2 ou MgCl_2 . Na fabricação desses compósitos, uma maior quantidade de madeira em relação ao cimento, é indicada para painéis que necessitem de maior resistência mecânica, ao passo que para painéis cuja resistência física seja mais relevante, indica-se a manufatura com uma menor quantidade de madeira em relação ao cimento.

Palavras-chave: proporção madeira cimento. incompatibilidade cimento-madeira. compósitos. cinamomo.

ABSTRACT

PERFORMANCE OF *Melia azedarach* L. UNDER DIFFERENT TYPES OF TREATMENT OF PARTICLES, CEMENT PROPORTIONS AND ADDITIVES, IN THE MANUFACTURE OF WOOD-CEMENT PANELS

AUTHOR: Daniela Silva Lilge
ADVISOR: Clovis Roberto Haselein

In the wood panels market, cement-wood emerge as a product with interesting characteristics of resistance to biological degradation and great physical and mechanical performance. These panels have wide applicability in construction and has been used on a large scale since the 70s in countries of Europe and especially Asia. Woods commonly used to manufacture these panels come from conifers. However, research on the hardwood performance have shown that these can be a good alternative, since suffering treatment prior to panel manufacturing. The *Melia azedarach* (cinamon) species has been evaluated as to his use in the manufacture of reconstituted wood panels and has shown an interesting performance in the manufacture of chipboard panels type. However, its performance in the manufacture of cement-wood panels was not been investigated. Thus, the present work had the objective of evaluating the feasibility of composite panels of cement and particles of cinnamon. For this, the evaluated factors were: methods of preparation of the particles (thermal bath, immersion in aluminum sulfate solution, immersion in sodium hydroxide solution and control); proportions of wood: cement (1:2.5 and 1:3.0); and additives (calcium chloride, magnesium chloride and control). Thus totaling 24 treatments with 5 replicates each. In order to determine the quality of the panels, the physical properties (apparent density, water absorption at 2 and 24 hours of immersion, swelling at 2 and 24 hours of immersion and fire resistance), mechanical strength (modulus of rupture and of elasticity in static flexion, internal bonding and resistance to pulling of screws), besides the resistance of the panels to the attack of white rot fungus (*Pycnoporus sanguineus*). The panels produced with preparation of the particles by immersion of them in NaOH solution showed less efficiency of the physical and mechanical properties and less resistance to the rotting fungus. The use of additives in the formulation of the panels increased their physical, mechanical and fungus resistance characteristics. The ratio of wood: 1:2,5 cement generated greater mechanical strength of the panels. However, this same proportion caused a worse performance of the panels in terms of their physical properties and resistance to white rot fungus. Therefore, for the manufacture of cement-wood panels of cinnamon, the preparation of the particles with NaOH is not recommended. As for the additives, the use of CaCl₂ or MgCl₂ is recommended. In the manufacture of these composites, a greater amount of wood in relation to the cement is indicated for panels that need greater mechanical resistance, in other hand for panels whose physical resistance is more relevant, it is indicated the manufacture with a smaller amount of wood in relation to cement.

Key words: proportion wood cement. cement-wood incompatibility. composites. cinnamon.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 -	Local de coleta da madeira de cinamomo para o estudo.....	38
Figura 2.2 -	Plantio consorciado de erva-mate com <i>Melia azedarach</i> à direita e com <i>Pinus taeda</i> à esquerda.....	39
Figura 2.3 -	Equipamento do tipo Flaker e lascas produzidas a partir dos discos de cinamomo.....	40
Figura 2.4 -	Partículas após processamento em moinho de martelos e classificação.....	41
Figura 2.5 -	Tratamento das partículas.....	42
Figura 2.6 -	Bateria de extração de amostras de cinamomo.....	44
Figura 2.7 -	Lignina restante após determinação de Lignina Klason.....	44
Figura 2.8 -	Amostras preparadas para quantificação de minerais.....	45
Figura 2.9 -	Equipamentos para microanálise de raio-X característicos por EDS.....	47
Figura 2.10 -	Espectro obtido por microanálise de raios-X característicos por EDS de partícula de cinamomo não tratada.....	50
Figura 2.11 -	Espectro obtido por microanálise de raios-X característicos por EDS de partícula de cinamomo tratada com banho térmico.....	51
Figura 2.12 -	Espectro obtido por microanálise de raios-X característicos por EDS de partícula de cinamomo tratada com imersão em NaOH.....	52
Figura 2.13 -	Espectro obtido por microanálise de raios-X característicos por EDS de partícula de cinamomo tratada com imersão em $Al_2(SO_4)_3$	52
Figura 3.1 -	Caixa formadora dos painéis.....	62
Figura 3.2 -	Prensa hidráulica.....	63
Figura 3.3 -	Modelo de corte dos painéis para confecção dos corpos de prova.....	64
Figura 3.4 -	Placa de Petri com o fungo <i>Pycnoporus sanguineus</i> em contato com o corpo de prova de cimento-madeira.....	66
Figura 3.5 -	Crescimento micelial na superfície e laterais do corpo de prova.....	70
Figura 3.6 -	Teste de Scott-Knott para perda de massa por ataque de fungos.....	72
Figura 3.7 -	Teste de Scott-Knott para perda de massa por ataque de fungos: desdobramento do método de preparo das partículas em relação às proporções de madeira:cimento....	74
Figura 3.8 -	Teste de Scott-Knott para perda de massa por ataque de fungos: desdobramento da proporção de madeira:cimento em relação aos métodos de preparo das partículas.....	77
Figura 4.1 -	Ensaio de resistência ao fogo.....	87
Figura 4.2 -	Teste de Scott-Knott para absorção de água em 2 hs: desdobramento dos métodos de preparo das partículas em relação aos aditivos.....	94
Figura 4.3 -	Teste de Scott-Knott para absorção de água em 2 hs: desdobramento dos aditivos em relação aos métodos de preparo das partículas.....	95

Figura 4.4 -	Teste de Scott-Knott para absorção de água em 2 hs: desdobramento das proporções de madeira:cimento em relação aos aditivos.....	96
Figura 4.5 -	Teste de Scott-Knott para absorção de água em 2 hs: desdobramento dos aditivos em relação às proporções de madeira:cimento.....	97
Figura 4.6 -	Teste de Scott-Knott para absorção de água em 24 hs: desdobramento do método de preparo das partículas em relação às proporções de madeira:cimento.....	99
Figura 4.7 -	Teste de Scott-Knott para absorção de água em 24 hs: desdobramento da proporção de madeira:cimento em relação aos métodos de preparo das partículas.....	100
Figura 4.8 -	Teste de Scott-Knott para absorção de água em 24 hs: desdobramento do método de preparo das partículas em relação aos aditivos.....	101
Figura 4.9 -	Teste de Scott-Knott para absorção de água em 24 hs: desdobramento do aditivo em relação aos métodos de preparo das partículas.....	102
Figura 4.10 -	Teste de Scott-Knott para inchamento em espessura em 2 hs: desdobramento dos métodos de preparo das partículas em relação às proporções de madeira:cimento e aos aditivos.....	106
Figura 4.11 -	Teste de Scott-Knott para inchamento em espessura em 2 hs: desdobramento das proporções de madeira:cimento em relação aos métodos de preparo das partículas e aos aditivos.....	108
Figura 4.12 -	Teste de Scott-Knott para inchamento em espessura em 2 hs: desdobramento dos aditivos em relação aos métodos de preparo das partículas e às proporções de madeira:cimento.....	109
Figura 4.13 -	Teste de Scott-Knott para inchamento em espessura em 24 hs: desdobramento dos métodos de preparo das partículas em relação às proporções de madeira:cimento e aos aditivos.....	112
Figura 4.14 -	Teste de Scott-Knott para inchamento em espessura em 24 hs: desdobramento das proporções de madeira:cimento em relação aos métodos de preparo das partículas e aos aditivos.....	114
Figura 4.15 -	Teste de Scott-Knott para inchamento em espessura em 24 hs: desdobramento dos aditivos em relação às proporções de madeira:cimento e aos métodos de preparo das partículas.....	116
Figura 4.16 -	Teste de Scott-Knott para resistência ao fogo: desdobramento dos métodos de preparo das partículas em relação às proporções de madeira:cimento e aos aditivos....	121
Figura 4.17 -	Teste de Scott-Knott para resistência ao fogo: desdobramento da proporção de madeira:cimento em relação aos métodos de preparo das partículas e aos aditivos.....	123
Figura 4.18 -	Teste de Scott-Knott para resistência ao fogo:	

	desdobramento do aditivo em relação aos métodos de preparo das partículas e às proporções madeira:cimento.....	125
Figura 5.1 -	Máquina universal de ensaios.....	133
Figura 5.2 -	Ensaio de flexão estática.....	134
Figura 5.3 -	Ensaio de arrancamento de parafusos.....	136
Figura 5.4 -	Ensaio de tração perpendicular à superfície do painel.....	137
Figura 5.5 -	Teste de Scott-Knott para módulo de elasticidade: desdobramento do método de preparo das partículas em relação às proporções de madeira:cimento e aos aditivos....	141
Figura 5.6 -	Teste de Scott-Knott para módulo de elasticidade: desdobramento da proporção de madeira:cimento em relação aos métodos de preparo das partículas e aos aditivos.....	143
Figura 5.7 -	Teste de Scott-Knott para módulo de elasticidade: desdobramento do aditivo em relação aos métodos de preparo das partículas e às proporções de madeira:cimento.....	144
Figura 5.8 -	Teste de Scott-Knott para módulo de ruptura: desdobramento do método de preparo das partículas em relação às proporções de madeira:cimento e aos aditivos....	148
Figura 5.9 -	Teste de Scott-Knott para módulo de ruptura: desdobramento da proporção de madeira:cimento em relação aos métodos de preparo das partículas e aos aditivos.....	150
Figura 5.10 -	Teste de Scott-Knott para módulo de ruptura: desdobramento do aditivo em relação aos métodos de preparo das partículas e às proporções de madeira:cimento.....	151
Figura 5.11 -	Teste de Scott-Knott para resistência ao arrancamento de parafusos.....	155
Figura 5.12 -	Teste de Scott-Knott para ligação interna: desdobramento do método de preparo das partículas em relação às proporções de madeira:cimento.....	159
Figura 5.13 -	Teste de Scott-Knott para ligação interna: desdobramento da proporção madeira:cimento em relação aos métodos de preparo das partículas.....	160
Figura 5.14 -	Teste de Scott-Knott para ligação interna: desdobramento do método de preparo das partículas em relação aos aditivos.....	161
Figura 5.15 -	Teste de Scott-Knott para ligação interna: desdobramento do aditivo em relação aos métodos de preparo das partículas.....	163

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 -	Teores dos componentes do Cimento Portland de alta resistência inicial.....	23
Tabela 2.1 -	Preparo das partículas de cinamomo.....	41
Tabela 2.2 -	Metodologia e normativas utilizadas para caracterização química da madeira de <i>Melia azedarach</i> não tratada e tratada.....	43
Tabela 2.3 -	Composição química das partículas de cinamomo tratadas e não tratadas.....	48
Tabela 3.1 -	Tratamentos utilizados no experimento.....	59
Tabela 3.2 -	Parâmetros utilizados para o cálculo das quantidades dos componentes para manufatura dos painéis.....	61
Tabela 3.3 -	Classes de resistência a fungos xilófagos ASTM D 2017 (2005).....	67
Tabela 3.4 -	Valores médios observados de perda de massa dos painéis e classificação de resistência a fungos xilófagos (ASTM D 2017, 2005).....	68
Tabela 3.5 -	Análise de variância da perda de massa dos painéis.....	71
Tabela 3.6 -	Desdobramento 1 da interação dupla da análise de variância da perda de massa: método de preparo das partículas em relação às proporções de madeira:cimento.....	73
Tabela 3.7 -	Desdobramento 2 da interação dupla da análise de variância da perda de massa: proporção de madeira:cimento em relação aos métodos de preparo das partículas.....	76
Tabela 4.1 -	Valores médios observados de massa específica aparente a 12% de TU dos painéis.....	88
Tabela 4.2 -	Valores médios observados de absorção de água em 2 e 24 horas dos painéis.....	90
Tabela 4.3 -	Análise de variância de absorção de água (2 hs) dos painéis.....	93
Tabela 4.4 -	Análise de variância da absorção de água (24 hs) dos painéis.....	98
Tabela 4.5 -	Valores médios observados de inchamento em espessura em 2 e 24 hs dos painéis.....	103
Tabela 4.6 -	Análise de variância do inchamento em espessura (2 hs) dos painéis.....	105
Tabela 4.7 -	Análise de variância do inchamento em espessura (24 hs) dos painéis.....	111
Tabela 4.8 -	Valores médios observados de resistência ao fogo dos painéis.....	118
Tabela 4.9 -	Análise de variância da resistência ao fogo dos painéis.....	120
Tabela 5.1 -	Valores médios observados de módulo de elasticidade dos painéis.....	138
Tabela 5.2 -	Análise de variância do módulo de elasticidade (MOE) dos painéis.....	140
Tabela 5.3 -	Valores médios observados de módulo de elasticidade dos painéis.....	145
Tabela 5.4 -	Análise de variância do módulo de ruptura (MOR) dos painéis.....	147

Tabela 5.5 -	Valores médios observados de resistência ao arrancamento de parafusos dos painéis.....	153
Tabela 5.6 -	Análise de variância da resistência ao arrancamento de parafuso dos painéis.....	154
Tabela 5.7 -	Valores médios observados de ligação interna dos painéis....	156
Tabela 5.8 -	Análise de variância da ligação interna dos painéis.....	158

LISTA DE ANEXOS

Anexo 3.1 -	Valores verificados no ensaio de apodrecimento acelerado..	171
Anexo 4.1 -	Valores verificados nos ensaios físicos dos painéis.....	182
Anexo 4.2 -	Desdobramento 1 da interação dupla da análise de variância de absorção de água (2 hs) dos painéis: método de preparo das partículas em relação aos aditivos.....	187
Anexo 4.3 -	Desdobramento 2 da interação dupla da análise de variância de absorção de água (2 hs) dos painéis: aditivo em relação aos métodos de preparo das partículas.....	188
Anexo 4.4 -	Desdobramento 3 da interação dupla da análise de variância de absorção de água (2 hs) dos painéis: proporção de madeira:cimento em relação aos aditivos.....	188
Anexo 4.5 -	Desdobramento 4 da interação dupla da análise de variância de absorção de água (2 hs) dos painéis: aditivo em relação às proporções de madeira:cimento.....	188
Anexo 4.6 -	Desdobramento 1 da interação dupla da análise de variância da absorção de água (24 hs) dos painéis: método de preparo em relação às proporções de madeira:cimento...	189
Anexo 4.7 -	Desdobramento 2 da interação dupla da análise de variância da absorção de água (24 hs) dos painéis: proporção de madeira:cimento em relação aos métodos de preparo das partículas.....	189
Anexo 4.8 -	Desdobramento 3 da interação dupla da análise de variância da absorção de água (24 hs) dos painéis: método de preparo das partículas em relação aos aditivos.....	189
Anexo 4.9 -	Desdobramento 4 da interação dupla da análise de variância da absorção de água (24 hs) dos painéis: aditivo em relação aos métodos de preparo das partículas.....	190
Anexo 4.10 -	Desdobramento 1 da interação tripla da análise de variância do inchamento em espessura (2hs) dos painéis: método de preparo das partículas em relação às proporções de madeira:cimento e aos aditivos.....	190
Anexo 4.11 -	Desdobramento 2 da interação tripla da análise de variância do inchamento em espessura (2hs) dos painéis: proporção de madeira:cimento em relação aos métodos de preparo das partículas e aos aditivos.....	190
Anexo 4.12 -	Desdobramento 3 da interação tripla da análise de variância do inchamento em espessura (2hs) dos painéis: aditivo em relação aos métodos de preparo das partículas e às proporções madeira:cimento.....	191
Anexo 4.13 -	Desdobramento 1 da interação tripla da análise de variância do inchamento em espessura (24hs) dos painéis: método de preparo das partículas em relação às proporções de madeira:cimento e aos aditivos.....	192
Anexo 4.14 -	Desdobramento 2 da interação tripla da análise de variância do inchamento em espessura (24hs) dos painéis: proporção de madeira:cimento em relação aos métodos de preparo das partículas e aos aditivos.....	193

Anexo 4.15 -	Desdobramento 3 da interação tripla da análise de variância do inchamento em espessura (24hs) dos painéis: aditivo em relação aos métodos de preparo das partículas e às proporções de madeira:cimento.....	193
Anexo 4.16 -	Desdobramento 1 da interação tripla da análise de variância da resistência ao fogo dos painéis: método de preparo das partículas em relação às proporções de madeira:cimento e aos aditivos.....	194
Anexo 4.17 -	Desdobramento 2 da interação tripla da análise de resistência ao fogo dos painéis: proporção de madeira:cimento em relação aos métodos de preparo das partículas e aos aditivos.....	194
Anexo 4.18 -	Desdobramento 3 da interação tripla da análise de variância da resistência ao fogo dos painéis: aditivo em relação aos métodos de preparo das partículas e às proporções de madeira:cimento.....	195
Anexo 5.1 -	Valores verificados nos ensaios mecânicos dos painéis.....	196
Anexo 5.2 -	Desdobramento 1 da interação tripla da análise de variância do módulo de elasticidade dos painéis: método de preparo das partículas em relação às proporções de madeira:cimento e aos aditivos.....	203
Anexo 5.3 -	Desdobramento 2 da interação tripla da análise de variância do módulo de elasticidade dos painéis: proporção de madeira:cimento em relação aos métodos de preparo das partículas e aos aditivos.....	204
Anexo 5.4 -	Desdobramento 3 da interação tripla da análise de variância do módulo de elasticidade dos painéis: aditivo em relação aos métodos de preparo das partículas e às proporções de madeira:cimento.....	204
Anexo 5.5 -	Desdobramento 1 da interação tripla da análise de variância do módulo de ruptura dos painéis: método de preparo das partículas em relação às proporções de madeira:cimento e aos aditivos.....	205
Anexo 5.6 -	Desdobramento 2 da interação tripla da análise de variância do módulo de ruptura dos painéis: proporção de madeira:cimento em relação aos métodos de preparo das partículas e aos aditivos.....	205
Anexo 5.7 -	Desdobramento 3 da interação tripla da análise de variância do módulo de ruptura dos painéis: aditivo em relação aos métodos de preparo das partículas e às proporções de madeira:cimento.....	206
Anexo 5.8 -	Desdobramento 1 da interação dupla da análise de variância da ligação interna dos painéis: método de preparo das partículas em relação às proporções de madeira:cimento.....	206
Anexo 5.9 -	Desdobramento 2 da interação dupla da análise de variância da ligação interna dos painéis: proporção de madeira:cimento em relação aos métodos de preparo das partículas.....	207
Anexo 5.10 -	Desdobramento 3 da interação dupla da análise da ligação	

	interna dos painéis: método de preparo das partículas em relação aos aditivos.....	207
Anexo 5.11 -	Desdobramento 4 da interação dupla da análise de variância da ligação interna dos painéis: aditivo em relação aos métodos de preparo das partículas.....	207

SUMÁRIO

1	ASPECTOS GERAIS.....	19
1.1	INTRODUÇÃO GERAL.....	19
1.2	REVISÃO DE LITERATURA.....	21
1.2.1	Painéis cimento-madeira e seus componentes.....	21
1.2.1.1	<i>Cimento Portland.....</i>	21
1.2.1.2	<i>Cimento Portland de alta resistência inicial.....</i>	22
1.2.1.3	<i>Madeira.....</i>	23
1.2.1.4	Incompatibilidade química entre madeira e cimento.....	24
1.2.1.5	<i>Métodos de preparo da biomassa vegetal.....</i>	25
1.2.1.6	<i>Aditivos.....</i>	27
1.2.2	<i>Melia azedarach.....</i>	28
	REFERÊNCIAS.....	31
2	PRÉ-TRATAMENTO E PROPRIEDADES QUÍMICAS DAS PARTÍCULAS DE MADEIRA DE <i>Melia azedarach</i>.....	36
2.1	INTRODUÇÃO.....	36
2.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	37
2.2.1	Matéria-prima.....	37
2.2.2	Produção das partículas.....	39
2.2.3	Pré-tratamento das partículas de cinamomo.....	41
2.2.4	Análise química da madeira.....	42
2.2.5	Microanálise das partículas de cinamomo através de raios-X característicos por espectroscopia por energia dispersiva (EDS)..	46
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
2.3.1	Composição química das partículas de madeira de <i>Melia azedarach</i>.....	48
2.3.2	Resíduos de compostos químicos nas partículas de cinamomo.....	50
2.4	CONCLUSÕES.....	53
	REFERÊNCIAS.....	54
3	CONFECÇÃO DE PAINÉIS CIMENTO-MADEIRA DE <i>Melia azedarach</i> E SUA RESISTÊNCIA AO ATAQUE DE FUNGOS.....	57
3.1	INTRODUÇÃO.....	57
3.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	58
3.2.1	Matéria-prima.....	58
3.2.2	Delineamento experimental.....	59
3.2.3	Produção dos painéis.....	60
3.2.3.1	<i>Cálculo dos componentes dos painéis.....</i>	60
3.2.3.2	<i>Manufatura dos painéis.....</i>	61
3.2.4	Obtenção dos corpos de prova.....	64
3.2.5	Ensaio de apodrecimento acelerado.....	65
3.2.5.1	<i>Avaliação da perda de massa.....</i>	66
3.2.5.2	<i>Análise estatística.....</i>	67
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	67
3.3.1	Classificação da resistência dos painéis à perda de massa por ataque de <i>Pycnoporus sanguineus</i>.....	67
3.3.2	Análise da perda de massa dos painéis por ataque de <i>Pycnoporus sanguineus</i>.....	71

3.4	CONCLUSÕES.....	78
	REFERÊNCIAS.....	79
4	PROPRIEDADES FÍSICAS DOS PAINÉIS CIMENTO-MADEIRA DE <i>Melia azedarach</i>.....	83
4.1	INTRODUÇÃO.....	83
4.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	84
4.2.1	Matéria-prima.....	84
4.2.2	Propriedades físicas.....	85
4.2.2.1	<i>Determinação da massa específica dos painéis a 12% de TU.....</i>	85
4.2.2.2	<i>Inchamento em espessura e absorção de água.....</i>	85
4.2.2.3	<i>Resistência ao fogo.....</i>	86
4.2.3	Análise estatística.....	87
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	88
4.3.1	Massa específica aparente dos painéis a 12 % de TU.....	88
4.3.2	Absorção de água.....	89
4.3.2.1	<i>Absorção de água (2 hs): análise estatística.....</i>	92
4.3.2.2	<i>Absorção de água (24 hs): análise estatística.....</i>	97
4.3.3	Inchamento em espessura.....	103
4.3.3.1	<i>Inchamento em espessura (2hs): análise estatística.....</i>	104
4.3.3.2	<i>Inchamento em espessura (24 hs): análise estatística.....</i>	112
4.3.4	Resistência ao fogo.....	117
4.3.4.1	<i>Resistência ao fogo: análise estatística.....</i>	119
4.4	CONCLUSÕES.....	126
	REFERÊNCIAS.....	127
5	PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS DE CIMENTO-MADEIRA DE <i>Melia azedarach</i>.....	131
5.1	INTRODUÇÃO.....	131
5.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	132
5.2.1	Matéria-prima.....	132
5.2.2	Propriedades mecânicas.....	133
5.2.2.1	<i>Flexão estática.....</i>	133
5.2.2.2	<i>Arrancamento de parafusos.....</i>	135
5.2.2.3	<i>Tração perpendicular à superfície do painel.....</i>	136
5.2.3	Análise estatística.....	137
5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	138
5.3.1	Resistência à flexão estática (MOE).....	138
5.3.1.1	<i>Módulo de elasticidade: análise estatística.....</i>	139
5.3.2	Resistência à flexão estática (MOR).....	145
5.3.2.1	<i>Módulo de ruptura: análise estatística.....</i>	146
5.3.3	Resistência ao arrancamento de parafusos.....	152
5.3.3.1	<i>Resistência ao arrancamento de parafusos: análise estatística.....</i>	153
5.3.4	Resistência à tração perpendicular à superfície do painel (ligação interna).....	156
5.3.4.1	<i>Ligação interna: análise estatística.....</i>	157
5.4	CONCLUSÕES.....	164
	REFERÊNCIAS.....	165
6	CONCLUSÃO GERAL.....	168
7	RECOMENDAÇÕES.....	169
	ANEXOS.....	170

1 ASPECTOS GERAIS

1.1 INTRODUÇÃO GERAL

Desde 1920 as chapas de cimento-madeira são utilizadas na construção civil austríaca. Na Alemanha seu uso teve início em 1940, expandindo-se após a II Guerra Mundial para a Austrália, Estados Unidos e países da Ásia. Contudo, estes painéis só passaram a ser produzidos em larga escala em 1976 (LATORRACA, 2000).

A grande aceitação desses painéis se deve à utilização de aglomerante inorgânico, o que lhe confere propriedades de resistência ao fogo e ao ataque de fungos e cupins, superiores as de painéis à base de resinas sintéticas. Além disso, em função da presença da madeira em sua composição, estes painéis possuem propriedades de isolamento térmico e acústico (POMARICO, 2013).

Embora as madeiras de coníferas sejam as mais empregadas no contexto industrial para a manufatura de chapas cimento-madeira, a preocupação com o abastecimento futuro, dado o aumento do consumo de produtos madeireiros, impulsiona a busca por espécies alternativas que venham a suprir a demanda industrial (LATORRACA e IWAKIRI, 2001).

Na procura de opções economicamente viáveis para o setor madeireiro o estudo de diferentes espécies florestais é importantíssimo para elucidar os campos em que essas madeiras podem ser utilizadas.

O cinamomo (*Melia azedarach*) surge como uma boa alternativa, já que apresenta crescimento rápido e boa adaptação às condições edafoclimáticas brasileiras (VIVAN, 2005). Em países como Argentina e Paraguai esta espécie já é cultivada, tanto em plantios homogêneos quanto em sistemas agroflorestais, demonstrando crescimento acelerado e boa produção madeireira (BENITEZ, PECE e GALÍNDEZ, 2002). Na região de Misiones na Argentina plantios desta espécie atingem incrementos de 24 a 44 m³/ha.ano, com rotações de 8 a 12 anos (CARVALHO, 1998)

Além disso, diversas pesquisas têm demonstrado a viabilidade da utilização da madeira de cinamomo na produção de painéis aglomerados (HEGAZY & AREF, 2010; TRIANOSKI, 2010; IWAKIRI et al., 2012b; IWAKIRI et al., 2014) e compensados (RAHMAN et al., 2014; TRIANOSKI et al., 2015) gerando chapas de

grande qualidade física e mecânica. Contudo, ainda não foram desenvolvidos estudos que elucidem o desempenho desta madeira no que se refere à constituição de painéis compósitos do tipo cimento-madeira.

Apesar de suas vantagens, o compósito cimento-madeira possui como limitação em seu processo produtivo a incompatibilidade química entre algumas espécies de madeira e o cimento. Isso ocorre graças à presença de substâncias químicas na madeira, denominadas extrativos (compostos fenólicos, ácidos e açúcares) que retardam ou inibem a cura do aglomerante mineral (AZAMBUJA, et al., 2017; MORI et al., 2007; LATORRACA & IWAKIRI, 2000).

A madeira de cinamomo não é exceção, e seu teor de extrativos pode representar uma barreira na cura de aglomerantes minerais, como o cimento. Contudo o uso de tratamentos das partículas e de aditivos na constituição de painéis compostos por cinamomo pode minimizar esse problema.

O tratamento das partículas lenhosas utilizadas na fabricação de painéis cimento-madeira é empregado com a finalidade de tornar viável a utilização de madeiras com altos teores de extrativos. Esses tratamentos incluem a eliminação dos extrativos através de processos de imersão em água à temperatura ambiente, em água quente e em soluções alcalinas (como a solução de hidróxido de sódio), etc (SAVASTANO JÚNIOR, WARDEN & COUTTS, 2000). Pode ser utilizada a imersão em sais (como o sulfato de alumínio), capazes de recobrir a superfície das fibras. Esse recobrimento garante uma liberação mais lenta dos extrativos na mistura de cimento-madeira, permitindo assim que o cimento tenha tempo hábil para desenvolver as reações exotérmicas responsáveis por sua cura (BERALDO et al., 2002).

Além do tratamento das partículas, a inclusão de aditivos químicos à composição do painel pode acelerar o tempo de cura do cimento (BERALDO, et al., 2002). Os cloretos, em geral, são os aditivos mais utilizados, contudo há pesquisas que avaliam o uso de hidróxido de cálcio (AZAMBUJA et al., 2017) e sulfato de alumínio (MATOSKI, 2005) para este fim.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho de painéis compostos de cimento e partículas de madeira de *Melia azedarach*.

Entre os objetivos específicos destacam-se:

a) quantificar os compostos químicos presentes nas partículas de *Melia azedarach* in natura e tratadas; b) determinar a resistência dos painéis cimento-madeira de cinamomo ao ataque de fungos, considerando diferentes proporções de cimento, diferentes aditivos e diferentes tratamentos de partículas; c) avaliar a influência dos diferentes tratamentos das partículas, das diferentes proporções de cimento e dos diferentes aditivos, nas propriedades físicas e mecânicas de painéis cimento-madeira de cinamomo;

Para alcançar tais objetivos, o estudo foi dividido em capítulos:

Pré-tratamento e propriedades químicas das partículas de madeira de *Melia azedarach* (Capítulo I - item 2);

Confecção dos painéis cimento-madeira de *Melia azedarach* e sua resistência ao ataque de fungos (Capítulo II - item 3);

Propriedades físicas dos painéis cimento-madeira de *Melia azedarach* (Capítulo III - item 4)

Propriedades mecânicas dos painéis de cimento-madeira de *Melia azedarach* (Capítulo IV - item 5);

1.2 REVISÃO DE LITERATURA

1.2.1 Painéis cimento-madeira e seus componentes

1.2.1.1 Cimento Portland

O material comumente conhecido como cimento na construção civil, é na verdade o cimento Portland, criado por Joseph Aspdin em 1824. Nesta época o uso de pedra Portland, originária de uma ilha ao sul da Inglaterra, era comum na construção civil inglesa. Como o cimento tinha semelhanças na cor e na dureza com a pedra que era correntemente utilizada em construções, Aspdin decidiu registrar na patente do material desenvolvido o nome de cimento Portland (ABCP, 2002)

De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2017b), o cimento é um produto com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes. Ele se constitui de um pó fino que sofre endurecimento através de reações

ocasionadas pela presença de água. Após endurecer, o cimento se torna uma espécie de pedra artificial. Sua composição em pó permite que o cimento, antes da cura, possa ganhar formas e volumes diversos, atendendo assim às necessidades das diferentes obras. Todas essas características fazem do cimento um dos materiais mais utilizados pela humanidade, superado apenas pela água.

O Cimento Portland possui duas frações principais em sua composição: o clínquer, que é o principal componente e está presente em todos os tipos de cimento Portland; e as adições, que podem variar de um cimento para outro e que definem as diferenças entre eles (ABCP, 2002).

Segundo a ABCP (2002), o calcário e a argila são as matérias primas do clínquer. Para sua fabricação, a rocha calcária é primeiramente britada, em seguida moída e então é misturada com argila, também moída, em proporções adequadas. Esta mistura atravessa um forno giratório que possui grande diâmetro e comprimento. A temperatura interna do referido forno pode alcançar 1.450°C. Deste processo são geradas pelotas de clínquer ainda incandescentes. O clínquer é então bruscamente resfriado e posteriormente é moído, transformando-se assim em pó.

O desenvolvimento de uma reação química em presença de água é uma peculiaridade do clínquer. No decorrer desta reação, primeiramente o clínquer se torna pastoso e, em seguida, endurece, adquirindo elevada resistência e durabilidade. Esta característica do clínquer é sua propriedade mais importante e faz dele um ligante hidráulico muito resistente (ABCP, 2002).

As adições são definidas pela ABCP (2002), como matérias-primas que, ao serem misturadas ao clínquer na fase de moagem, permitem a fabricação de cimentos Portland com características diversas. As adições podem ser compostas por gesso, escórias de alto-forno, materiais pozolânicos e os materiais carbonáticos.

1.2.1.2 Cimento Portland de alta resistência inicial

A NBR 5733 (ABNT, 1991), que trata do Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI), afirma que este cimento é um aglomerante hidráulico que atende às exigências de alta resistência inicial, ou seja, atinge 34 MPa de resistência à compressão, aos 7 dias de idade. A resistência inicial desenvolvida pelo CP V-ARI é bem superior a do cimento comum, que só atinge esta resistência aos 28 dias de idade. O CP V-ARI é obtido através da moagem de clínquer Portland, constituído em

sua maior parte de silicatos de cálcio hidráulicos, ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio.

De acordo com a mesma norma, há a possibilidade de adição ou não de materiais carbonáticos, desde que observados os limites. Dessa forma, a composição desse tipo de cimento deve estar fixada nos limites demonstrados na Tabela 1.1.

Tabela 1.1 - Teores dos componentes do Cimento Portland de alta resistência inicial.

Sigla	Componentes (% em massa)	
CP V-ARI	Clínquer + sulfatos de cálcio	Material carbonático
	100 – 95	0 - 5

Fonte: NBR 5733 (ABNT, 1991), adaptada.

A designação CP V-ARI RS identifica esse mesmo tipo de Cimento Portland com resistência superior à ação de sulfatos (ABCP, 2017a).

Latorraca (2000), em seu estudo variando o tipo de cimento, espécies de madeira do gênero *Eucalyptus* e a granulometria de partículas do compósito cimento-madeira, concluiu que o CP V-ARI foi o mais adequado para ser utilizado em painéis de cimento-madeira, já que se demonstrou superior nas avaliações de temperatura máxima de hidratação, tempo para atingir máxima temperatura e resistência à compressão de corpos-de-prova cilíndricos.

1.2.1.3 Madeira

A madeira se caracteriza por apresentar natureza complexa, multicomponente, higroscópica, anisotrópica, heterogênea, descontínua, fibrosa, porosa, biodegradável e renovável. É graças à sua natureza fibrosa que a madeira pode ser caracterizada como anisotrópica, pois são as fibras que conferem a este material elevada resistência à tração para esforços aplicados na direção das mesmas e comportamento pobre para esforços aplicados transversalmente (MATOSKI, 2005).

As características físicas e químicas da madeira são aspectos fundamentais que têm grande influência na fabricação de painéis do tipo cimento-madeira.

Sobretudo porque, devido à quantidade de extrativos que podem estar presentes na madeira, nem todas as espécies reagem favoravelmente em combinação com o Cimento Portland (ALBERTO, MOUGEL & ZOULALIAN, 2000).

Segundo Simatupang et al. (1978), a madeira, para ser utilizada como agregado em compostos de cimento, deve possuir algumas propriedades específicas para que seu uso seja bem sucedido. As propriedades da madeira que influenciam no sucesso da fabricação de painéis compósitos de cimento são: densidade, conteúdo de umidade, usinabilidade e conteúdo de sílica.

A densidade básica da madeira para uso como elemento destes compósitos deve ser de média a baixa, a fim de assegurar a razão de compactação da chapa dentro de níveis adequados, garantindo assim a apropriada densificação e consolidação do material (IWAKIRI et al., 2000). Simatupang et al. (1978), por sua vez, afirmam que a massa específica da madeira utilizada para esta finalidade deve estar aproximadamente entre 0,3 e 0,8 g/cm³. Segundo os autores, se a madeira for exageradamente leve, as partículas não apresentarão a resistência adequada.

Os mesmos autores afirmam que, de modo geral, as espécies que vêm sendo utilizadas para fabricação de compensados e aglomerados, podem ser utilizadas na fabricação de painéis cimento-madeira, pois apresentam propriedades físicas adequadas para tal.

Outro fator que exerce influência acentuada sobre as propriedades das chapas é a dimensão das partículas utilizadas. Sobretudo no que se refere à flexão, a dimensão ótima das partículas deve estar entre 2 a 20 mm de comprimento, 0,2 a 2,5 mm de largura e 0,3 a 0,9 mm de espessura (IWAKIRI et al., 2012a). Segundo Matoski (2005), o consumo de cimento também é afetado pelo tamanho das partículas. Sendo assim, quanto menores as partículas e portanto maior a superfície específica das mesmas, maior a quantidade de pasta de cimento para recobri-las e, por conseguinte, maior a quantidade de água utilizada para essa pasta.

1.2.1.4 Incompatibilidade química entre madeira e cimento

De acordo com Pimienta et al. (1994), a madeira tem como principais constituintes a celulose, as hemiceluloses e a lignina. Em menor grau são encontrados numerosos extrativos, tais como taninos e resinas. Como a presença dessas substâncias depende da espécie, da origem e da idade da árvore, são os

três componentes principais supracitados que definem a composição química da madeira.

Os mesmos autores afirmam que provavelmente a celulose não reaja com o cimento, já que sua estrutura é parcialmente cristalina. Contudo, hemiceluloses podem se dissolver em água ou em meio alcalino. De acordo com Latorraca (2000) a dissolução dessas substâncias diminui o calor de hidratação do cimento, aumentando seu tempo de enrijecimento e diminuindo a resistência do compósito cimento-madeira.

Enquanto a lignina provavelmente não apresenta efeito inibitório, o tanino hidrolizável pode afetar a pega do cimento. Diversos açúcares simples (glicose, manose e galactose) apresentam diferentes graus de inibição da reação de hidratação do cimento e afetam, tanto esta reação, quanto a própria pega do cimento, através de diversos mecanismos (PIMIENTA et al., 1994).

Vários são os estudos que têm demonstrado que a capacidade de cura do cimento, em painéis do tipo cimento-madeira, é determinada pela composição química da madeira. Os principais responsáveis pelas reações de inibição da cura do cimento são os extrativos, cuja composição dos princípios ativos se baseia em compostos fenólicos e carboidratos livres. Sendo assim, partículas de madeiras recém abatidas são as menos adequadas para a fabricação desse tipo de painel, porque possuem uma taxa maior de amido do que partículas armazenadas durante algum tempo após o abate. O simples armazenamento da madeira proporciona a diminuição do conteúdo de amido, sacarose e frutose (SIMATUPANG et al., 1978).

De acordo com Latorraca (1996) o estudo do calor de hidratação do cimento em combinações com partículas de madeira é amplamente utilizado para identificar o nível de inibição da cura que determinadas espécies causam na mistura.

1.2.1.5 Métodos de preparo da biomassa vegetal

De acordo com Latorraca e Iwakiri (2000), apesar da incompatibilidade existente entre cimento e madeira, tratamentos adequados podem transformar espécies incompatíveis em aceitáveis, diminuindo, dessa forma, seus efeitos de inibição na cura do cimento. Conhecer e aplicar corretamente estes tratamentos é fundamental para um aumento no número de espécies que poderão ser utilizadas, juntamente com o cimento, na fabricação de painéis minerais.

Carvalho (2000) afirma que a lavagem das partículas proporciona a eliminação de certa quantidade de extrativos existentes na madeira. Contudo, a eficiência deste método está condicionada ao pH da solução, à temperatura (imersão quente ou fria) e ao tempo de extração, dentre outros fatores.

Aditivos químicos ou aceleradores de cura também podem ser utilizados no tratamento das partículas de madeira. Enquanto alguns aditivos (cloreto de cálcio) estão diretamente relacionados à cura do cimento, outros (cloreto férrico - FeCl_3 , sulfato férrico - $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, cloreto de magnésio - MgCl_2 , hidróxido de sódio - NaOH e hidróxido de cálcio - $\text{Ca}(\text{OH})_2$) possuem ação mais efetiva na minimização do efeito inibidor da madeira sobre a cura do cimento (MOSLEMI, GARCIA e HOFSTRAND, 1983).

Firmanti e Subiyanto (1998) obtiveram bons resultados, com redução da incompatibilidade entre cimento e madeira, no tratamento de partículas de *Acacia mangium* com hidróxido de sódio. Iwakiri et al (2015), ao testarem partículas de eucalipto tratadas com banho térmico, imersão em NaOH e imersão em $\text{Ca}(\text{OH})_2$, na fabricação de painéis cimento-madeira, encontraram, para partículas tratadas com hidróxido de sódio, valores superiores de módulo de ruptura.

De acordo com Lima (2005), substâncias que são usadas, tradicionalmente como aceleradores de cura do cimento também podem ser aplicadas no tratamento das partículas de madeira. Sukartana, Rushelia e Sulastiningsih (2000) afirmam que soluções salinas, como cloretos (cloreto de cálcio e cloreto de magnésio), sulfatos (sulfato de alumínio) e silicatos (silicato de sódio) atuam mineralizando as partículas de madeira, melhorando assim a compatibilidade entre madeira e cimento. Neste processo, ocorre a liberação de substâncias da madeira na solução, que impregna as paredes celulares das fibras com o sal utilizado.

Eusebio et al. (2000) encontraram, em seu estudo envolvendo diversas espécies madeireiras, aumento do módulo de ruptura de painéis cimento:madeira tratados com sulfato de alumínio. Lima (2005), conseguiu contornar a incompatibilidade com o cimento do resíduo misto de serraria utilizado em seu estudo para a fabricação de painéis cimento-madeira, com o uso de imersão das partículas em sulfato de alumínio.

1.2.1.6 Aditivos

De acordo com Matoski (2005) os aditivos têm a função de proporcionar melhoras físicas e econômicas a partir da alteração das propriedades normais do concreto e dos compósitos cimentícios. Esses produtos são encontrados no mercado na forma sólida ou líquida. Segundo Zucco (1999), os aditivos podem atuar como aceleradores, provocando o endurecimento mais rápido da mistura. Isto ocorre pela rápida formação da estrutura cristalina do cimento, que dessa forma antecede a liberação de substâncias inibidoras, contidas na madeira, e que sejam solúveis em água, em quantidades importantes, que seriam impeditivas para a ocorrência da reação exotérmica do cimento.

Azambuja et al. (2017) afirmam que o uso de aditivos químicos do grupo dos cloretos (CaCl_2 , FeCl_3 e SnCl_2), restringe o efeito inibitório da madeira na cura do cimento, gerando um incremento nas propriedades dos painéis.

Do mesmo modo, Matoski (2005) afirma que alguns dos aditivos geralmente utilizados são o cloreto de cálcio (CaCl_2) e o cloreto de magnésio (MgCl_2). De acordo com o autor, os dois compostos mostram-se eficientes como catalisadores nas reações de hidratação do cimento. Essa propriedade, contudo, se apresenta de forma mais discreta com a utilização do cloreto de magnésio. Os dois aditivos resultam em melhora na resistência à erosão e à abrasão dos painéis.

Por outro lado a presença do íon cloreto pode provocar corrosão de metais. Dessa forma, diversos estudos têm sido desenvolvidos com o objetivo de determinar a quantidade máxima permitida de cloreto na composição dos painéis, que reflita em menores índices de corrosão de peças metálicas (ANGST, 2009). De qualquer forma, por questão de segurança, esses aditivos não são recomendados para estruturas de cimento que tenham contato com estruturas metálicas (MATOSKI, 2005).

O sulfato de alumínio pode ser utilizado como acelerador de cura, sendo inclusive, considerado melhor do que os aditivos à base de cloreto para algumas espécies de madeira (MATOSKI, 2005).

1.2.2 *Melia azedarach*

A espécie *Melia azedarach* (cinamomo) é originária da Índia e da China. Pertencente à família Meliaceae, possui folhas decíduas, alternas, reunidas na extremidade dos ramos. Os pecíolos são longos e as folhas são compostas e bipinadas. As inflorescências são axilares, ramificadas, com flores pequenas, lilás-rosáceas, perfumadas e formadas de setembro a novembro. Os frutos são marrom-amarelados, ovóide-arredondados do tipo drupa (LORENZI et al., 2003). Esta espécie é bastante cultivada na Argentina e no Paraguai (CARVALHO, 1998) e surge de forma subespontânea nas regiões sul e sudeste do Brasil (LORENZI et al., 2003).

Levando em consideração as descrições gerais sobre o habitat desta espécie, o cinamomo exige sol aberto para o seu desenvolvimento, não tolerando a sombra (TRIANOSKI, 2010), já que é uma espécie pioneira (LELES et al., 2014). Além disso, esta árvore se mostra bem adaptada a solos úmidos e é bastante tolerante ao calor e à seca, assim como a condições de solo pobre. Em sua área de distribuição natural, esta espécie consegue suportar precipitações que variam entre 450 e 1250 mm, e temperaturas máximas que podem chegar a 49°C (TRIANOSKI, 2010). Apresenta rápido crescimento, podendo alcançar de 6 a 8 metros de altura em um período de 5 anos de idade. Sua altura máxima gira em torno de 12 a 16 metros (HENDERSON, 1991).

Venson (2003) observa que o cinamomo adaptou-se bem em toda a América, desde a América do Norte, até a América do Sul. Vivan (2005) relata que, na região sul do Brasil esta espécie apresentou um grau de adaptação edafoclimática alto, produzindo madeira de ótima qualidade.

Backes e Irgang (2004), afirmam que o cinamomo é uma planta de grande rusticidade, de rápido crescimento e fácil cultivo, podendo atingir, de acordo com Carvalho (1998), incrementos de 24 a 44 m³/ha.ano. Martinez (2002) comenta que esta espécie é a mais promissora, no que se refere à sua utilização, dentro da família Meliaceae, pois tem ampla adaptabilidade e crescimento rápido. Além disso, é uma planta que possui importantes propriedades terapêuticas, inseticidas, tóxicas, entre outras.

A madeira de cinamomo apresenta resistência à ação de agentes biológicos. Pêgas (2007), ao avaliar a resistência natural de nove espécies de madeiras ao

ataque de *Coptotermes gestroi* (cupim subterrâneo), concluiu que a madeira de cinamomo apresentou alta resistência ao ataque das térmitas, com apenas 5,94% de perda de massa. Trevisan, Marques e Carvalho (2008) ao avaliar o desempenho da resistência natural de toras de cinco espécies florestais em ambiente de mata e em ambiente de campo aberto, verificaram que as toras de cinamomo foram as menos degradadas por cupins e coleobrocas. Machado et al. (2013), em estudo sobre a resistência de *Eucalyptus grandis* e *Melia azedarach* ao ataque de fungos apodrecedores, concluíram que a madeira de cinamomo apresenta resistência ao ataque dos fungos *Gloeophyllum trabeum* e *Pycnoporus sanguineus*. Os limonóides, presentes no cinamomo, são os principais responsáveis pela bioatividade desta espécie. Estas substâncias apresentam propriedades de inibição do crescimento e/ou da alimentação de insetos (MATIAS et al., 2002).

O lenho do cinamomo possui densidade de 0,40 a 0,50 g/cm³ (PÉREZ et al., 2004). É considerado moderadamente estável, apresentando contração volumétrica de 11,95% (VENSON, 2003). Apresenta boa qualidade de colagem, bom acabamento e boa trabalhabilidade em geral (BOBADILLA, 2004). De acordo com Backes e Irgang (2004), sua madeira é de boa qualidade podendo ser utilizada na fabricação de móveis finos.

Pesquisas recentes têm avaliado o uso de partículas de madeira de cinamomo na composição de painéis reconstituídos. Rahman et al. (2014), ao compararem painéis compensados comerciais com painéis compensados produzidos com madeira de cinamomo, encontraram propriedades físicas e mecânicas superiores nos painéis de *Melia azedarach*. Da mesma forma, Trianoski et al. (2015), estudando a manufatura de compensados com esta espécie florestal, concluíram que o cinamomo apresenta alta viabilidade técnica, com boa qualidade de colagem, para a produção deste tipo de painel.

Hegazy e Aref (2010), ao avaliarem o desempenho do cinamomo na manufatura de painéis aglomerados, encontraram valores de módulo de ruptura, módulo de elasticidade e colagem interna aceitáveis em chapas produzidas com densidade de 750 kg/m³.

Já Iwakiri et al. (2015), ao avaliarem o desempenho do uso de quatro espécies florestais na produção de aglomerados do tipo OSB, concluíram que os painéis produzidos com partículas de cinamomo apresentaram boas propriedades físicas e mecânicas.

Trianoski (2010), por sua vez, ao estudar a viabilidade de uso de partículas de 5 espécies florestais alternativas na fabricação de painéis aglomerados, concluiu que o cinamomo foi uma das espécies com maior potencial para a fabricação desses painéis.

Da mesma forma, Iwakiri et al. (2012b), ao compararem o desempenho de painéis aglomerados multicamadas produzidos com *Melia azedarach* e *Pinus taeda*, concluíram que o cinamomo produziu painéis com melhores resultados de propriedades físico-mecânicas. Segundo os autores, isto é um indicativo do grande potencial da espécie para a produção de painéis aglomerados.

REFERÊNCIAS

- ABCP. Associação Brasileira de Cimento Portland. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. 7. ed. São Paulo, 2002. 28 p.
- ABCP. Associação Brasileira de Cimento Portland. **A versatilidade do cimento brasileiro**. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/conteudo/basico-sobre-cimento/tipos/a-versatilidade-do-cimento-brasileiro>>. Acesso em: 10 out. 2017a.
- ABCP. Associação Brasileira de Cimento Portland. **Básico sobre cimento**. Disponível em <<http://www.abcp.org.br/conteudo/basico-sobre-cimento/basico/basico-sobre-cimento>>. Acesso em: 10 out. 2017b.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5733: cimento Portland de alta resistência inicial**. Rio de Janeiro. 1991. 5 p.
- ALBERTO, M. M.; MOUGEL, E.; ZOULALIAN, A. Compatibility of some tropical hardwoods species with Portland cement using isothermal calorimetry. **Forest Products Journal**, Madison, v. 50, n. 9, p. 83-88, sept/oct. 2000.
- ANGST, U. et al. Critical chloride content in reinforced concrete - a review. **Cement and Concrete Research**, v.39, n. 12, p.1122-1138, 2009. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008884609002099>>. Acesso em: 15 jun. 2017.
- AZAMBUJA, R. R. et al. Particle size and lime addition on properties of wood-cement composites produced by the method of densification by vibro compaction. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 47, n 07, 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782017000700301&lng=pt&nrm=iso&tlng=en>. Acesso em: 2 out. 2017.
- BACKES, P.; IRGANG, B. **Árvores cultivadas no sul do Brasil**. 1. ed. Porto Alegre, 2004. 204 p.
- BERALDO, A. L., et al. Compósitos à base de resíduos vegetais e cimento Portland. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 8., 2002, Uberlândia/MG. **Anais...** Uberlândia/MG: EBRAMEM, 2002. p.120-126.
- BENITEZ C. G., PECE M., GALÍNDEZ M. J., RÍOS N. Estimación del crecimiento y producción de una plantación de paraíso gigante (*Melia azedarach* var. *gigantea*) sin riego en la Provincia de Santiago del Estero. **Quebracho Revista de Ciencias Forestales** n. 9: p. 127-140, 2002.
- BOBADILLA, E. A. **Durabilidad natural de la madera de cinco especies aptas para la industria de la construcción**. 2004. 118 p. Disertación (Maestría em Tecnología de Madera, Celulosa y Papel) Universidad Nacional de Misiones, Misiones, 2004.

CARVALHO, J. V. **Aproveitamento de resíduos particulados da madeira de *Eucalyptus grandis* na fabricação de compósitos à base de cimento Portland.** 2000. 82 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

CARVALHO, P. E. R. Espécies introduzidas alternativas às dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* para reflorestamento no Centro-Sul do Brasil. In: GALVAO, A. P. M. (Coord.). **Espécies não tradicionais para plantios com finalidades produtivas e ambientais.** Colombo: Embrapa Florestas, 1998. p. 75-99.

EUSEBIO, D. A. et al. Manufacture of low-cost wood-cement composites in the Philippines using plantation-grown australian species: II. Acacias. In: WOOD-CEMENT COMPOSITES IN THE ASIA PACIFIC REGION, 1., 2000., Canberra. **Anais...** Canberra: ACIAR, 2000. p. 13-23.

FIRMANTI, A., SUBIYANTO, B. 1998. Effect of high temperature on the compressive strength of cement-wood composites of some tropical fast growing species. In.: PACIFIC RIM BIO-BASED COMPOSITES SYMPOSIUM, 4., 1998., Bogor, Indonesia. **Anais...** Bogor: YS, 1998. p. 446-451.

HEGAZY, S. S.; AREF, I. M. Suitability of Some Fast-Growing Trees and Date Palm Fronds for Particleboard Production. **Forest Products Journal**, Madison, v. 60, n. 7/8. p. 599-604, nov/dec. 2010.

HENDERSON, L. Invasive alien woody plants of the northern Cape. **Bothalia**, Durbanville, v. 21, n. 2, p. 177-189, oct. 1991.

IWAKIRI, S. et al. Avaliação do potencial de uso da madeira de *Acrocarpus fraxinifolius*, *Grevilea robusta*, *Melia azedarach* e *Toona Ciliata* para a produção de painéis OSB. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 2, p. 277-284, abr./jun. 2014.

IWAKIRI, S. et al. Avaliação do potencial de utilização da madeira de *Schizolobium amazonicum* "Paricá" e *Cecropia hololeuca* "Embaúba" para a produção de painéis cimento-madeira. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 2, p. 303-308, abr./jun. 2012a.

IWAKIRI, S. et al. Produção de painéis aglomerados homogêneos e multicamadas de *Melia azedarach* (cinamomo) e *Pinus taeda* com diferentes teores de resina. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 3, p. 465-470, jul./set. 2012b.

IWAKIRI, S. et al. Propriedades tecnológicas de painéis cimento-madeira produzidos com partículas de eucalipto. **Rev. Ciên. Agrovet.**, Lages, v.14, n.3, p.217-223, 2015.

IWAKIRI, S. et al. Resíduos de serraria na produção de painéis de madeira aglomerada de Eucalipto. **Scientia Agrária**, UFPR – Curitiba, vol. 1, n.1-2, p.23-28, 2000.

LATORRACA, J. V. F. **Estudo da viabilidade do uso da espécie *Eucalyptus dunnii* (Maid) na manufatura de painéis de madeira-cimento.** 1996. 111 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 1996.

LATORRACA, J. V. F. ***Eucalyptus* spp. na produção de painéis de cimento-madeira**. 2000. 182 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2000.

LATORRACA, J. V. F.; IWAKIRI, S. Efeitos do tratamento das partículas de *Eucalyptus dunnii* (Maiden), da variação da relação madeira-cimento e do uso de aditivos sobre as propriedades físicas e mecânicas de chapas de madeira-cimento. **Cerne**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 068-076, fev./mar. 2000.

LATORRACA, J. F. V.; IWAKIRI, S. Efeito da cura a vapor sobre as propriedades mecânicas de painéis de cimento-madeira. **Floresta e ambiente**, Rio de Janeiro, v. 8, n.1, p. 84-93, jan./dez. 2001.

LELES, P. S. S., et al. Crescimento e Biomassa de *Melia azedarach* L. em Diferentes Espaçamentos e Características Tecnológicas da Madeira Visando à Produção de Carvão. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 2, p. 214-223, 2014.

LIMA, A. M. **Influência de três tipos de tratamentos físicos na resistência à compressão de compósitos cimento-madeira à base de resíduo de serraria**. 2005. 112 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Federal do Pará, Belém, 2005.

LORENZI, H., et al. **Árvores exóticas no Brasil**: madeireiras, ornamentais e aromáticas. 1. ed. Nova Odessa: Instituto Platarum, 2003. 368 p.

MACHADO, S. F.; et al. Resistência natural da madeira de *Melia azedarach* ao ataque de fungos apodrecedores. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA, 1., 2013, Petrópolis. **Anais...** Petrópolis: UFRJ, 2013. Disponível em: <<http://cbcm2013.org/node/1842>>. Acesso em: 15 out. 2013.

MARTINEZ, S. S. **O NIM – *Azadirachta indica***: natureza, usos múltiplos, produção. Instituto agrônomo do Paraná. 1. ed. Londrina: IAPAR, 2002. 142 p.

MATIAS, R. et al. *Melia azedarach*, uso popular x estudos químicos e farmacológicos: breve revisão. **Ensaio e Ciência**, Campo Grande, v. 6, n. 1, p. 91-121, 2002.

MATOSKI, A. **Utilização de pó de madeira com granulometria controlada na produção de painéis de cimento-madeira**. 2005. 187 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2005.

MORI, F. A. et al. Estudo da compatibilidade entre a madeira e as cascas de *Eucalyptus grandis* e cimento Portland. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 3, p. 257-264, jul./set. 2007.

MOSLEMI, A. A.; GARCIA, F. J.; HOFSTRAND, A. D. Effect of various treatments and additives on wood-portland cement-water systems. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 15, n. 2, p. 164-176, may./jul. 1983.

PÊGAS, M. R. A. **Resistência natural de nove espécies de madeiras ao ataque de *Coptotermes gestroi* (Wasmann, 1896) (Isoptera: Rhinotermitidae)**. 2007. 17 p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal)–Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

PÉREZ, V. R. et al. Crecimiento estacional del diámetro normal de *Melia azedarach* L. var. *Gigantea* em diversas densidades. **Revista de Ciencia y Tecnologia**, Argentina, v. 2, n. 2, p. 62-71, sep. 2004.

PIMIANTA, P. et al. Étude de faisabilité des procédés de construction à base de béton de bois. **Cahiers du CSTB**, Paris, n. 2703, p. 12-36, jan./fev. 1994.

POMARICO, F. A. **Potencial de utilização da madeira de clones de eucalipto na produção de painéis cimento-madeira**. 2013. 69 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2013.

RAHMAN, M. K. et al. Physical and mechanical properties of ghora neem (*Melia azedarach*) plywood. **Bangladesh J. Sci. Ind. Res.**, Bangladesh, v. 49, n.1, p. 47-52, 2014.

SAVASTANO JUNIOR, H.; WARDEN, P. G.; COUTTS, R. S. P. Brazilian Waste Fibres as Reinforcement For Cement-Based Composites. **Cement & Concrete Composites**, Kidlington, v. 22, n. 5, p. 379-384, 2000.

SIMATUPANG, M. H. et al. Small scale plants for the manufacture of mineral-bonded wood composites. In.: WORLD FORESTRY CONGRESS, 8., 1978 Jakarta. **Proceedings...** Jakarta: Special Paper, 1978, 21 p.

SUKARTANA, P., RUSHELIA, R., SULASTININGSIH, I. M. Resistance of Wood- and Bamboo-Cement Boards to subterranean termite *Coptotermes gestroi* Wasmann (Isoptera: Rhinotermitidae). In: WOOD-CEMENT COMPOSITES IN THE ASIA PACIFIC REGION, 1., 2000, Caberra. **Anais...** Canberra: ACIAR, 2000. p. 62-65.

TREVISAN, H.; MARQUES, F. M. T.; CARVALHO, A. G. Degradação natural de toras de cinco espécies florestais em dois ambientes. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 1, p. 33-41, jan./mar. 2008.

TRIANOSKI, R. **Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para a produção de painéis de madeira aglomerada**. 2010. 260 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)–Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

TRIANOSKI, R. et al. Avaliação das propriedades de painéis compensados de *Melia azedarach* L. produzidos com diferentes gramaturas e tempos de prensagem. **Revista Árvore**, Viçosa, v.39, n.4, p.759-768, 2015.

VENSON, I. **Estudio de las propiedades de la madera de *Melia azedarach* Linn.** 2003. 119 p. Disertación (Maestría en Ciencia de Productos Forestales)-Universidad de Guadalajara, Guadalajara, 2003.

VIVAN, M. P. **Uso do cinamomo (*Melia azedarach*) como alternativa aos agroquímicos no controle do carrapato bovino (*Boophilus microplus*)**. 2005. 72 p. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas)-Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

ZUCCO, L. L. **Estudo da Viabilidade de Fabricação de Placas de Compósitos à Base de Cimento e Casca de Arroz**. 1999, 118 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Escola de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

2 PRÉ-TRATAMENTO E PROPRIEDADES QUÍMICAS DAS PARTÍCULAS DE MADEIRA DE *Melia azedarach*

2.1 INTRODUÇÃO

Embora o universo de fabricação de painéis reconstituídos de madeira seja baseado na utilização das madeiras de eucalipto e, sobretudo de pinus, a busca por outras espécies madeireiras pode identificar potenciais até então desconhecidos.

Neste contexto, a madeira de cinamomo se mostra promissora, dado seu rápido crescimento, massa específica, fácil cultivo e boa adaptabilidade às condições edafoclimáticas do sul de nosso país.

Embora a literatura já discorra sobre a constituição química do lenho do cinamomo, Zobel e Van Buijtenen (1989) chamam a atenção para o fato de que a qualidade do sítio, a localização geográfica e os índices de precipitação na área em que as árvores se desenvolvem, afetam o processo de formação da madeira, influenciando nas taxas dos constituintes químicos presentes no lenho.

Contudo, interações químicas entre alguns componentes das partículas de madeira e o cimento podem gerar o retardamento ou até o impedimento de cura dos painéis, com perdas em termos de resistência física e mecânica nestas situações. Andrade (2006) afirma que os constituintes químicos da madeira têm grande influência sobre as propriedades dos produtos elaborados.

Neste aspecto, é justamente a celulose, dada sua parcial cristalinidade, a responsável pelo incremento das propriedades físico-mecânicas dos painéis (BILCATI, 2015), e graças a esta característica, este polímero não reage negativamente durante o processo de cura do cimento (PIMIENTA et al., 1994).

Os mesmos autores afirmam que a lignina não apresenta efeito inibitório na constituição de painéis cimento-madeira. De acordo com Pomarico (2013) e Simatupang et al. (1978), são os extrativos, cujos princípios ativos são compostos fenólicos e carboidratos livres, que são os principais responsáveis pelo retardamento da cura do cimento na confecção de painéis cimento-madeira.

A incompatibilidade da madeira com o cimento pode ser minimizada com o tratamento prévio das partículas de madeira. Esse tratamento pode ser feito através de diferentes tipos de imersão dessas partículas, tais como: em água fria, em água quente, em solução de NaOH, em solução de Ca(OH)_2 , em solução de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$,

etc. (IWAKIRI, et al., 2015; LIMA, 2005; LATORRACA, 2000). Alguns desses processos, como as imersões em água fria, quente e em hidróxido de sódio, agem solubilizando parte dos extrativos da madeira, tornando-a dessa forma menos incompatível com o cimento (CARVALHO, 2000). Outros tratamentos, como a imersão em solução de sulfato de alumínio, no entanto, agem mineralizando as partículas, ou seja, impregnando as paredes celulares, tornando-as assim menos reagentes em contato com o aglomerante mineral (SUKARTANA et al., 2000).

Contudo, estes tratamentos devem ser realizados respeitando-se as recomendações da literatura no que se refere às concentrações dos compostos químicos, quando houverem, nas soluções de imersão. Outro cuidado que deve ser tomado após a realização desses tratamentos é a lavagem criteriosa das partículas tratadas, já que alguns compostos alcalinos, como NaOH, podem prejudicar as fibras da madeira se permanecerem em contato com as mesmas (POMARICO, 2013).

Sendo assim, o presente capítulo teve como objetivo avaliar a composição química das partículas de madeira de cinamomo não tratadas e tratadas, com banho térmico, imersão em NaOH e imersão em $Al_2(SO_4)_3$, e identificar, nas partículas, a presença de resíduos dos compostos utilizados em seu tratamento.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Matéria-prima

A madeira utilizada neste experimento foi proveniente de material obtido em plantio de propriedade particular, no município de Ilópolis - RS (28°54'25"S e 52°06'21"W e altitude de 696 metros). A região se caracteriza pelo clima subtropical úmido e pela predominância de argissolo. A Figura 2.1 ilustra a localização geográfica da região de coleta do material para o estudo.

Figura 2.1 - Local de coleta da madeira de cinamomo para o estudo.



Fonte: (WIKIMEDIA, 2015).

Para o experimento foram abatidas aleatoriamente 18 árvores, com DAP (diâmetro à altura do peito) médio de 50 cm, altura média de 8 metros e com aproximadamente 12 anos de idade, localizadas em plantio consorciado com erva-mate (Figura 2.2).

Figura 2.2 - Plantio consorciado de erva-mate com *Melia azedarach* à direita e com *Pinus taeda* à esquerda.



Fonte: Autora.

A água utilizada no experimento foi obtida diretamente da rede pública de distribuição. O sulfato de alumínio e o hidróxido de sódio necessários para os tratamentos, foram adquiridos no comércio varejista local.

2.2.2 Produção das partículas

Após o abate das árvores, foram retiradas as duas primeiras toras, com comprimento de 2,50 m cada, de cada um dos indivíduos, totalizando 32 toras. Dada a irregularidade das toras optou-se por desdobrá-las no formato de discos de cerca de 5 cm de espessura. Os discos foram descascados, com o auxílio de uma machadinha, com a finalidade de adaptar sua geometria à fabricação das lascas em moinho de facas. Na seqüência este material foi mantido submerso em água, em tanque de alumínio, evitando assim a perda de umidade e garantindo sua saturação para melhor desempenho na etapa seguinte.

Em seguida, os discos saturados foram transformados em lascas de dimensões aproximadas de 50 mm de largura x 70 mm de altura x 0,55 mm de espessura, em moinho de facas (Flaker), como demonstrado na Figura 2.3.

Figura 2.3 - Equipamento do tipo Flaker e lascas produzidas a partir dos discos de cinamomo.



Fonte: Autora.

As lascas obtidas foram submetidas à secagem ao ar por cerca de 15 dias, tendo posteriormente as dimensões reduzidas em moinho de martelos, equipado com peneira com orifícios de 8,00 mm de diâmetro. Por fim, as partículas foram submetidas à peneiragem em peneira de malha de 0,6 mm de aresta, para descarte dos finos. As partículas utilizadas foram as que ficaram retidas na malha da peneira (Figura 2.4)

Figura 2.4 - Partículas após processamento em moinho de martelos e classificação.



Fonte: Autora.

2.2.3 Pré-tratamento das partículas de cinamomo

Os tratamentos das partículas de madeira utilizados neste experimento compreenderam: banho térmico, imersão em sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) e imersão em hidróxido de sódio (NaOH) (Tabela 2.1). A concentração de partículas em todos os tratamentos foi de 500 gramas para cada 10 litros de água.

Tabela 2.1 - Preparo das partículas de cinamomo.

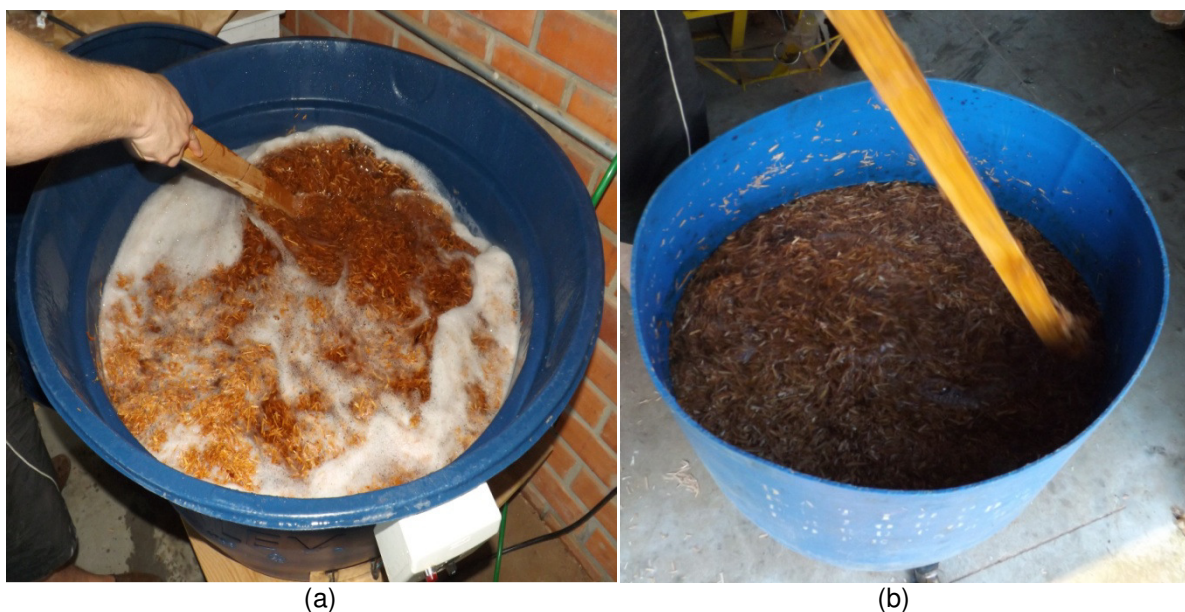
Método de preparo	Tempo (h)	Temperatura (°C)	Concentração (%)
Testemunha	-	-	-
Banho térmico	1	80	-
Imersão em NaOH	24	Ambiente	1
Imersão em $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	24	Ambiente	1

Fonte: Autora.

O tratamento de banho térmico foi realizado de acordo com o proposto por Latorraca (2000). Sendo assim, as partículas foram imersas em caixa d'água (Figura 2.5a), dotada de resistência, com água à 80°C, durante o período de uma hora, sob

agitação periódica. Posteriormente as partículas foram lavadas com água corrente à temperatura ambiente e sofreram processo de secagem ao ar livre.

Figura 2.5 - Tratamento das partículas: (a) banho térmico; (b) imersão em $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.



Fonte: Autora.

Os processos de imersão das partículas em solução de NaOH e $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ tiveram como balizadores, respectivamente, os trabalhos de Latorraca (2000) e de Lima (2005). Dessa forma, nos dois tratamentos, as partículas foram imersas em tonel plástico contendo solução de NaOH ou $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ a 1% (FIGURA 2.5b), durante 24 horas, sob agitação periódica.

Em seguida o material foi lavado com água corrente, com o auxílio de uma peneira, com malha de 0,6 mm de aresta, para evitar a perda de partículas. Por fim o material foi submetido à secagem ao ar livre.

2.2.4 Análise química da madeira

Para a realização das análises químicas da madeira de cinamomo foram utilizadas as partículas obtidas em moinho de martelos e previamente tratadas conforme descrito anteriormente, além das partículas sem tratamento. As partículas foram reprocessadas em moinho de facas laboratorial e classificadas em peneiras

com malhas de 40 e 60 mesh. Apenas o material retido na peneira de 60 mesh foi utilizado nas análises químicas.

Todas as análises químicas foram realizadas em triplicata, no Laboratório de Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira da Universidade Federal de Pelotas, de acordo com as normas da *Technical Association of the Pulp and Paper Industry* (TAPPI), que são indicadas na Tabela 2.2.

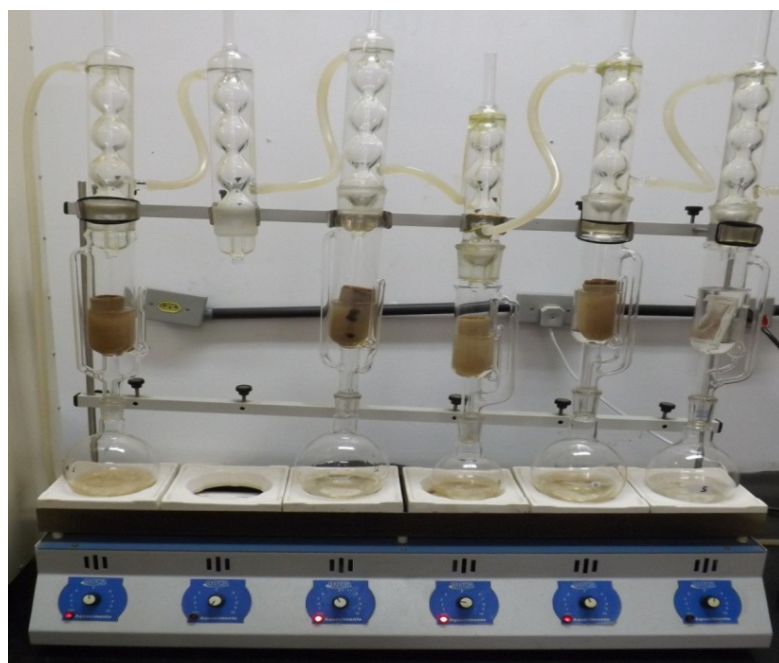
Tabela 2.2 - Metodologia e normativas utilizadas para caracterização química da madeira de *Melia azedarach* não tratada e tratada.

Análises	Metodologia
Extrativos totais	T 264 cm (TAPPI, 1997)
Lignina Klason	T 222 om (TAPPI, 1998)
Materiais inorgânicos ou cinzas	T 211 om (TAPPI, 1993)

Fonte: Autora.

Para determinação dos extrativos totais, dois gramas das amostras foram extraídas com álcool etílico, etanol:touleno (1:2, v v⁻¹) em bateria de extração (Figura 2.6). Após a extração, as amostras foram lavadas com água destilada, filtradas e secas em estufa por 24 horas. Realizou-se em seguida a pesagem das amostras obtendo-se assim a massa das mesmas livres de extrativos. Subtraindo-se este valor da massa das amostras antes da extração, foi possível quantificar percentualmente os extrativos das partículas.

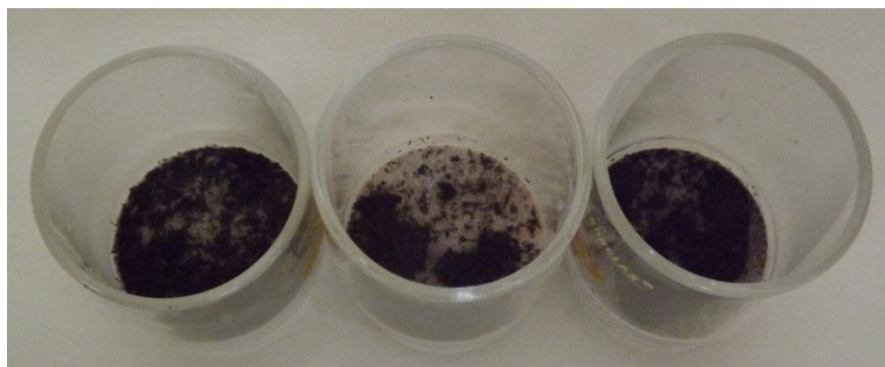
Figura 2.6 - Bateria de extração de amostras de cinamomo.



Fonte: Autora.

A determinação de Lignina Klason (insolúvel) consistiu no tratamento de um grama das amostras, livre de extrativos, com 15 ml de solução de ácido sulfúrico a 72%, durante duas horas à temperatura de 20°C e durante 4 horas sob fervura com adição de 560 ml de água destilada. Em seguida o material restante foi lavado, filtrado e levado à estufa por 24 horas. Este procedimento dissolveu a porção polissacarídica das partículas, restando apenas a lignina (Figura 2.7).

Figura 2.7 - Lignina restante após determinação de Lignina Klason.



Fonte: Autora.

Os componentes minerais (cinzas) foram quantificados após a calcinação de um grama de amostra, em cadinho (Figura 2.8), a $575\pm 25^{\circ}\text{C}$, por 3 horas, em mufla. Após a calcinação foram aguardadas 8 horas para resfriamento da mufla e os cadinhos foram postos em dessecador para climatização. O peso restante, após todo o procedimento, representou a quantidade de cinzas e, portanto, de minerais presentes nas amostras.

Figura 2.8 - Amostras preparadas para quantificação de minerais.



Fonte: Autora.

A holocelulose foi determinada conforme descrito por Latorraca (2000). Sendo assim, após a obtenção do teor total de extrativos, do teor de lignina e do teor de cinzas, o teor aproximado de holocelulose foi determinado pela Equação 2.1.

$$\text{Holocelulose} = 100 - (\text{EX} + \text{LG} + \text{CZ}) \quad (2.1)$$

Em que:

Holocelulose = teor aproximado de holocelulose, em %;

EX = teor de extrativos, em %;

LG = teor de lignina, em %;

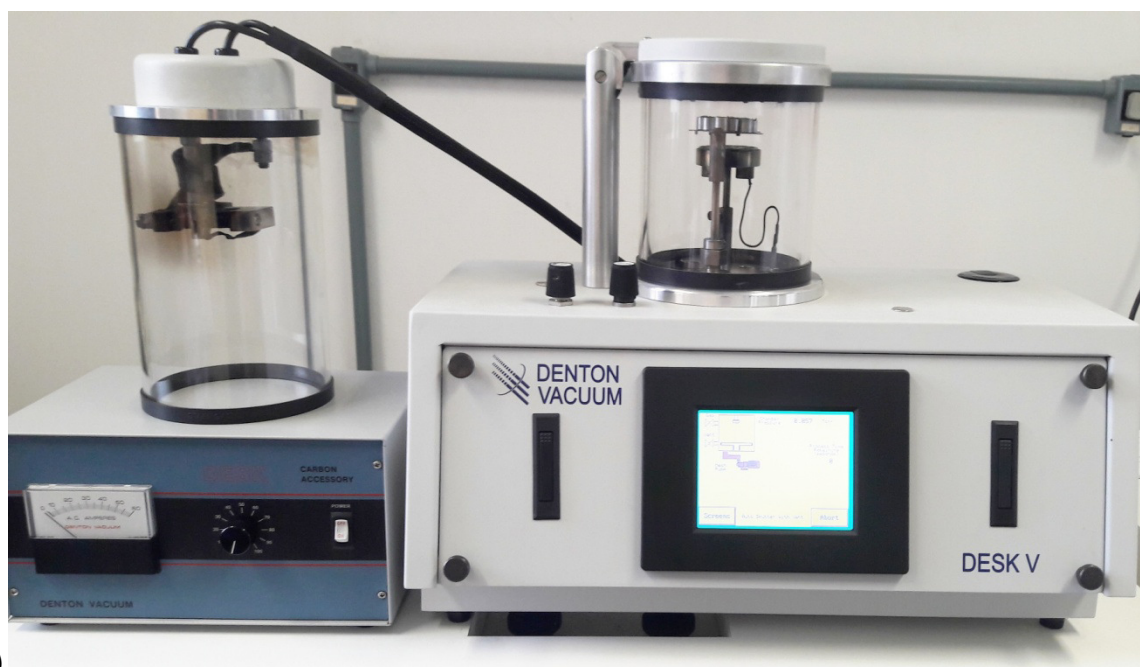
CZ = teor de cinzas, em %.

2.2.5 Microanálise das partículas de cinamomo através de raios-X característicos por espectroscopia por energia dispersiva (EDS).

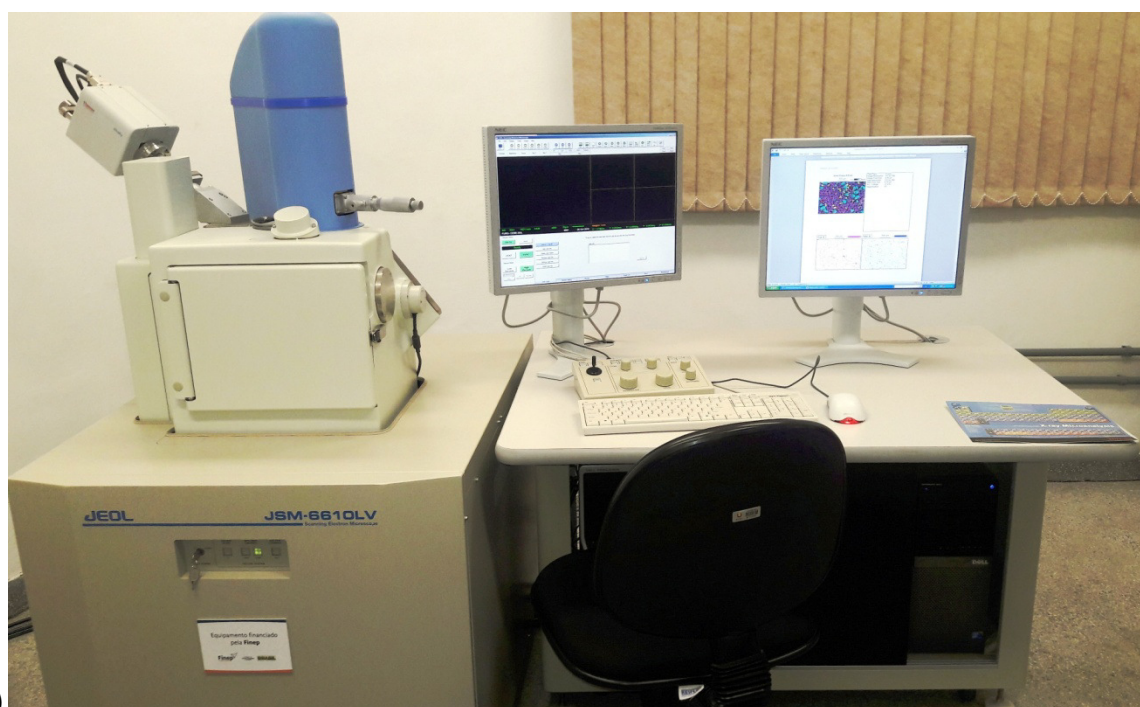
A microanálise das partículas de madeira de *Melia azedarach* foi realizada com a finalidade de detectar possíveis resíduos das substâncias utilizadas no tratamento dessas partículas. Para a realização desta análise foram utilizadas as partículas obtidas em moinho de martelos sendo tratadas e não tratadas conforme descrito anteriormente.

As análises foram realizadas em triplicata, no Centro de Microscopia Eletrônica da Zona Sul (CEME-SUL) da Universidade Federal de Rio Grande (FURG). O preparo das amostras para análise consistiu em recobrir as mesmas com ouro com o auxílio de um "Sputtering" de ouro e carbono, Denton Vacuum Desk V (Figura 2.9a). As análises propriamente ditas foram realizadas através de um microscópio eletrônico de varredura, Jeol, JMS - 6610LV, com microsonda de EDS (espectroscopia por energia dispersiva) (Figura 2.9b).

Figura 2.9 - Equipamentos para microanálise de raio-X característicos por EDS: (a) "Sputtering" de ouro e carbono; (b) microscópio eletrônico de varredura.



(a)



(b)

Fonte: CEME-SUL (2017).

Após o recobrimento das amostras com ouro no "Sputtering", as mesmas foram inseridas no microscópio eletrônico de varredura, foi aplicado o vácuo e então foi realizada a microanálise de raios-X por EDS. Esta análise utiliza-se da medida de raios-X característicos, que são emitidos por determinada amostra, bombardeada

por um feixe de elétrons. Como as linhas de raios-X característicos são específicas do número atômico dos elementos, os mesmos podem ser identificados de acordo com seu comprimento de onda da radiação que estão emitindo (DEDAVID, GOMES e MACHADO, 2007).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Composição química das partículas de madeira de *Melia azedarach*

Os resultados das análises químicas das partículas de madeira de cinamomo, não tratadas e tratadas com de banho térmico, imersão em hidróxido de sódio e imersão em sulfato de alumínio, encontram-se demonstrados na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Composição química das partículas de cinamomo tratadas e não tratadas.

Tratamento	Holocelulose (%)	Lignina (%)	Extrativos (%)	Cinzas (%)
Testemunha	72,33	24,00	2,67	1,00
Banho térmico	71,15	24,10	3,75	1,00
Hidróxido de sódio	70,00	23,00	6,00	1,00
Sulfato de alumínio	71,78	24,05	3,17	1,00

Fonte: Autora.

Os teores de holocelulose e lignina observados na testemunha, estão próximos ao encontrado na literatura. O teor de holocelulose observado por Trianoski (2010) nesta espécie de madeira foi de 72,37%. Machado (2016) e Trianoski (2010) encontraram em seus estudos, respectivamente, teores de 22,67% e 22,64% de lignina no lenho de *Melia azedarach*.

A quantidade de extrativos encontrada na testemunha (2,67%), se aproxima ao que foi observado por Machado (2016), que em seu estudo encontrou um teor de 2,30 % de extrativos em madeira de cinamomo.

Ao comparar o tratamento de banho térmico com a testemunha, percebe-se uma redução no teor de holocelulose. De acordo com Cademartori et al. (2013), enquanto a celulose exige temperaturas mais elevadas para se degradar, as hemiceluloses são degradadas a temperaturas mais amenas. Sendo assim, a

mudança desta variável neste experimento provavelmente ocorreu pela despolimerização das hemiceluloses.

Tratamentos que se baseiam em aumento de temperatura podem gerar um aumento no teor de extrativos, como foi observado no tratamento de banho térmico deste estudo. Isso ocorre pela formação de novos extrativos que surgem a partir da degradação de alguns polímeros da madeira, como as hemiceluloses (ESTEVES et al., 2008). Além disso, a temperatura pode gerar a condensação de alguns compostos extrativos (CADEMARTORI et al., 2013)

Observa-se que as quantidades de holocelulose e lignina, nas partículas tratadas com imersão por 24 horas em hidróxido de sódio, diminuiu em relação à testemunha. Isso ocorre porque o tratamento alcalino das partículas solubiliza parte da hemicelulose presente na madeira (MARINELI et al., 2008). A hemicelulose é solúvel mesmo em baixas concentrações de NaOH. A lignina, por sua vez, sofre hidrólise básica com este tipo de tratamento (ALBINANTE, PACHECO e VISCONTE, 2013), o que faz com que seus teores diminuam e aumentem os teores de extrativos gerados a partir de sua degradação.

O tratamento de imersão em sulfato de alumínio gerou um teor ligeiramente menor de holocelulose (71,78%) se comparado à testemunha. Esse fato está de acordo com Ma et al. (2000) que afirmam que a mineralização da madeira com sulfato de alumínio possui o inconveniente de diluir algumas substâncias lignocelulósicas da parede celular.

Os maiores teores de extrativos encontrados nas partículas tratadas com sulfato de alumínio, podem ter ocorrido pela natureza deste tratamento. A mineralização das fibras de madeira, gerada pelo composto químico utilizado, nada mais é que a impregnação do mesmo nas paredes celulares (SUKARTANA et al., 2000). Sendo assim, como o teor de extrativos foi determinado pela diferença entre o peso seco das amostras antes e depois da extração, provavelmente o procedimento tenha retirado o sulfato de alumínio impregnado na madeira, o que fez com que o peso deste composto fosse considerado como extrativo.

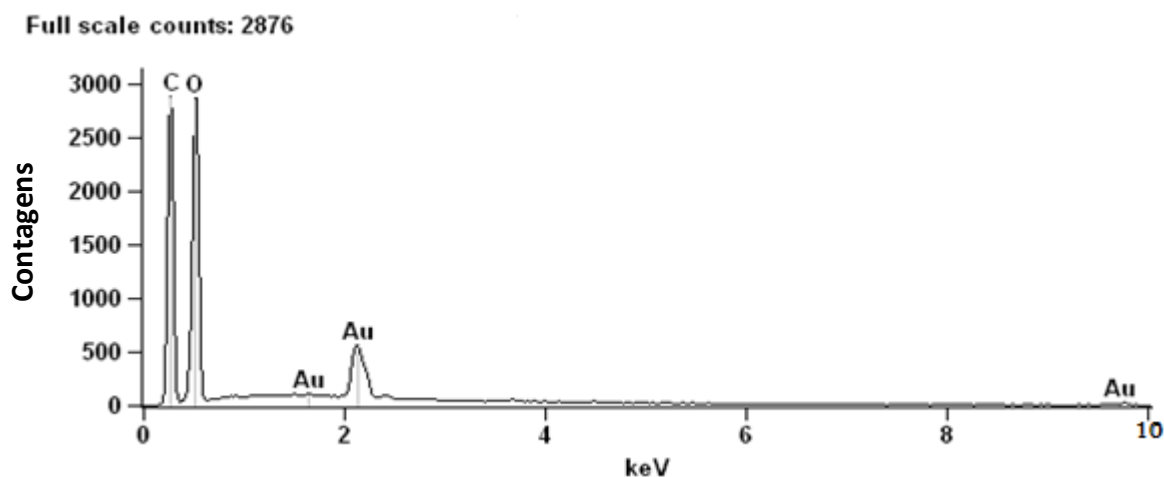
O teor de cinzas, que representa a quantidade de minerais presentes na madeira, foi o mesmo para todos os tratamentos. O valor encontrado está de acordo com o que foi observado por Tsoumis (1991), que afirmou que a quantidade de cinzas, em geral, está entre 0,2 e 1% do peso seco das madeiras.

2.3.2 Resíduos de compostos químicos nas partículas de cinamomo

Os resultados das microanálises das partículas de cinamomo, tratadas e não tratadas, obtidas através de raios-X característicos por EDS, encontram-se demonstrados a seguir.

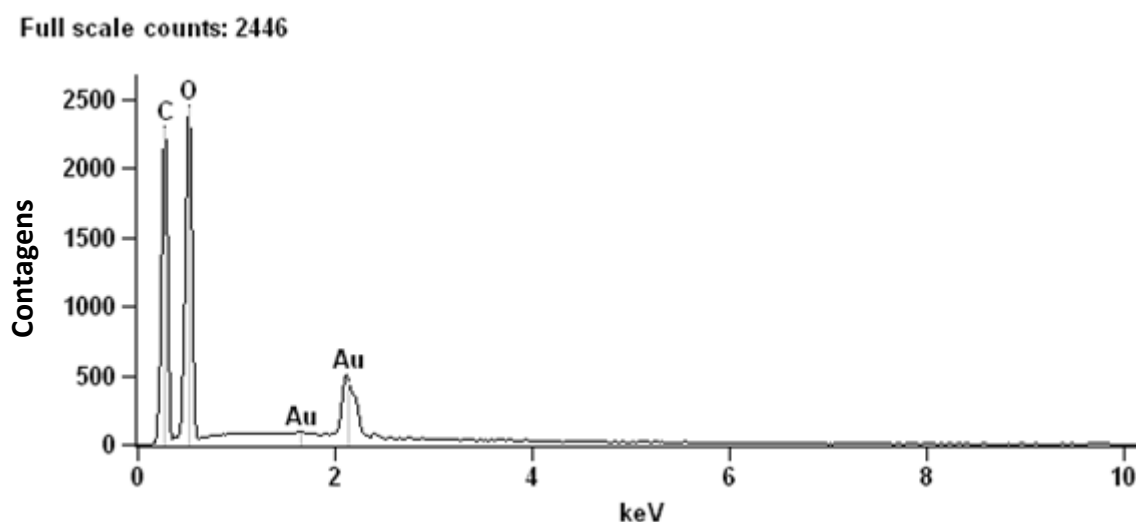
É possível observar que todas as amostras compartilham em seus espectros (Figuras 2.10, 2.11, 2.12 e 2.13) os elementos químicos carbono (C), oxigênio (O) e ouro (Au). O carbono e o oxigênio estão presentes na composição das amostras analisadas. O ouro, por sua vez, está presente por ter sido utilizado no preparo das amostras através do recobrimento das mesmas com este metal.

Figura 2.10 - Espectro obtido por microanálise de raios-X característicos por EDS de partícula de cinamomo não tratada.



Fonte: Autora.

Figura 2.11 - Espectro obtido por microanálise de raios-X característicos por EDS de partícula de cinamomo tratada com banho térmico.

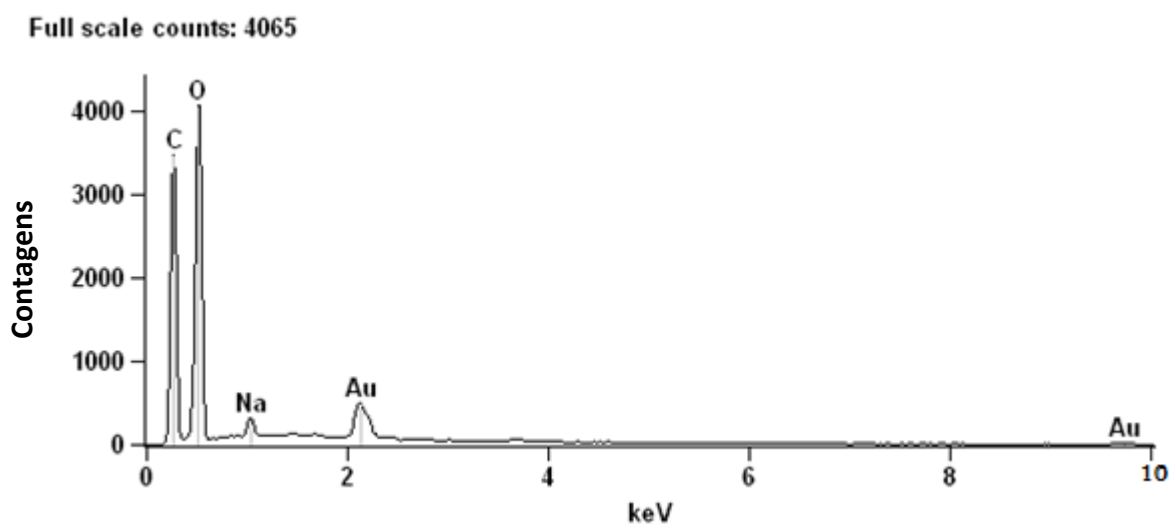


Fonte: Autora.

Como era de se esperar nenhum outro elemento químico foi encontrado nos espectros das Figuras 2.10 e 2.11. No caso da amostra da Figura 2.10 isso ocorreu porque a mesma não foi submetida a nenhum tipo de tratamento das partículas. Na Figura 2.11, por sua vez, a amostra passou pelo tratamento apenas com água quente, sem adição de nenhum composto químico.

Na Figura 2.12, contudo, pode-se observar no espectro da amostra tratada com NaOH, a presença do elemento sódio (Na). Isso indica que resíduos do hidróxido de sódio, utilizado no tratamento da amostra, ainda estão presentes nas partículas, mesmo após a lavagem. Levando em consideração que até mesmo baixos índices de hidróxido de sódio podem gerar degradação de elementos constituintes da madeira (ALBINANTE, PACHECO & VISCONTE, 2013), a presença deste composto nas partículas pode vir a prejudicar o desempenho do compósito a longo prazo.

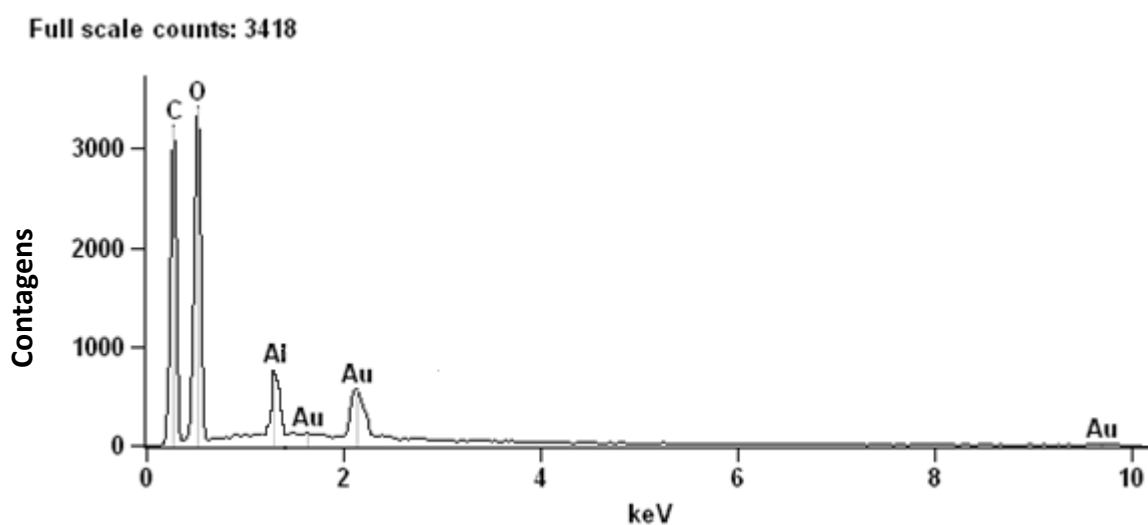
Figura 2.12 - Espectro obtido por microanálise de raios-X característicos por EDS de partícula de cinamomo tratada com imersão em NaOH.



Fonte: Autora.

A Figura 2.13, por sua vez, cuja amostra foi submetida ao tratamento de imersão em $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, apresentou resíduos de alumínio em seu espectro. Isso indica que resíduos do composto utilizado em seu tratamento permanecem na amostra.

Figura 2.13 - Espectro obtido por microanálise de raios-X característicos por EDS de partícula de cinamomo tratada com imersão em $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.



Fonte: Autora.

A imersão em sulfato de alumínio tem como objetivo a mineralização das fibras, ou seja, a impregnação do produto nas paredes celulares (SUKARTANA et al., 2000). Dessa forma, considera-se que o tratamento foi bem sucedido, já que, apesar da lavagem das partículas para retirada do sulfato de alumínio excedente, o composto ainda permanece nas paredes das fibras, caracterizando o processo de mineralização do sulfato de alumínio nas partículas de madeira de cinamomo.

Cada tipo de preparo prévio das partículas de madeira, para manufatura de painéis cimento-madeira, deve atender seu modo de ação. Dessa forma, banhos térmicos e imersões em soluções alcalinas, como a solução de NaOH, deve ocasionar a solubilização de grupos de extrativos que comprometem a cura do cimento. Métodos de preparo mineralizantes à base de imersão em soluções salinas, como o sulfato de alumínio, por sua vez, devem gerar o acúmulo do composto químico em questão nas partículas de madeira, ocasionando o retardamento da ação negativa da madeira sobre a secagem do cimento.

Esses métodos de preparo da madeira, embora possuindo formas de ação diferentes, podem amenizar a incompatibilidade das partículas lenhosas em relação ao aglomerante mineral, garantindo maiores resistências física, mecânica e biológica aos painéis.

2.4 CONCLUSÕES

Diante dos resultados deste estudo, é possível concluir que:

Todos os tratamentos a que as partículas de cinamomo foram submetidas, alteraram de alguma forma a constituição da madeira;

Deve ser tomado maior cuidado no processo de lavagem das partículas de cinamomo tratadas com imersão em hidróxido de sódio, eliminando assim todo NaOH que possa estar em contato com as partículas.

O tratamento de imersão das partículas em sulfato de alumínio gerou a mineralização deste composto nas fibras, como era esperado.

REFERÊNCIAS

- ALBINANTE, S. R.; PACHECO, E. B. A. V.; VISCONTE, L. L. Y. Revisão dos tratamentos químicos da fibra natural para mistura com poliolefinas. **Química Nova**, São Paulo, v. 36, n. 1, p. 114-122, 2013.
- ANDRADE, A. S. **Qualidade da madeira, celulose e papel em *Pinus taeda* L.: influência da idade e classe de produtividade**. 2006. 94 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.
- BILCATI, G. K. **Produção de painéis de cimento Portland reforçados com fibra de curauá (*Ananas erectifolius*)**. 2015. 100 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.
- CADEMARTORI, P. H. G. et al. Effect of thermal treatment on physicochemical properties of Gympie messmate wood. **Industrial Crops and Products**, v. 45, n. 0, p. 360-366, feb. 2013.
- CARVALHO, J. V. **Aproveitamento de resíduos particulados da madeira de *Eucalyptus grandis* na fabricação de compósitos à base de cimento Portland**. 2000. 82 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.
- CEME-SUL. **Infraestrutura**: equipamentos. Disponível em: < <http://cemesul.furg.br/index.php/o-ceme-sul/infraestrutura.html>>. Acesso em: 08 nov. 2017.
- DEDAVID, B. A.; GOMES, C. I.; MACHADO, G. Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras. 1. ed. Porto Alegre: EDIPUC, 2007, 60p.
- ESTEVES, B. et al. Extractive composition and summative chemical analysis of thermally treated eucalypt wood. **Holzforschung**, Berlin, v. 62, n. 3, p. 344–351, 2008.
- IWAKIRI, S. et al. Propriedades tecnológicas de painéis cimento-madeira produzidos com partículas de eucalipto. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.14, n.3, p.217-223, 2015.
- LATORRACA, J. V. F. ***Eucalyptus* spp. na produção de painéis de cimento-madeira**. 2000. 182 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2000.
- LIMA, A.M. **Influência de três tipos de tratamentos físicos na resistência à compressão de compósitos cimento-madeira à base de resíduos de serraria**. 2005. 112 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)–Universidade Federal do Pará, Belém, 2005.
- MA, L.F. et al. Manufacture of cement-bonded boards from wood and other lignocellulosic materials: relationship between cement hydration and mechanical properties of cement-bonded boards. In: WOOD-CEMENT COMPOSITES IN THE

ASIA PACIFIC REGION, 1., 2000., Canberra. **Anais...** Canberra: ACIAR, 2000. p. 13-23.

MACHADO, S. F. **Propriedades tecnológicas das madeiras de *Melia azedarach* L., *Cordia americana* (L) Gottschiling J. S. Mill. e *Parapiptadenia rigida* Benth submetidas à biodegradação.** 2016. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2016.

MARINELLI, A. L. et al. Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras vegetais naturais da biodiversidade: uma contribuição para a sustentabilidade amazônica. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Carlos, v. 18, n. 2, p. 92-99, abr./jun. 2008.

PIMIENTA, P. et al. Étude de faisabilité des procédés de construction à base de béton de bois. **Cahiers du CSTB**, Paris, n. 2703, p. 12-36, jan./fev. 1994.

POMARICO, F. A. **Potencial de utilização da madeira de clones de eucalipto na produção de painéis cimento-madeira.** 2013. 69 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2013.

SIMATUPANG, M.H. et al. Small scale plants for the manufacture of mineral-bonded wood composites. In.: WORLD FORESTRY CONGRESS, 8., 1978, Jakarta/Indonesia. **Anais...** Jacarta/Indonésia, 1978, 210p.

SUKARTANA *et al.* Resistance of Wood- and Bamboo-Cement Boards to subterranean térmita *Coptotermes gestroi* Wasmann (Isoptera: Rhinotermitidae). In: WOOD-CEMENT COMPOSITES IN THE ASIA PACIFIC REGION, 1., 2000, Canberra. **Anais...** Canberra: ACIAR, 2000. p. 62-65.

TAPPI. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **TAPPI 222 om-98:** Acid-insoluble lignin in wood and pulp. Atlanta, USA, 1998.

TAPPI. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **T211 om-93:** Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525°C. Atlanta, USA, 1993.

TAPPI. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **TAPPI T 204 cm-97:** Solvent extractives of wood and pulp. Atlanta, USA, 1997.

TRIANOSKI, R. **Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para a produção de painéis de madeira aglomerada.** 2010. 260 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)–Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood:** structure, properties and utilization. 1. ed. New York: Springer-Verlag, 1991. 494 p.

WIKIMEDIA COMMONNS. Mapa do Rio Grande do Sul. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Maps_of_Il%C3%B3polis?uselang=pt-br#/media/File:RioGrandedoSul_Municip_Ilopolis.svg>. Acesso em: 15 out. 2015.

ZOBEL, B. J.; VAN BUIJTENEN, J. P. **Wood variation**: its causes and control. 1. ed.
New York: Springer-Verlag, 1989. 363 p.

3 CONFEÇÃO DE PAINÉIS CIMENTO-MADEIRA DE *Melia azedarach* E SUA RESISTÊNCIA AO ATAQUE DE FUNGOS

3.1 INTRODUÇÃO

Embora sejam várias as causas que provocam degradação da estrutura das madeiras, os agentes biológicos se apresentam em lugar de destaque. De acordo com Bobadilla et al. (2005) esses agentes podem ser divididos em: insetos, brocas marinhas, bactérias e fungos xilófagos.

Os fungos xilófagos são os principais organismos decompositores da estrutura da madeira (STANGERLIN, 2012). Eles podem ser divididos em: fungos de podridão branca, que degradam todos os componentes estruturais do lenho, preferencialmente de angiospermas, deixando a madeira com aspecto esbranquiçado; fungos de podridão parda, que degradam seletivamente apenas celulose e hemiceluloses, preferencialmente de gimnospermas, causando manchas marrons na madeira; e fungos de podridão mole, que consomem tanto os polissacarídeos quanto a lignina, gerando contudo, uma degradação muito lenta do lenho (SOARES, 2013; CARVALHO et al., 2009).

De uma forma geral, a madeira atacada por fungos xilófagos pode sofrer alterações em sua composição química, mudança de cor, perda de resistência mecânica e acréscimo em sua permeabilidade (SANTOS, 1992).

Embora na literatura a madeira de cinamomo seja descrita como bastante vulnerável, em condições de umidade elevada, à degradação por organismos que consomem o lenho (BOBADILLA, 2004), Machado (2016) afirma que a madeira de cinamomo é classificada como resistente e altamente resistente ao ataque de duas espécies de fungos (*Pycnoporus sanguineus* e *Gloeophyllum trabeum*, respectivamente). Da mesma forma, Tomazeli et al. (2016), não verificaram, em ensaio de campo de apodrecimento, o desenvolvimento de fungos apodrecedores no lenho de cinamomo.

O cimento presente na constituição de painéis do tipo cimento-madeira, imprime resistência à ação da umidade e de agentes biodegradadores do lenho, como os fungos (MOSLEMI, 1974). Contudo, como os painéis de cimento-madeira possuem as duas matérias-primas (madeira e cimento) em sua composição, embora

o aglomerante mineral forneça maior proteção ao painel, a madeira ainda assim pode ser utilizada como fonte de alimento por fungos apodrecedores.

Dessa forma, painéis com maior quantidade de cimento em sua composição oferecem maior resistência ao apodrecimento. Já formulações com baixas quantidades de cimento podem favorecer o desenvolvimento de fungos de podridão em compósitos minerais.

Diante disto, este capítulo teve como objetivo avaliar a resistência dos painéis produzidos com cimento-madeira de cinamomo, com diferentes formulações, ao ataque do fungo de podridão branca *Pycnoporus sanguineus*.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Matéria-prima

As partículas de madeira utilizadas neste estudo foram as partículas de cinamomo não tratadas e tratadas descritas no capítulo anterior. Como material aglutinante foi utilizado o Cimento tipo Portland (CP-V-ARI RS), cuja aquisição se deu no comércio varejista local. Os sacos de 50 kg de cimento foram armazenados em ambiente seco, com a finalidade de evitar a absorção de água pelo produto e o conseqüente início da reação de hidratação do cimento.

Os produtos químicos utilizados como aditivos (cloreto de cálcio e cloreto de magnésio) adicionados à massa do compósito, foram adquiridos no comércio varejista local. Da mesma forma foi adquirido o meio de cultura batata-dextrose-ágar (BDA) utilizado para o ensaio de apodrecimento acelerado.

A água utilizada foi fornecida diretamente pela rede pública de distribuição, por questão de economia, pois a água destilada ou tratada com fins específicos encarece a confecção desses painéis compósitos. Essa água apresentou pH 7, com pequenas variações.

O fungo utilizado neste estudo (*Pycnoporus sanguineus*) foi fornecido pelo Laboratório de Produtos Florestais do Serviço Florestal Brasileiro, localizado em Brasília, no Distrito Federal.

3.2.2 Delineamento experimental

Os fatores: diferentes métodos de preparo das partículas, diferentes taxas de madeira:cimento e diferentes aditivos utilizados na composição dos painéis, foram combinados em diferentes níveis.

Dessa forma, os referidos fatores do estudo foram constituídos de: quatro tipos de preparo das partículas de madeira (testemunha, banho térmico, imersão em solução de $Al_2(SO_4)_3$, imersão em solução de NaOH); duas proporções de madeira cimento (1:2,5 e 1:3,0); e três tipos de aditivos adicionados à massa dos painéis (testemunha, $CaCl_2$, $MgCl_2$). Como resultado, foram desenvolvidos 24 tratamentos (Tabela 3.1), com 5 repetições cada, totalizando 120 chapas de cimento-madeira.

Cada uma das combinações foi aplicada em painéis experimentais de cimento-madeira, resultando em um arranjo fatorial dos tratamentos (4 x 2 x 3). O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado.

Tabela 3.1 - Tratamentos utilizados no experimento.

Tratamento	Método de preparo das partículas	Proporção madeira:cimento	Aditivo
1	Testemunha	1:2,5	Testemunha
2			Cloreto de cálcio
3			Cloreto de magnésio
4		1:3,0	Testemunha
5			Cloreto de cálcio
6			Cloreto de magnésio
7	Banho térmico	1:2,5	Testemunha
8			Cloreto de cálcio
9			Cloreto de magnésio
10		1:3,0	Testemunha
11			Cloreto de cálcio
12			Cloreto de magnésio
13	Sulfato de alumínio	1:2,5	Testemunha
14			Cloreto de cálcio
15			Cloreto de magnésio
16		1:3,0	Testemunha
17			Cloreto de cálcio
18			Cloreto de magnésio
19	Hidróxido de sódio	1:2,5	Testemunha
20			Cloreto de cálcio
21			Cloreto de magnésio
22		1:3,0	Testemunha
23			Cloreto de cálcio
24			Cloreto de magnésio

Fonte: Autora.

3.2.3 Produção dos painéis

3.2.3.1 Cálculo dos componentes dos painéis

A metodologia utilizada para calcular as quantidades de cada um dos componentes para manufatura dos painéis seguiu o método desenvolvido por Latorraca (2000) e Souza (1994). Sendo assim, os parâmetros necessários para efetuar o cálculo dos componentes de uma chapa foram: dimensões do painel (largura, comprimento e espessura), peso específico do painel, conteúdo de umidade da madeira, taxas de madeira:cimento e água:cimento. Além desses parâmetros, foi preciso considerar ainda, a taxa de água de hidratação do cimento, que é fixa (0,25) e se trata da água que estará vinculada ao cimento após a hidratação. Esse parâmetro deve ser considerado nos cálculos, já que trata de massa que fará parte do painel após sua cura. Dessa forma, um painel do tipo cimento-madeira é composto de madeira, cimento e água agregada.

Para determinação do peso da chapa (P_c) foi utilizada a Equação 3.1.

$$P_c = \text{comprimento (cm)} \times \text{largura (cm)} \times \text{espessura (cm)} \times \text{peso específico} \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) \quad (3.1)$$

Para determinação da quantidade de cimento (ccs) e de madeira (mcs) para chapa seca, foram utilizadas as Equações 3.2 e 3.3.

$$ccs (g) = \frac{P_c}{(1 + \text{taxa de madeira:cimento} + \text{taxa de água hidratação:cimento})} \quad (3.2)$$

$$mcs (g) = \frac{(P_c \times \text{taxa madeira:cimento})}{(1 + \text{taxa madeira:cimento} + \text{taxa água hidratação:cimento})} \quad (3.3)$$

Para o cálculo da quantidade de material para a mistura foram utilizadas as Equações 3.4 a 3.8.

$$CIMENTO (g) = ccs (g) \times \left(1 - \frac{\text{aditivo}(\%)}{100} \right) \quad (3.4)$$

$$MADEIRA (g) = mcs (g) \times \left(1 + \frac{TU \text{ madeira} (\%)}{100} \right) \quad (3.5)$$

$$ADITIVO (g) = ccs (g) \times \left(\frac{aditivo (\%)}{100} \right) \quad (3.6)$$

$$\acute{A}GUA (g) = taxa \acute{a}gua:cimento \times ccs (g) + \left\{ mcs (g) \times \left[0,03 - \left(\frac{TU \text{ mad} (\%)}{100} \right) \right] \right\} \quad (3.7)$$

$$PESO \text{ TOTAL} (g) = CIMENTO (g) + MADEIRA(g) + ADITIVO (g) + \acute{A}GUA(g) \quad (3.8)$$

Na Tabela 3.2 é possível observar os parâmetros utilizados no cálculo das quantidades dos componentes para manufatura dos painéis.

Tabela 3.2 - Parâmetros utilizados para o cálculo das quantidades dos componentes para manufatura dos painéis.

Parâmetros relativos aos painéis	
Largura (cm)	50
Comprimento (cm)	50
Espessura (cm)	0,95
Densidade (g/cm ³)	1,25
Taxa madeira:cimento	1:2,5 ou 1:3,0
Taxa água hidratação:cimento	0,25
Taxa: água cimento	0,45
Taxa aditivo:cimento	0,03
Teor de umidade partículas de cinamomo (%)	12

Fonte: Autora.

No momento da pesagem dos componentes para a mistura, às quantidades de todos os materiais calculadas, foi adicionado 20% a mais de cada ingrediente, referente às perdas que ocorrem durante o processo de manufatura dos painéis.

3.2.3.2 Manufatura dos painéis

A manufatura dos painéis foi realizada de acordo com o trabalho desenvolvido por Lilge (2009). Sendo assim, foi utilizado um sistema de ar comprimido (aspensor) para aplicação do aditivo, previamente diluído em água, sobre as partículas já acondicionadas em betoneira. Durante a aplicação do aditivo a betoneira foi mantida em movimento. Este processo de hidratação com aditivo foi realizado durante dois minutos, de forma que, ao fim do primeiro minuto foi realizada uma pausa para que

fossem retirados da parede da betoneira, bem como de suas pás, os componentes que ali estavam aderidos. Findo este procedimento, a betoneira foi religada até completar o tempo de hidratação das partículas anteriormente determinado.

Em seguida foi adicionado o cimento, com a betoneira ainda em movimento. O processo de mistura do cimento com a madeira durou dois minutos. Depois de um minuto decorrido, a betoneira foi desligada para soltura dos componentes aderidos no equipamento. A seguir o equipamento foi colocado novamente em movimento para finalizar o tempo previsto de mistura dos componentes.

Assim que a mistura foi retirada da betoneira, ela foi pesada em balança analítica e distribuída em caixa formadora, para formação do colchão do painel (Figura 3.1a). A caixa formadora estava disposta sobre uma chapa de aço, que teve a finalidade de facilitar o transporte do painel até a prensa. As chapas de aço foram forradas com plástico, para facilitar a retirada do painel após a cura do mesmo.

Figura 3.1 - Caixa formadora dos painéis: (a) distribuição das partículas no interior da caixa formadora; (b) caixa formadora em etapa de pré-prensagem.



(a)

(b)

Fonte: Autora.

A caixa formadora, onde ocorreu a formação do colchão, possui aresta de 50 cm e constitui-se de uma caixa sem fundo e com tampa que pode ser nela inserida. Após a distribuição da massa no interior da caixa, a tampa foi nela fixada (Figura 3.1b) e pressionada sobre o colchão para realização da pré-prensagem, durante o tempo de um minuto.

Após esse período a caixa formadora foi retirada e foi colocado um espaçador de aço de 9,5 mm de espessura de cada lado do colchão, com o objetivo de delimitar a espessura final do painel. O conjunto foi então coberto com outra chapa de aço forrada com plástico e levado à prensa hidráulica da marca OMECO (Figura 3.2). Foram acomodados 5 colchões pré-formados na prensa por vez, oportunizando assim, a prensagem de 5 painéis simultaneamente. A prensagem se deu sem aquecimento dos pratos, com aplicação de 15 kgf/cm² e durante um período de 24 horas. Em seguida os painéis foram levados à câmara climatizada, sendo desta forma submetidos à temperatura constante de 20°C e umidade relativa do ar de 65%, durante um período de 28 dias, para maturação dos mesmos.

Figura 3.2 - Prensa hidráulica.

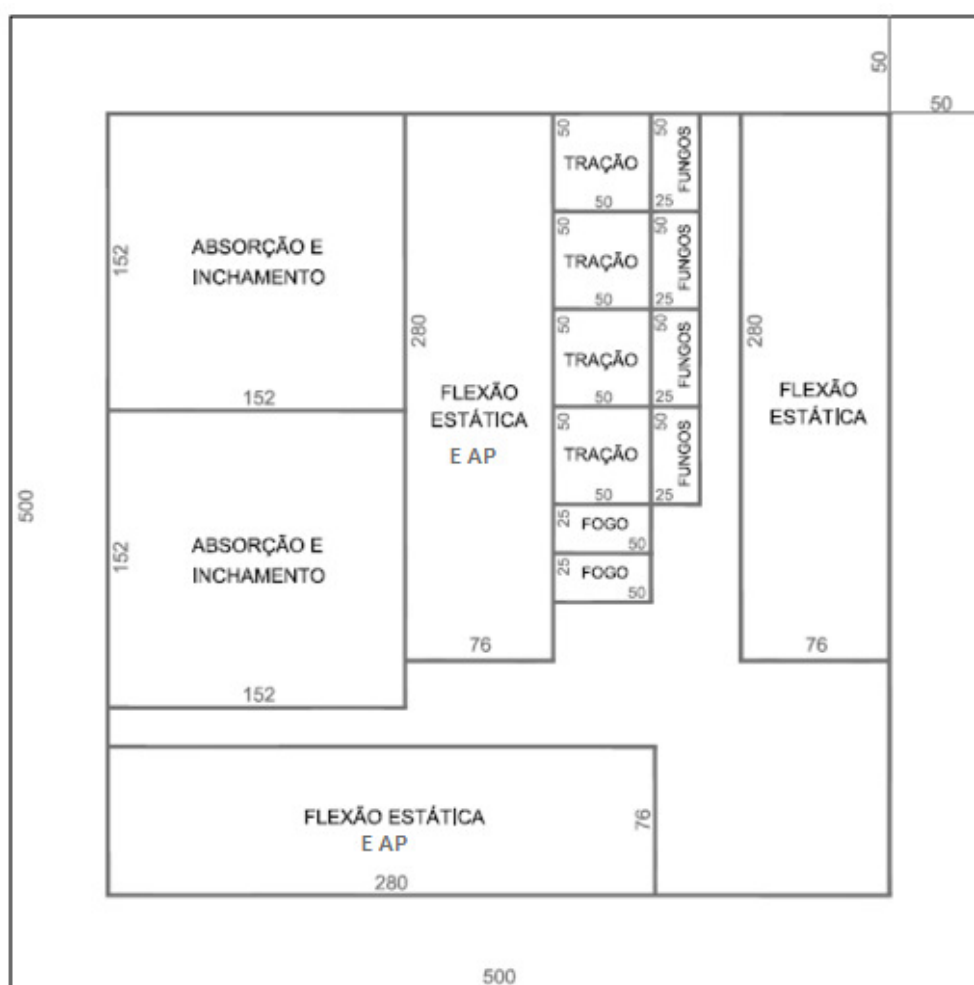


Fonte: Autora.

3.2.4 Obtenção dos corpos de prova

Após o período de maturação, os painéis foram esquadrejados para confecção dos corpos de prova (Figura 3.3) destinados à determinação da resistência ao ataque de fungos, propriedades físicas e mecânicas dos painéis. O corte foi realizado em serra circular, foram descartados 5 cm de cada uma das laterais dos painéis e as dimensões dos corpos de prova foram determinadas de acordo com a norma ASTM D-1037 (1999) para os ensaios físicos e mecânicos, e de acordo com a norma EN 113 (1996) adaptada, para o ensaio de apodrecimento acelerado.

Figura 3.3 - Modelo de corte dos painéis para confecção dos corpos de prova (medidas em mm).



Onde: AP = arrancamento de parafusos.

Fonte: Autora

3.2.5 Ensaio de apodrecimento acelerado

Previamente à montagem do ensaio os corpos de prova foram secos em estufa, a 60°C, no Laboratório de Produtos Florestais da UFSM, até a estabilização de sua massa. Dessa forma foi obtido a massa inicial das amostras.

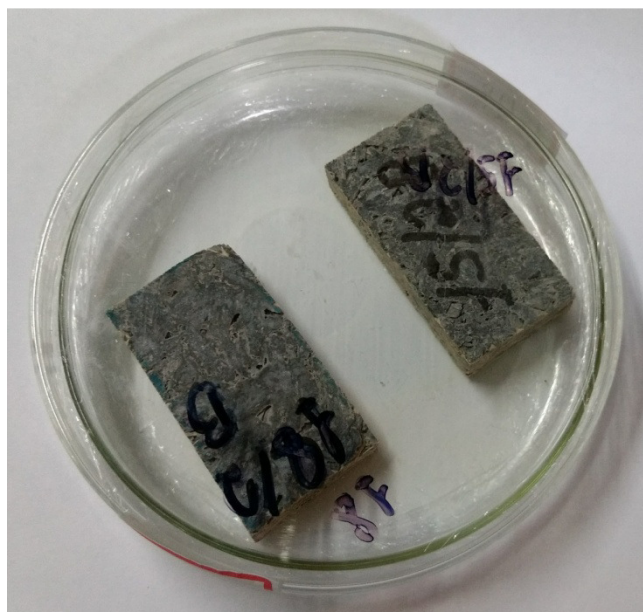
O ensaio propriamente dito foi realizado na Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO) de Santa Maria - RS. Foi utilizado o fungo de podridão branca *Pycnoporus sanguineus* e o ensaio foi montado de acordo com as determinações da norma EN 113 (1996) adaptada.

Todo o material utilizado para a montagem do ensaio (meio de cultura, placas de petri, corpos de prova, tesouras e pinças) foram autoclavados durante 1 hora para descontaminação. Em seguida, em câmara de fluxo previamente descontaminada com álcool (70%) e luz ultra violeta, o meio de cultura (batata-dextrose-ágar) foi vertido em todas as placas de Petri.

Logo depois o fungo foi inoculado em dois pontos diametralmente opostos das placas de Petri e sobre os dois pontos inoculados foram colocados dois corpos de prova de cimento-madeira. Cada placa foi vedada com filme plástico para evitar contaminação.

As placas (Figura 3.4) foram então mantidas em câmara climatizada (20° C), dotada de fotoperíodo (12 horas com luz e 12 horas sem luz), durante 4 meses. Após este período o ensaio foi desmontado, os corpos de prova foram limpos com pincel para remoção do micélio e em seguida levados à estufa, a 60°C, até estabilização de sua massa, para obtenção da massa final.

Figura 3.4 - Placa de Petri com o fungo *Pycnoporus sanguineus* em contato com o corpo de prova de cimento-madeira.



Fonte: Autora.

3.2.5.1 Avaliação da perda de massa

A avaliação da perda de massa dos corpos de prova neste ensaio, em percentagem, foi feita pela diferença entre o peso inicial e o peso final dos mesmos, como é demonstrado na Equação 3.9.

$$PM = \frac{Mi - Mf}{Mi} \times 100 \quad (3.9)$$

Em que:

PM = perda de massa (%);

Mi = massa inicial (g);

Mf = massa final (g)

Os resultados obtidos foram então avaliados de acordo com a classificação de resistência a fungos xilófagos presente na ASTM D 2017 (2005) (Tabela 3.3).

Tabela 3.3 - Classes de resistência a fungos xilófagos ASTM D 2017 (2005).

Classe de Resistência	Perda de massa (%)	Massa residual (%)
Muito Resistente (MR)	0-10	90-100
Resistente (R)	11-24	76-89
Resistência Moderada (RM)	25-44	56-75
Não-Resistente (NR)	Acima de 45	Abaixo de 55

Fonte: ASTM D 2017 (2005).

3.2.5.2 Análise estatística

Os dados de perda de massa dos painéis de cimento-madeira em função da degradação pelo fungo *P. sanguineus* foram avaliados mediante análise de variância e teste de comparação de médias. Com a finalidade de evitar a ambigüidade (SANTOS, 2000) na interpretação dos dados, o teste de médias utilizado neste trabalho foi o Scott-Knott (SCOTT e KNOTT, 1974), com nível de significância de 5% e, portanto, 95% de confiança.

As análises estatísticas foram realizadas com a utilização do software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2012).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Classificação da resistência dos painéis à perda de massa por ataque de *Pycnoporus sanguineus*

Os valores observados para todos os corpos de prova submetidos à avaliação de resistência ao *Pycnoporus sanguineus* encontram-se no Anexo 3.1. Já a Tabela 3.4 elenca as perdas de massa médias para todos os tratamentos estudados, incluindo a classificação dos mesmos em relação à sua classe de resistência.

Sendo assim, de acordo com a norma ASTM D2017 (2005) os resultados da perda de massa dos compósitos produzidos neste estudo, submetidos ao fungo de podridão branca *P. sanguineus*, enquadram todos os tratamentos na classe "muito resistente", devido à baixa perda de massa (perda inferior a 10%) dos corpos de prova.

Tabela 3.4 - Valores médios observados de perda de massa dos painéis e classificação de resistência a fungos xilófagos (ASTM D 2017, 2005).

Tratamento	Método	Proporção	Aditivo	Perda de massa (%)	CR
1	Testemunha	1:2,5	Testemunha	3,02	MR
2	Testemunha	1:2,5	CaCl ₂	2,77	MR
3	Testemunha	1:2,5	MgCl ₂	2,90	MR
4	Testemunha	1:3,0	Testemunha	2,78	MR
5	Testemunha	1:3,0	CaCl ₂	2,35	MR
6	Testemunha	1:3,0	MgCl ₂	2,48	MR
7	Banho térmico	1:2,5	Testemunha	2,14	MR
8	Banho térmico	1:2,5	CaCl ₂	1,92	MR
9	Banho térmico	1:2,5	MgCl ₂	2,07	MR
10	Banho térmico	1:3,0	Testemunha	2,10	MR
11	Banho térmico	1:3,0	CaCl ₂	1,85	MR
12	Banho térmico	1:3,0	MgCl ₂	1,99	MR
13	Al ₂ (SO ₄) ₃	1:2,5	Testemunha	2,45	MR
14	Al ₂ (SO ₄) ₃	1:2,5	CaCl ₂	2,04	MR
15	Al ₂ (SO ₄) ₃	1:2,5	MgCl ₂	2,22	MR
16	Al ₂ (SO ₄) ₃	1:3,0	Testemunha	2,27	MR
17	Al ₂ (SO ₄) ₃	1:3,0	CaCl ₂	1,90	MR
18	Al ₂ (SO ₄) ₃	1:3,0	MgCl ₂	2,16	MR
19	NaOH	1:2,5	Testemunha	2,92	MR
20	NaOH	1:2,5	CaCl ₂	2,63	MR
21	NaOH	1:2,5	MgCl ₂	2,84	MR
22	NaOH	1:3,0	Testemunha	2,65	MR
23	NaOH	1:3,0	CaCl ₂	2,23	MR
24	NaOH	1:3,0	MgCl ₂	2,33	MR

Onde: método = método de preparo das partículas; madeira:cimento = proporção de madeira:cimento no painel; CR = classe de resistência; MR = muito resistente.

Fonte: Autora.

De uma forma geral na literatura, o lenho de cinamomo não é considerado suscetível ao ataque de *P. sanguineus*. Machado (2016), em seu estudo avaliando a biodegradação de três espécies florestais, afirma que o cinamomo foi considerado resistente à ação deste fungo apodrecedor. Tomazeli et al (2016) ao avaliarem a durabilidade natural de espécies florestais em campo de apodrecimento durante doze meses, embora tenham verificado o ataque de *P. sanguineus* nos lenhos de *Pinus elliottii* e *Acacia mearnsii*, não verificaram o desenvolvimento de nenhuma espécie fungo apodrecedor no lenho de cinamomo.

Esta resistência do lenho de *Melia azedarach* pode advir das meliacinas, sobretudo da azadiractina (um tipo de meliacina especialmente eficiente no combate de insetos e fungos) que são encontradas nesta espécie florestal. Embora essas substâncias sejam encontradas em maior quantidade em folhas, frutos e sementes,

sua existência na madeira, ainda que em menor concentração, já foi verificada (MACHADO, 2016).

Não obstante a azadiractina, e as meliacinas em geral, possuem reconhecidamente efeito inseticida (SIMÕES et al., 1998; CARVALHO, 1999), estudos têm demonstrado que essas substâncias apresentam ainda inibição ao crescimento de fungos de importância agrícola (GARCIA et al., 2012; SILVA, BOTELHO e FARIA, 2014; FERREIRA, 2013), de fungos patológicos em humanos (SALAZAR et al., 2014) e também de fungos apodrecedores de madeira (TEIXEIRA et al., 2015).

Contudo, no presente estudo a madeira de cinamomo não foi avaliada de forma isolada, mas sim na composição de painéis cimento-madeira. Neste caso há um incremento da resistência do material avaliado ao ataque do fungo xilófago em questão, dada a presença de cimento na estrutura do compósito.

Wong e Chee (2000) ao avaliarem o desempenho de painéis de cimento-madeira manufacturados com partículas de *Hevea brasiliensis*, concluíram que o compósito foi altamente resistente ao ataque de cinco espécies de fungos. Os autores afirmam ainda que este tipo de compósito possui uma resistência muito superior à biodegradação por fungos, se comparado a aglomerados que utilizam resinas como aglomerante.

Papadopoulos (2008) ao analisar a resistência de painéis cimento-madeira, fabricados com lenho de *Carpinus betulus*, ao ataque de fungos de podridão parda e de podridão branca, concluiu que ambos não se desenvolveram no material testado. Como não ocorreu perda de massa nos corpos de prova que foram submetidos ao estudo, o autor classificou os painéis como muito resistentes à ação dos fungos avaliados.

Estudando o desempenho de painéis cimento-madeira produzidos com partículas de pau balsa (*Ochroma* sp.), Hanada, Almeida e Goes (2002) submeteram os compósitos a ensaio de apodrecimento acelerado com três tipos de fungos xilófagos, incluindo *P. sanguineus*. Os autores consideraram os corpos de prova avaliados como muito resistentes ao ataque de fungos, já que após decorridas 16 semanas de ensaio, os mesmos ao invés de apresentarem perda, sofreram ganho de massa.

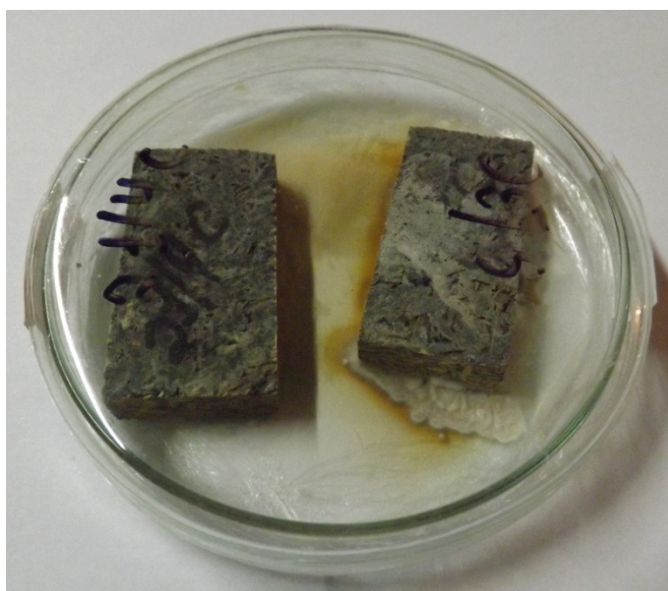
Da mesma forma Okino et al. (2005), observaram ganho de massa em painéis cimento-madeira de *Cupressus* spp. submetidos a ensaio de apodrecimento

acelerado de 12 semanas com fungos de podridão branca e podridão parda. Souza, Geimer e Moslemi, (1997) ao encontrarem o mesmo comportamento em seu estudo avaliando a resistência de painéis de cimento-madeira ao ataque de fungos, teceram a hipótese de que este ganho ocorreria em função do final do processo de cura do cimento.

Ao contrário dos estudos acima relacionados, no presente trabalho observou-se perda de massa dos corpos de prova testados. Não houve ganho de massa, provavelmente porque os painéis deste estudo foram manufaturados um ano antes da realização do ensaio de apodrecimento acelerado, ou seja, os compósitos já estavam completamente curados quando foram submetidos ao ataque de *P. sanguineus*.

A perda de massa observada, ocorreu pelo ataque dos fungos às partículas de madeira que se encontravam nas superfícies do painel, ou seja, as partículas que não estavam protegidas pelo cimento. Foi possível observar o crescimento micelial sobretudo nas laterais dos corpos de prova (Figura 3.5), zonas que, em função do corte do corpo de prova, deixaram as partículas mais expostas.

Figura 3.5 - Crescimento micelial na superfície e laterais do corpo de prova.



Fonte: Autora.

3.3.2 Análise da perda de massa dos painéis por ataque de *Pycnopus sanguineus*

Com objetivo de atingir os pressupostos de normalidade e homocedasticidade os dados de perda de massa sofreram transformação de acordo com a Equação 3.10.

$$pmt = (pm + 1)^{0,5} \quad (3.10)$$

Onde:

pmt = perda de massa transformada (%);

pm = perda de massa (%).

Dessa forma, foi possível garantir, com significância de 5%, por meio dos testes Shapiro-Wilk e Bartlett, que os resíduos têm, respectivamente, distribuição normal e variância constante.

A análise de variância da perda de massa dos painéis (Tabela 3.5) mostrou que a interação tripla dos fatores analisados neste estudo não foi significativa, Contudo, o efeito simples do aditivo e a interação dupla entre método de preparo de partículas e proporção madeira:cimento foi significativa.

Tabela 3.5 - Análise de variância da perda de massa dos painéis.

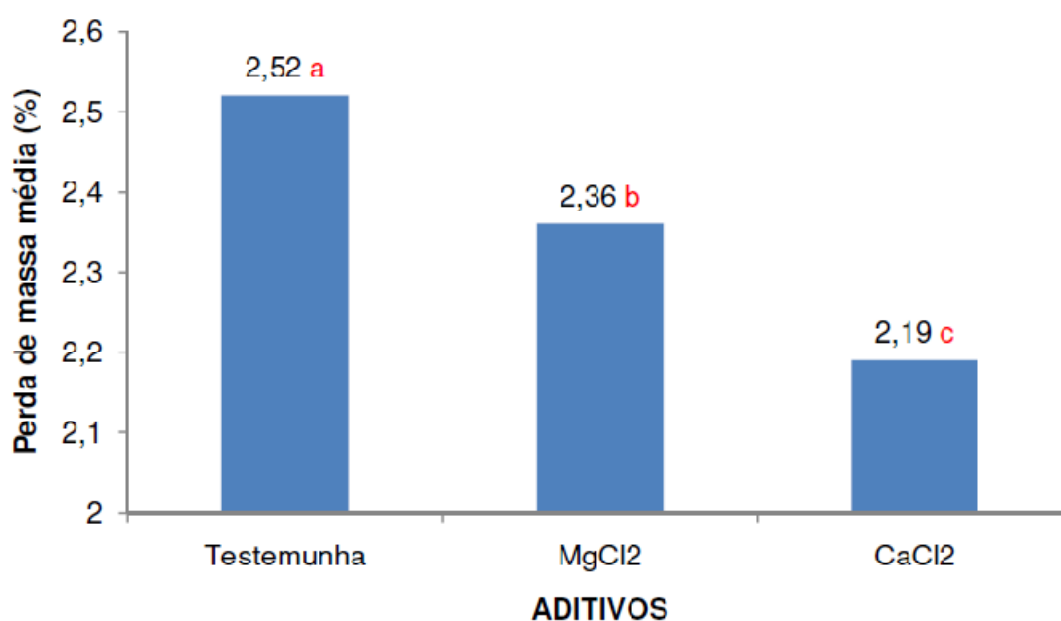
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Método	3	3,12228	1,04076	73,3269	0
Proporção	1	0,49538	0,49538	34,9022	0
Aditivo	2	0,65573	0,32787	23,0999	0
Método*Proporção	3	0,16222	0,05407	3,8096	0,0102
Método*Aditivo	6	0,02610	0,00435	0,3065	0,9335
Proporção*Aditivo	2	0,01464	0,00732	0,5158	0,5974
Método*Proporção*Aditivo	6	0,03322	0,00554	0,3901	0,8854
Resíduo	456	6,47220	0,01419		
Total	479	10,98178	0,02293		

Onde: método = método de preparo das partículas; proporção = proporção madeira:cimento; aditivo: tipo de aditivo.

Fonte: Autora.

A análise do efeito simples do aditivo (Figura 3.6) demonstra que houve diferença significativa ($p < 0,05$) da média de perda de massa entre os três aditivos avaliados. De forma que o aditivo que apresentou melhor desempenho foi o cloreto de cálcio, com a menor perda de massa média, seguido do cloreto de magnésio e da testemunha.

Figura 3.6 - Teste de Scott-Knott para perda de massa por ataque de fungos.



Obs.: médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, à 5% de significância.

Fonte: Autora.

Esse comportamento se deve ao fato de que a inclusão de aditivos na composição do painel acelera o processo de pega do cimento, encurtando assim seu processo de cura. Dessa forma, os extrativos presentes na madeira possuem menos tempo de ação para gerar incompatibilidade com o cimento (IWAKIRI e PRATA, 2008). Sendo assim, painéis com presença de aditivos em sua estrutura tendem a apresentar maiores resistências do que painéis sem aditivos.

Não existem na literatura dados relativos a estudos do desempenho de diferentes aditivos adicionados à composição de painéis cimento-madeira em relação a resistência desses painéis ao ataque de fungos xilófagos. Por outro lado, admite-se que painéis melhor formados, terão maior chance de resistir à degradação por fungos apodrecedores da madeira.

De acordo com Iwakiri e Prata (2008), o cloreto de cálcio é o aditivo mais empregado em painéis cimento-madeira, dado seu desempenho superior ao de outros aditivos. Iwakiri et al. (2017), estudando diversos tipos de preparo de partículas e dois aditivos na composição de painéis cimento-madeira de *Hevea brasiliensis*, encontraram desempenho superior dos painéis produzidos com CaCl_2 se comparados aos produzidos com silicato de sódio e à testemunha.

Santi (2013) remete ao uso do aditivo CaCl_2 os resultados positivos que obteve em seu estudo avaliando painéis cimento-madeira manufaturados com resíduos de Pinus na forma de serragem. De acordo com o autor, a utilização do resíduo in natura, ou seja, sem nenhum tipo de preparo da serragem, só pôde ocorrer em função da utilização do cloreto de cálcio como aditivo, já que o mesmo reduziu a incompatibilidade da madeira com o cimento, possibilitando a adequada conformação dos painéis e garantindo sua resistência física e mecânica.

Castro et al. (2015) avaliando o uso de diferentes aditivos químicos na manufatura de painéis cimento-madeira de *Eucalyptus saligna*, encontraram propriedades superiores nos painéis produzidos com CaCl_2 como aditivo. Da mesma forma, Iwakiri, et al. (2015) produziram painéis cimento-madeira com partículas de eucalipto e encontraram resultados positivos com o uso do cloreto de cálcio.

Para fins de análise da interação dupla que se mostrou significativa ($p < 0,05$), foi necessário o desdobramento da análise de variância de cada método de preparo das partículas para cada proporção de madeira:cimento (Tabela 3.6).

Tabela 3.6 - Desdobramento 1 da interação dupla da análise de variância da perda de massa: método de preparo das partículas em relação às proporções de madeira:cimento.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Método:Proporção (1:2,5)	3	2,33895	0,77965	54,9303	0
Método:Proporção (1:3,0)	3	0,94555	0,31518	22,2062	0
Resíduo	456	6,47220	0,01419		

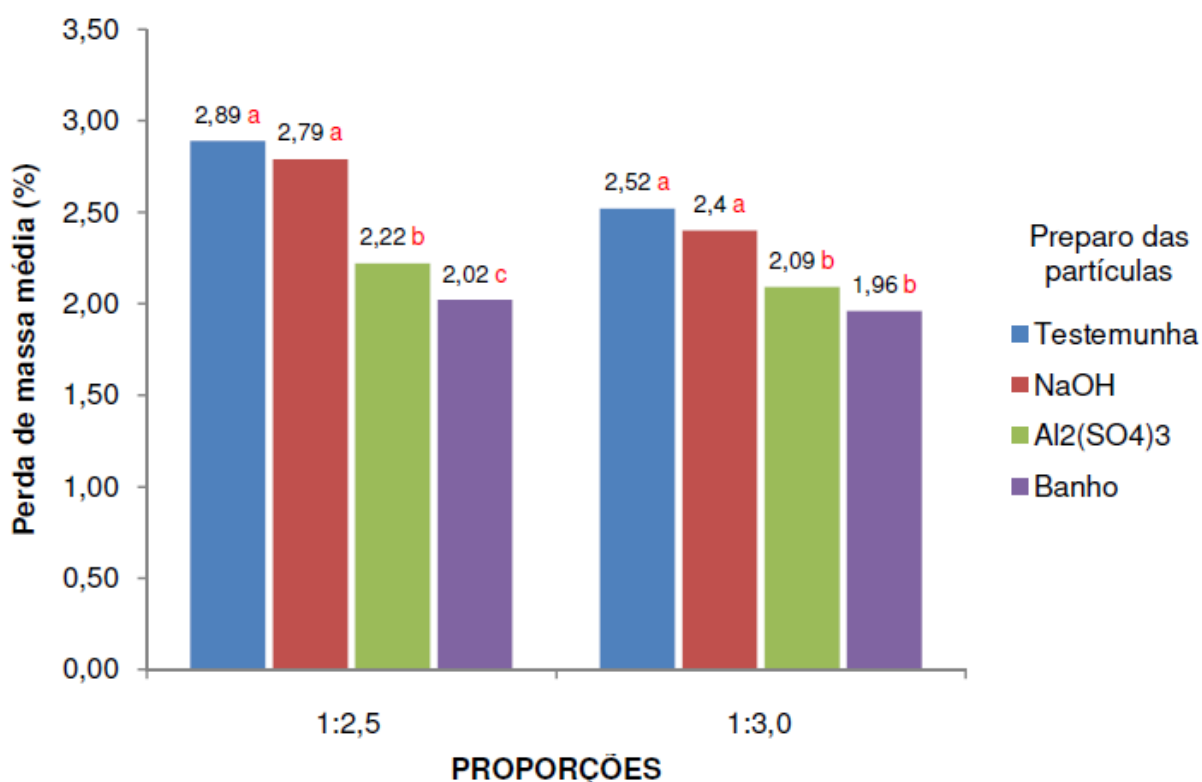
Onde: método = método de preparo das partículas; proporção = proporção madeira:cimento.

Fonte: Autora.

Na Figura 3.7 pode-se verificar que o preparo de partículas mais eficiente, no que se refere à perda de massa pelo ataque de *P. sanguineus*, para proporção de

1:2,5 de madeira:cimento, foi o banho térmico, seguido da imersão em sulfato de alumínio. A imersão em hidróxido de sódio e a testemunha foram os preparos com pior desempenho, não diferindo estatisticamente entre si. Este comportamento provavelmente está relacionado ao desempenho do preparo das partículas. Como visto no Capítulo 2 (Figura 2.12), resíduos de NaOH foram encontrados na análise das partículas de madeira pós imersão em solução de soda cáustica. Esses resquícios de NaOH geraram, além da solubilização de extrativos, a degradação de elementos estruturais da madeira (Capítulo 2, Tabela 2.3) com o passar do tempo. Dessa forma as partículas lenhosas ficaram mais frágeis e, em consequência, mais suscetíveis ao ataque de fungos.

Figura 3.7 - Teste de Scott-Knott para perda de massa por ataque de fungos: desdobramento do método de preparo das partículas em relação às proporções de madeira:cimento.



Obs.: médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, à 5% de significância.

Fonte: Autora.

Já para a proporção de madeira:cimento de 1:3, tanto o banho térmico quanto a imersão em sulfato de alumínio geraram os melhores resultados, não diferindo

estatisticamente entre si. As piores performances, também sem diferenças estatísticas entre os dois preparos, foram da imersão em hidróxido de sódio e da testemunha.

Os preparos de partículas são amplamente utilizados em estudos que avaliam o desempenho de painéis do tipo cimento-madeira, por incrementarem as propriedades desses painéis. A ação dos métodos de preparo sobre as partículas, pode ser: diminuição dos extrativos responsáveis pela incompatibilidade da madeira com o cimento (banho frio, banho quente, imersão em NaOH, etc), ou a mineralização das partículas de madeira pelos sais utilizados no preparo (imersão em soluções de $Al_2(SO_4)_3$, de $CaCl_2$, de $MgCl_2$, etc) (SUKARTANA, RUSHELIA e SULASTININGSIH, 2000).

Embora dados específicos sobre a melhora da resistência ao ataque por fungos de painéis cimento-madeira não estejam disponíveis na literatura, painéis que tenham uma melhor conformação (oferecida pelo preparo das partículas), apresentarão resistência maior aos fungos xilófagos.

Santi (2013) em seu estudo sobre a utilização de resíduos de *Pinus* spp. na manufatura de painéis cimento-madeira, encontrou performance superior nos painéis produzidos com serragem tratada com imersão em água à temperatura ambiente.

Iwakiri et al (2015), por sua vez, encontraram resultados positivos no desempenho de partículas tratadas com banho em água quente e com imersão em hidróxido de sódio, na constituição de painéis cimento-madeira de eucalipto.

Já Lima (2005), em seu estudo sobre o uso de resíduo misto de serraria na fabricação de painéis cimento-madeira, só alcançou resultados positivos nos painéis em que utilizou partículas preparadas com banho em água quente ou mineralização com sulfato de alumínio. O autor afirma que a grande incompatibilidade dos resíduos utilizados no estudo, não permitiu o uso das partículas in natura e que os dois tipos de preparo das partículas positivamente avaliados não diferiram entre si.

A segunda etapa do desdobramento da análise de variância da interação dupla, que considera cada proporção de madeira:cimento em relação aos métodos de preparo das partículas está demonstrada da Tabela 3.7.

Tabela 3.7 - Desdobramento 2 da interação dupla da análise de variância da perda de massa: proporção de madeira:cimento em relação aos métodos de preparo das partículas.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Proporção:Método (banho)	1	0,01024	0,01024	0,7215	0,3961
Proporção:Método (NaOH)	1	0,32534	0,32534	22,9221	0
Proporção:Método (Al₂(SO₄)₃)	1	0,04334	0,04334	3,0538	0,0812
Proporção:Método (testemunha)	1	0,27867	0,27867	19,6337	0
Resíduo	456	6,47220	0,01419		

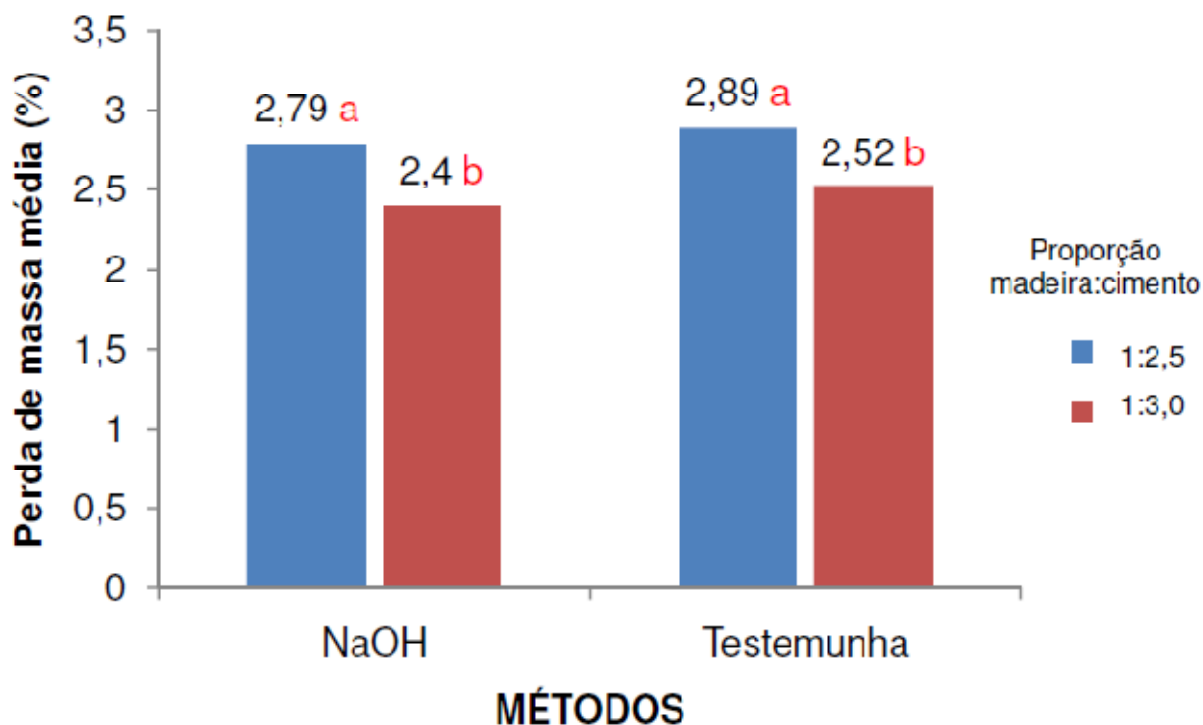
Onde: proporção = proporção madeira:cimento; método = método de preparo das partículas.

Fonte: Autora.

Os tratamentos de banho térmico e imersão em sulfato de alumínio, embora tenham tido médias inferiores de perda de massa e portanto melhor performance, tiveram de acordo com o teste F, médias estatisticamente iguais para as duas proporções madeira:cimento. Dessa forma, para estes dois preparos a quantidade de cimento utilizada nas formulações deste estudo não gerou desempenhos diferentes nos tratamentos, no que se refere à perda de massa em função do ataque do fungo.

Contudo, o preparo com imersão em hidróxido de sódio e a testemunha (Figura 3.8) tiveram melhores resultados quando foram aplicados em tratamentos com proporção de madeira:cimento de 1:3,0, diferindo, nos dois casos da outra proporção utilizada (1:2,5). É possível afirmar, portanto, que maiores quantidades de cimento geram painéis de melhor qualidade, no que se refere à perda de massa por ataque de *P. sanguineus*, quando as partículas não são tratadas ou quando são tratadas com imersão em hidróxido de sódio.

Figura 3.8 - Teste de Scott-Knott para perda de massa por ataque de fungos: desdobramento da proporção de madeira:cimento em relação aos métodos de preparo das partículas.



Obs.: médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, à 5% de significância.

Fonte: Autora.

A perda de massa dos corpos de prova avaliados se deu pela degradação de partículas de madeira que não se encontravam cobertas por cimento. Dessa forma, os painéis com uma menor quantidade de cimento na sua composição, permitiram que mais partículas, ou parte delas, permanecessem expostas, aumentando a possibilidade de ação do *P. sanguineus*.

Cato (2015) observou em seu estudo sobre a biodegradação de compósitos de madeira plástica por fungos de podridão branca e parda, que os micélios se desenvolveram sobretudo na superfície dos corpos de prova, justamente onde as partículas de madeira encontravam-se expostas.

Em função da presença do aglomerante mineral em sua composição, os painéis do tipo cimento-madeira apresentam-se altamente resistentes à degradação biológica. O estudo dessa resistência, contudo, garante a conservação desses elementos construtivos por um longo prazo, mesmo em ambientes em que haja a ocorrência de organismos biodegradadores da madeira, já que formulações que

promovem uma melhor conformação dos painéis em geral apresentam fibras melhor protegidas pelo cimento e portanto chapas mais resistentes à biodegração.

3.4 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste estudo, é possível concluir que:

O uso de aditivo, sobretudo do cloreto de cálcio, nas formulações dos painéis representou ganho em resistência ao ataque de *Pycnoporus sanguineus*.

O preparo das partículas, sobretudo o banho térmico, gerou aumento na resistência dos painéis ao ataque de *P. sanguineus*.

A quantidade de cimento utilizada para manufatura do painel influencia na resistência à degradação por *P. sanguineus*, de forma que as formulações com mais cimento em sua composição (proporção de madeira:cimento de 1:3,0) geraram painéis mais resistentes.

O painel cimento-madeira de cinamomo foi classificado, de acordo com a ASTM D2017 (2005), como muito resistente ao agente xilófago *P. sanguineus*.

REFERÊNCIAS

ASTM. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-1037**: Standard test methods for evaluating properties of wood-based fiber and particle panel materials. Philadelphia, 1999.

ASTM. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-2017**: Standard method for accelerated laboratory test of natural decay resistance for woods Philadelphia, 2005.

BOBADILLA, E. A. **Durabilidad natural de la madera de cinco espécies aptas para la industria de la construcción**. 2004. 118 p. Disertación (Maestria em Tecnologia de Madera, Celolosa y Papel)-Universidad Nacional de Misiones, Misiones, 2004.

BOBADILLA, E. A. et al. Durabilidad natural de la madera de dos especies aptas para la industria de la construcción. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 35, n. 3, p. 419-428, set./dez. 2005.

CARVALHO, P. E. R. **Melia azedarach**. Colombo: Embrapa Florestas, Colombo, nº 3, set., 1999. 9 p.

CARVALHO W., et al. Uma visão sobre a estrutura, composição e biodegradação da madeira. **Quim. Nova**, São Paulo, v. 32, n. 8, p. 2191-2195, set. 2009.

CASTRO, V. G. et al. Painéis cimento-madeira de *Eucalyptus saligna* com diferentes aditivos químicos e métodos de formação. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 45, n. 2, p. 349 - 360, abr./jun. 2015.

CATO, A. L. **Resistência ao intemperismo natural e ao ataque fúngico de compósitos polímero-madeira**. 2015. 225 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2015.

DACOSTA, L. P. E. **Utilização de resíduos do processamento mecânico da madeira para fabricação de chapas aglomeradas**. 2004. 188 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 113**. Wood preservatives. Test method for determining the protective effectiveness against wood destroying basidiomycetes - Determination of the toxic values. (1996).

FERREIRA, E. F. **Uso de extratos vegetais no controle de antracnose (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz.) em mamoeiro (*Carica papaya* L.)**. 2013. 48 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, BA, 2013.

GARCIA, R. A. et al. Atividade antifúngica de óleo e extratos vegetais sobre *Sclerotinia sclerotiorum*. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 28, n. 1, p. 48-57, jan./feb. 2012.

- HANADA, R. E.; ALMEIDA, F. L.; GOES, A. F. Durabilidade natural de aglomerado cimento-madeira ao ataque de fungos xilófagos. In.: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 54., 2002, Goiânia/GO. **Anais...** Goiânia/GO: SBPC, 2002. 250 p.
- HILLIG, E. **Qualidade de chapas aglomeradas estruturais, fabricadas com madeiras de Pinus, Eucalipto e Acácia negra, puras ou misturadas, coladas com tanino-formaldeído.** 2000. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS.
- IWAKIRI, S. et al. Efeitos do tratamento de partículas e aceleradores de endurecimento na produção de painéis cimento-madeira de *Hevea brasiliensis*. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 47, n. 3, p. 289-296, jul./set., 2017
- IWAKIRI, S.; PRATA, J. G. Utilização da madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii* na produção de painéis de cimento-madeira. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 1, p. 68-74, jan./mar. 2008.
- IWAKIRI, S. et al. Propriedades tecnológicas de painéis cimento-madeira produzidos com partículas de eucalipto. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.14, n.3, p.217-223, 2015.
- LATORRACA, J. V. F. ***Eucalyptus* spp. na produção de painéis de cimento-madeira.** 2000. 182 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2000.
- LILGE, D. S. **Desempenho de duas espécies florestais em combinação com casca de arroz na fabricação de painéis cimento-madeira.** 2009. 90 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.
- LIMA, A. M. **Influência de três tipos de tratamentos físicos na resistência à compressão de compósitos cimento-madeira à base de resíduo de serraria.** 2005. 112 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2005.
- MACHADO, S. F. **Propriedades tecnológicas das madeiras de *Melia azedarach* L., *Cordia americana* (L) Gottschiling J. S. Mill. e *Parapiptadenia rigida* Benth submetidas à biodegradação.** 2016. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2016.
- MOSLEMI, A. A. **Particleboard: Materials.** 1. ed. London: Southern Illinois University Press. 1974. 245 p.
- OKINO, E. Y. A. et al. Physico-mechanical properties and decay resistance of *Cupressus* spp. cement-bonded particleboard. **Cem. Conc. Comp.**, v. 27, p. 333-338, 2005.

PAPADOPOULOS, A. N. Natural durability and performance of hornbeam cement bonded particleboard. **Maderas**, Concepción, Chile, v. 10, n. 2, p. 93-98, mai./ago., 2008

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R**: A language and environment for statistical computing. 2012. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 8 nov. 2017.

SALAZAR, D. I. O. Actividad antifúngica de extractos de biomasa celular de neem sobre aislamientos de dermatofitos. **Rev. Colomb. Biotecnol.**, v. 15, n. 2, p. 187-193, dic., 2014.

SANTI, N. V. **Utilização de resíduo de *Pinus* spp. para produção de placas de cimento-madeira**. 2013. 43 p. Monografia (Engenharia de Produção Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

SANTOS, C. **Novas alternativas de testes de agrupamentos avaliadas por meio de simulação Monte Carlo**. 2000. 85 p. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

SANTOS Z. M. **Avaliação da durabilidade natural da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill: Maiden em ensaios de laboratório**. 1992. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1992.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, v. 30, n. 3, p. 507-512, sept. 1974.

SILVA, C. M., BOTELHO, R. V., FARIA C. M. D. R. Ação de extratos de cinamomo sobre *Plasmopara viticola*. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 30, sup. 2, p. 639-649, oct., 2014.

SIMÕES, C. M. O., et al. **Plantas da medicina popular do RS**. 1. ed. Porto Alegre: Editora Universidade/UFRGS, 1998, 173 p.

SOARES, B. M. **Diversidade de fungos decompositores de madeira presentes em ecossistemas brasileiros: bioprospecção de espécies úteis em processo de biodegradação de poluentes aromáticos**. 2013. 103 p. Dissertação (Mestrado em Microbiologia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

SOUZA, M.R. **Durability of cement-bonded particleboard made conventionally and carbon dioxide injection**. 1994. 123 p. Tese (Doctor of Philosophy)-University of Idaho, Idaho, 1994.

SOUZA, M. R.; GEIMER, R. L.; MOSLEMI, A. A. Degradation of conventional and CO₂-injected cement-bonded particleboard by exposure to fungi and termites. **J. Trop. Forest. Prod.**, Malásia, v. 3, n. 1, p. 63-69, 1997.

STANGERLIN, D. M. **Monitoramento das propriedades de madeiras da Amazônia submetidas ao ataque de fungos apodrecedores**. 2012. 259 p. Tese

(Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2012.

SUKARTANA, P.; RUSHELIA, R.; SULASTININGSIH, I. M. Resistance of Wood- and Bamboo-Cement Boards to subterranean termite *Coptotermes gestroi* Wasmann (Isoptera: Rhinotermitidae). In: WOOD-CEMENT COMPOSITES IN THE ASIA PACIFIC REGION, 1., 2000, Caberra. **Anais...** Canberra: ACIAR, 2000. p. 62-65.

TEIXEIRA, J. G., et al. Eficiência do óleo de neem e dos resíduos de candeia sobre a inibição do desenvolvimento de fungos xilófagos. **Sci. For.**, Piracicaba, v. 43, n. 106, p. 417-426, jun. 2015.

TOMAZELI, A. J. et al. Durabilidade natural de quatro espécies florestais em campo de apodrecimento. **Tecno-lógica**, Santa Cruz, v. 20, n. 1, p. 20-25, jan /jul., 2016.

WONG, A. H. H.; CHEE, A. L. Comparative resistance of cement-bonded rubberwood particleboard, rubberwood medium density fiberboard, rubberwood and radiata pine to microfungi and subterranean termite attack. In.: WOOD-CEMENT COMPOSITES IN THE ASIA-PACIFIC REGION. 1., 2000, Canberra/Austrália. **Proceedings...** Canberra/Australia: ACIAR, 2000, p. 72

4 PROPRIEDADES FÍSICAS DOS PAINÉIS CIMENTO-MADEIRA DE *Melia azedarach*

4.1 INTRODUÇÃO

A produção de painéis reconstituídos vem atendendo às necessidades da população mundial no que se refere a utilização de madeira. A substituição da madeira maciça por painéis torna o consumo de madeira mais viável, já que um insumo lenhoso de menor valor econômico, inclusive resíduos (GARCEZ et al., 2016; LIMA e IWAKIRI, 2014; SANTI, 2013; MACÊDO, SOUZA e NETO, 2012; SANTOS et al., 2008), pode ser utilizado na manufatura desses painéis.

Painéis voltados para uso na construção civil, como o cimento-madeira, além de seu baixo custo, apresentam características de resistência desejáveis para as finalidades a que se aplicam. Esses painéis aliam as propriedades do cimento às das fibras da madeira, gerando um material com alta estabilidade dimensional, resistente ao fogo e de fácil trabalhabilidade (CASTRO et al., 2015; LIPINSKI, 1994)

A massa específica ideal da madeira, para manufatura de painéis cimento-madeira, deve estar entre 0,3 e 0,8 g/cm³ (SIMATUPANG et al., 1978). Dessa forma o lenho de cinamomo pode ser considerado adequado para esta finalidade, já que possui massa específica básica entre 0,40 e 0,50 g/cm³, de acordo com Pérez et al. (2004) e massa específica aparente média, ao teor de umidade de equilíbrio de 12%, de 0,61 g/cm³, de acordo com Schneider (1987).

De acordo com Melo (2013), tanto a madeira quanto os painéis que utilizam esta matéria-prima em sua composição, apresentam a característica de contrair e expandir em função de variações do teor de umidade do ambiente. Contudo, os painéis cimento-madeira especificamente, por utilizarem cimento em sua fabricação, ingrediente este que gera alta resistência à umidade, apresentam maior estabilidade dimensional se comparados aos painéis aglomerados (LIPINSKI, 1994; MOSLEMI, 1974).

Outra propriedade importante quando se considera o uso de compósitos à base de madeira para a construção civil é sua resistência ao fogo. Fadai et al. (2012) e Na et al. (2014) afirmam que painéis reconstituídos do tipo cimento-madeira são muito resistentes ao fogo, tanto que Moslemi (1989) e Matoski (2005) consideram este produto virtualmente incombustível.

Vale lembrar que a variabilidade de características que podem ser encontradas nas diferentes espécies madeireiras, ou nas diferentes idades do lenho tem o potencial de gerar produtos com distintas capacidades de resistência física (MACÊDO, SOUZA e NETO, 2012), incrementando assim as propriedades dos painéis de acordo com a necessidade de seu uso final.

O cinamomo, madeira avaliada neste estudo, apresenta uma boa adaptabilidade em toda a América, desde o sudeste dos Estados Unidos até a América do Sul (VENSON, 2003). Lorenzi (2003) afirma que o cinamomo pode ser considerado subespontâneo nas regiões sul e sudeste do Brasil.

Neste sentido, esta etapa teve como objetivo avaliar o comportamento físico (massa específica, absorção de água, inchamento em espessura e resistência ao fogo) de painéis do tipo cimento-madeira, manufaturados com madeira de cinamomo submetidos a diferentes tipos de tratamentos de partículas, além do uso de diferentes aceleradores de cura e proporções de cimento na constituição desses painéis.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Matéria-prima

Os painéis cimento-madeira de cinamomo utilizados neste estudo foram desenvolvidos com quatro tipos de preparo das partículas de madeira (imersão em solução de NaOH, imersão em solução de $Al_2(SO_4)_3$, banho térmico e testemunha); duas proporções de madeira cimento (1:2,5 e 1:3,0); e três tipos de aditivos adicionados à massa dos painéis (CaCl, MgCl e testemunha). As matérias-primas utilizadas para a confecção desses painéis, bem como o método de fabricação dos mesmos encontram-se descritos no capítulo anterior.

O ensaio de avaliação do inchamento em espessura e absorção de água foi realizado nas dependências do curso de Engenharia Industrial Madeireira da Universidade Federal de Pelotas. Já o ensaio de resistência ao fogo foi realizado no Laboratório de Produtos Florestais da Universidade Federal de Santa Maria.

Após o esquadreamento dos painéis (Figura 3.3, Capítulo 3), os corpos de prova de todos os ensaios foram armazenados previamente em câmara climatizada

com temperatura de 20°C e teor de umidade relativa do ar de 65%, até estabilização da massa dos mesmos.

4.2.2 Propriedades físicas

4.2.2.1 Determinação da massa específica dos painéis a 12% de TU

Tendo em vista que a massa específica é uma característica de grande importância para a discussão das propriedades dos painéis reconstituídos, todos os corpos de prova tiveram sua massa específica ao teor de umidade de equilíbrio (12%) determinada, após sua estabilização em câmara climatizada (20° C e 65% de TU), e antes dos testes serem executados.

Para obtenção dos valores de massa e volume, necessários ao cálculo da massa específica aparente a 12% de TU, foram utilizados balança analítica e paquímetro digital. O cálculo da densidade foi realizado de acordo com a Equação 4.1.

$$\rho = M \div V \quad (4.1)$$

Onde:

ρ = massa específica aparente a 12% de TU (g/cm³);

M = massa a 12 % de TU (g);

V = volume a 12% de TU (cm³)

4.2.2.2 Inchamento em espessura e absorção de água

A norma utilizada como referência para a realização dos testes de inchamento em espessura e absorção de água foi a ASTM D-1037 (1999). Esta norma determina que os corpos de prova, para aferição de inchamento em espessura e absorção de água, tenham 152 ± 1 mm de aresta. O procedimento realizado foi o de imersão dos corpos de prova, de forma que os mesmos ficaram cobertos por uma lâmina de 25 mm de água, com pH 7, à 20°C, durante períodos de 2 e 24 horas.

Para determinar o inchamento, a espessura dos corpos de prova foi medida na intersecção de suas diagonais, antes e após a imersão em água durante 2 e 24 horas. Um relógio comparador foi utilizado para medição da espessura. Já para a determinação de comprimento e largura foi utilizado um paquímetro digital. O cálculo do inchamento em espessura, expresso em percentagem, se deu através da aplicação da Equação 4.2.

$$G_t = \left(\frac{t_2 - t_1}{t_1} \right) \times 100 \quad (4.2)$$

Em que:

G_t = inchamento (%);

t_2 = espessura final (mm);

t_1 = espessura inicial (mm).

Já para o teste de absorção de água, foi determinada a massa dos corpos-de-prova, antes e após sua imersão em água (por 2 horas e por 24 horas). A massa foi obtida com a utilização de balança analítica eletrônica de precisão centesimal. A Equação 4.3 foi utilizada para determinar a absorção.

$$A_m = \left(\frac{m_2 - m_1}{m_1} \right) \times 100 \quad (4.3)$$

Em que:

A_m = absorção (%);

m_2 = massa final (g);

m_1 = massa inicial (g).

4.2.2.3 Resistência ao fogo

O ensaio de resistência ao fogo foi realizado em câmara de fluxo, de acordo com o procedimento descrito por Tondi et al. (2012) adaptado. Os corpos-de-prova

medindo 5,0 cm x 2,5 cm x 0,95 cm foram expostos à chama de um bico de Bunsen durante 2 minutos, com distância de 4 cm entre a chama azul e a superfície da madeira (Figura 4.1). Para determinar o tempo de ignição, o tempo de chama e o tempo de brasa foi utilizado um cronômetro.

Figura 4.1 - Ensaio de resistência ao fogo.



Fonte: Autora.

4.2.3 Análise estatística

Os dados de absorção de água em 2 e 24 horas de imersão, inchamento em 2 e 24 horas de imersão em água e resistência ao fogo dos painéis de cimento-madeira foram avaliados mediante análise de variância e teste de comparação de médias. Com a finalidade de evitar a ambigüidade na interpretação dos dados (SANTOS, 2000), o teste de médias utilizado neste trabalho foi o Scott-Knott (SCOTT e KNOTT, 1974), com nível de significância de 5% e, portanto, 95% de confiança.

As análises estatísticas foram realizadas com a utilização do software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2012).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores observados para cada um dos corpos de prova que foram submetidos a cada um dos ensaios de resistência física, encontram-se no Anexo 4.1.

4.3.1 Massa específica aparente dos painéis a 12% de TU

A massa específica dos painéis variou entre 1,17 g/cm³ e 1,26 g/cm³, sendo que o valor esperado era de 1,25 g/cm³. De acordo com Hillig (2000) e Dacosta (2004), a variação da massa específica entre e dentro dos painéis à base de partículas ocorre devido às condições de manufatura em laboratório. A falta de homogeneidade na distribuição manual da mistura para formação dos painéis é a principal responsável por esta variação.

Os valores médios de massa específica aparente a 12 % de TU, para os diferentes tratamentos, são apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Valores médios observados de massa específica aparente a 12% de TU dos painéis.

Tratamento	Método	Proporção	Aditivo	ρ (g/cm ³)
1	Testemunha	1:2,5	Testemunha	1,20
2	Testemunha	1:2,5	CaCl ₂	1,21
3	Testemunha	1:2,5	MgCl ₂	1,21
4	Testemunha	1:3,0	Testemunha	1,20
5	Testemunha	1:3,0	CaCl ₂	1,23
6	Testemunha	1:3,0	MgCl ₂	1,20
7	Banho térmico	1:2,5	Testemunha	1,23
8	Banho térmico	1:2,5	CaCl ₂	1,26
9	Banho térmico	1:2,5	MgCl ₂	1,25
10	Banho térmico	1:3,0	Testemunha	1,24
11	Banho térmico	1:3,0	CaCl ₂	1,26
12	Banho térmico	1:3,0	MgCl ₂	1,26
13	Al ₂ (SO ₄) ₃	1:2,5	Testemunha	1,22
14	Al ₂ (SO ₄) ₃	1:2,5	CaCl ₂	1,25
15	Al ₂ (SO ₄) ₃	1:2,5	MgCl ₂	1,25

Contin...				
16	$Al_2(SO_4)_3$	1:3,0	Testemunha	1,22
17	$Al_2(SO_4)_3$	1:3,0	CaCl ₂	1,26
18	$Al_2(SO_4)_3$	1:3,0	MgCl ₂	1,25
19	NaOH	1:2,5	Testemunha	1,18
20	NaOH	1:2,5	CaCl ₂	1,19
21	NaOH	1:2,5	MgCl ₂	1,18
22	NaOH	1:3,0	Testemunha	1,17
23	NaOH	1:3,0	CaCl ₂	1,18
24	NaOH	1:3,0	MgCl ₂	1,19

Onde: método = método de preparo das partículas; proporção = proporção de madeira:cimento; ρ = densidade a 12 % de TU.

Fonte: Autora.

Latorraca (2000), em seu estudo avaliando *Eucalyptus spp.* na manufatura de painéis cimento-madeira, embora tenha adotado uma massa específica de 1,20 g/cm³ para os painéis durante o cálculo de seus componentes, obteve uma variação de massa específica de 1,07 a 1,11 g/cm³ nas chapas manufaturadas.

Castro et al. (2015), por sua vez, ao adotarem uma massa específica nominal de 1,0 g/cm³ na fabricação de painéis cimento-madeira com diferentes aditivos e métodos de compactação, alcançaram variações de massa específica de 0,75 a 1,06 g/cm³ entre os tratamentos.

4.3.2 Absorção de água

De acordo com Zucco (1999) a baixa capacidade de absorção de materiais compósitos se deve ao material aglutinante, que na composição dos painéis recobre as fibras de madeira, limitando assim seu contato com a umidade.

Os valores médios de absorção de água em 2 e 24 horas, encontrados para os diferentes tratamentos, estão demonstrados na Tabela 4.2. Observa-se que os valores de absorção em 2 horas de imersão em água variaram de 10,85 a 36,21%, enquanto que os valores para absorção em 24 horas de imersão variaram de 14,86 a 39,43%.

Tabela 4.2 - Valores médios observados de absorção de água em 2 e 24 horas dos painéis.

Tratamento	Método	Proporção	Aditivo	Abs 2 hs (%)	Abs 24 hs (%)
1	Testemunha	1:2,5	Testemunha	19,60	24,64
2	Testemunha	1:2,5	CaCl ₂	12,23	17,61
3	Testemunha	1:2,5	MgCl ₂	13,80	18,62
4	Testemunha	1:3,0	Testemunha	16,94	19,97
5	Testemunha	1:3,0	CaCl ₂	12,02	15,93
6	Testemunha	1:3,0	MgCl ₂	12,51	16,37
7	Banho térmico	1:2,5	Testemunha	17,19	21,58
8	Banho térmico	1:2,5	CaCl ₂	13,16	18,31
9	Banho térmico	1:2,5	MgCl ₂	13,91	19,13
10	Banho térmico	1:3,0	Testemunha	16,48	20,24
11	Banho térmico	1:3,0	CaCl ₂	12,61	16,57
12	Banho térmico	1:3,0	MgCl ₂	14,00	18,09
13	Al ₂ (SO ₄) ₃	1:2,5	Testemunha	18,36	23,78
14	Al ₂ (SO ₄) ₃	1:2,5	CaCl ₂	11,76	16,12
15	Al ₂ (SO ₄) ₃	1:2,5	MgCl ₂	13,92	18,12
16	Al ₂ (SO ₄) ₃	1:3,0	Testemunha	15,22	19,37
17	Al ₂ (SO ₄) ₃	1:3,0	CaCl ₂	10,85	14,86
18	Al ₂ (SO ₄) ₃	1:3,0	MgCl ₂	13,86	17,08
19	NaOH	1:2,5	Testemunha	36,21	39,43
20	NaOH	1:2,5	CaCl ₂	16,80	19,71
21	NaOH	1:2,5	MgCl ₂	21,07	23,35
22	NaOH	1:3,0	Testemunha	30,84	33,30
23	NaOH	1:3,0	CaCl ₂	16,68	18,90
24	NaOH	1:3,0	MgCl ₂	19,09	21,54

Onde: método = método de preparo das partículas; proporção = proporção de madeira:cimento; abs = absorção de água.

Fonte: Autora.

Verificou-se que os painéis fabricados sem aditivo em sua composição apresentaram maiores valores de absorção nos dois tempos de imersão (2 e 24 horas). O uso do cloreto de cálcio como aditivo gerou um melhor desempenho dos painéis, resultando nos menores valores de absorção observados. Este mesmo

comportamento foi verificado por Castro et al. (2015), em seu estudo avaliando o uso de diferentes aditivos na composição de painéis cimento-madeira de eucalipto. No referido trabalho os autores encontraram níveis maiores de absorção de água, para 2 e 24 horas de imersão (38,43 e 45,46%, respectivamente), naqueles painéis sem aditivo em sua formulação. Embora os melhores resultados obtidos pelos autores supracitados tenham sido com o uso de cloreto de cálcio (21,89% em 2 horas e 29,11 % em 24 horas) e cloreto de magnésio (27,17% em 2 horas e 32,66% em 24 horas) como aditivos, o primeiro apresentou desempenho superior ao segundo, da mesma forma que no presente estudo.

Do mesmo modo Iwakiri et al. (2017a) ao estudarem compósitos cimento-madeira produzidos com *Hevea brasiliensis* e com o uso de diversos tipos de preparos de partículas e dois aditivos na composição dos painéis encontraram desempenho superior na absorção de água em compósitos manufaturados com cloreto de cálcio como aditivo se comparados aqueles produzidos com o uso de silicato de sódio. Enquanto o CaCl_2 gerou absorções de 9,08 a 12,23% em 2 horas de imersão em água e 12,44 a 16,05% em 24 horas, o silicato de sódio resultou em 15,52 a 19,86% de absorção em 2 horas de imersão e 18,33 a 23,56% em 24 horas.

Observa-se na Tabela 4.1 que o aumento da quantidade de cimento nas formulações dos painéis (proporção 1:3,0) também gerou uma melhor performance, com menores taxas de absorção d'água tanto em 2 quanto em 24 horas de imersão. Efeito similar foi observado por Garcez et al (2017) em sua investigação sobre diferentes proporções de madeira:cimento (1:0,43 e 1:0,67) na manufatura de painéis feitos com serragem de *Eucalyptus grandis*. Os autores encontraram menores valores de absorção de água (31%) nos compósitos fabricados com uma maior quantidade de cimento em relação à madeira (madeira:cimento 1:0,67), e remetem a maior absorção em painéis com uma maior quantidade de madeira (51,65%) à higroscopicidade característica do lenho.

Cechin (2017) observou em seu estudo, avaliando compósitos de cimento e bambú mossô (*Phyllostachys pubecens*), que quanto maior a quantidade de biomassa vegetal e menor a quantidade de cimento, maiores foram as taxas de absorção de água dos painéis, com valores variando de 25,37% para os tratamentos com menor quantidade de bambú, até 52,33% para aqueles com maior quantidade do elemento vegetal.

Isso indica que, independentemente do tipo de biomassa vegetal adicionado ao painel, seja ela de monocotiledôneas ou de espécies lenhosas, quanto maior a sua quantidade em relação à quantidade de cimento, maior será a absorção de água sofrida pelo compósito. Esse fenômeno ocorre sobretudo pela higroscopicidade dos materiais vegetais (GARCEZ et al., 2017). Essa higroscopicidade pode ser explicada pela presença de celulose e hemiceluloses na constituição vegetal, sendo que a segunda é a mais hidrófila, contribuindo em maior grau para as alterações dimensionais do material (MELLO, 2013).

Já no que se refere ao método de preparo das partículas, os piores desempenhos do presente estudo podem ser observados (Tabela 4.1) nos painéis cujas partículas foram preparadas com imersão em solução de NaOH (de 16,68 a 36,21 em 2 horas e de 18,90 a 39,43% em 24 horas). Isso também ocorreu no estudo de Iwakiri et al. (2015), que avaliaram diferentes métodos de tratamento de partículas na fabricação de painéis cimento-madeira de eucalipto. Os pesquisadores encontraram os maiores valores de absorção (9% em 2 horas e 14,22% em 24 horas) justamente nos painéis fabricados com partículas preparadas com NaOH. Estes valores, da mesma forma que no presente estudo, foram superiores inclusive aos valores encontrados nos painéis manufaturados sem preparo algum das partículas.

Guimarães et al. (2015), por sua vez, em seu estudo avaliando 3 métodos de preparo de partículas de eucalipto em painéis com cloreto de cálcio em sua composição, não observaram diferenças estatísticas, na absorção de água em 24 hs, entre os painéis fabricados com partículas preparadas com banho térmico e as partículas sem preparo prévio.

4.3.2.1 Absorção de água (2 hs): análise estatística

Com objetivo de atingir a normalidade e a homocedasticidade dos dados de absorção de água em 2 horas de imersão, os mesmos sofreram transformação de acordo com a Equação 4.4.

$$abs2t = LN (absor2) \quad (4.4)$$

Onde:

abs2t = absorção 2 horas transformada (%);

LN = logaritmo natural;

abs2 = absorção 2 horas (%).

Dessa forma, foi possível garantir, com significância de 5%, através dos testes Shapiro-Wilk e Bartlett, que os resíduos possuem, respectivamente, distribuição normal e variância constante.

A análise de variância da absorção de água em imersão por 2 horas dos painéis (Tabela 4.3) mostrou que a interação tripla dos fatores analisados neste estudo não foi significativa. Contudo, foram significativas ($p < 0,05$) as interações duplas entre método de preparo das partículas e aditivos, e proporção madeira:cimento e aditivos. Os desdobramentos das referidas interações se encontram nos anexos 4., 4.3, 4.4 e 4.5, respectivamente.

Tabela 4.3 - Análise de variância de absorção de água (2 hs) dos painéis.

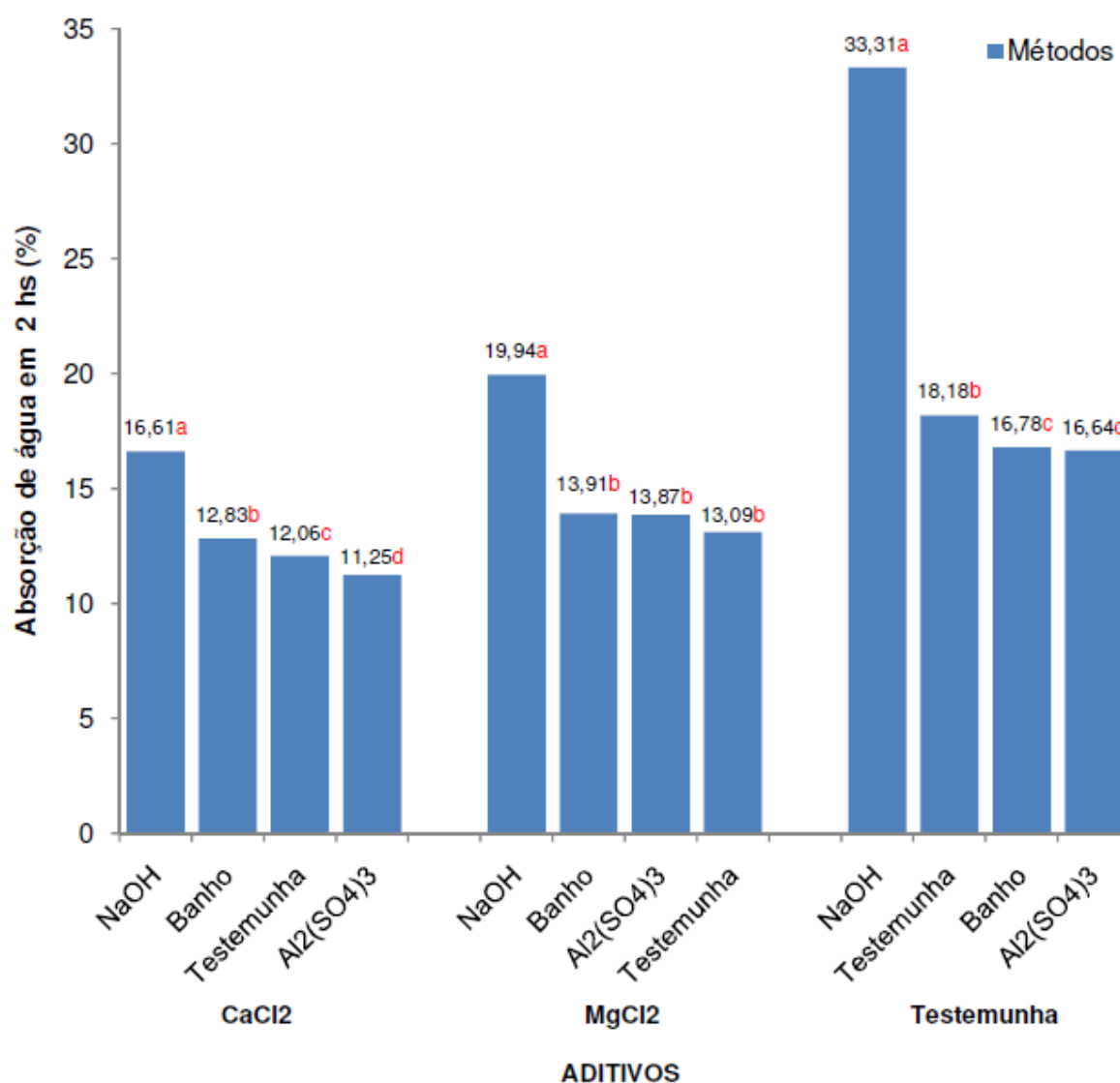
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Método	3	9,40843	3,13614	340,7841	0
Proporção	1	0,32351	0,32351	35,1535	0
Aditivo	2	8,15987	4,07993	443,3398	0
Método*Proporção	3	0,04555	0,01518	1,6498	0,1789
Método*Aditivo	6	1,22766	0,20461	22,2336	0
Proporção*Aditivo	2	0,11324	0,05662	6,1526	0,0025
Método*Proporção*Aditivo	6	0,09144	0,01524	1,6561	0,1331
Resíduo	216	1,98779	0,00920		
Total	239	21,35748	0,08936		

Onde: método = método de preparo das partículas; proporção = proporção madeira:cimento; aditivo: tipo de aditivo.

Fonte: Autora.

Na interação entre métodos de preparo das partículas e aditivos (Figura 4.2) podemos perceber que, para todos os aditivos, o pior método de preparo das partículas foi a imersão em solução de NaOH, gerando os maiores valores de absorção em 2 horas. Este tipo de preparo diferiu estatisticamente de todos os demais, para todos os tipos de aditivos utilizados.

Figura 4.2 - Teste de Scott-Knott para absorção de água em 2 hs: desdobramento dos métodos de preparo das partículas em relação aos aditivos.



Obs: médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, à 5% de significância.

Fonte: Autora.

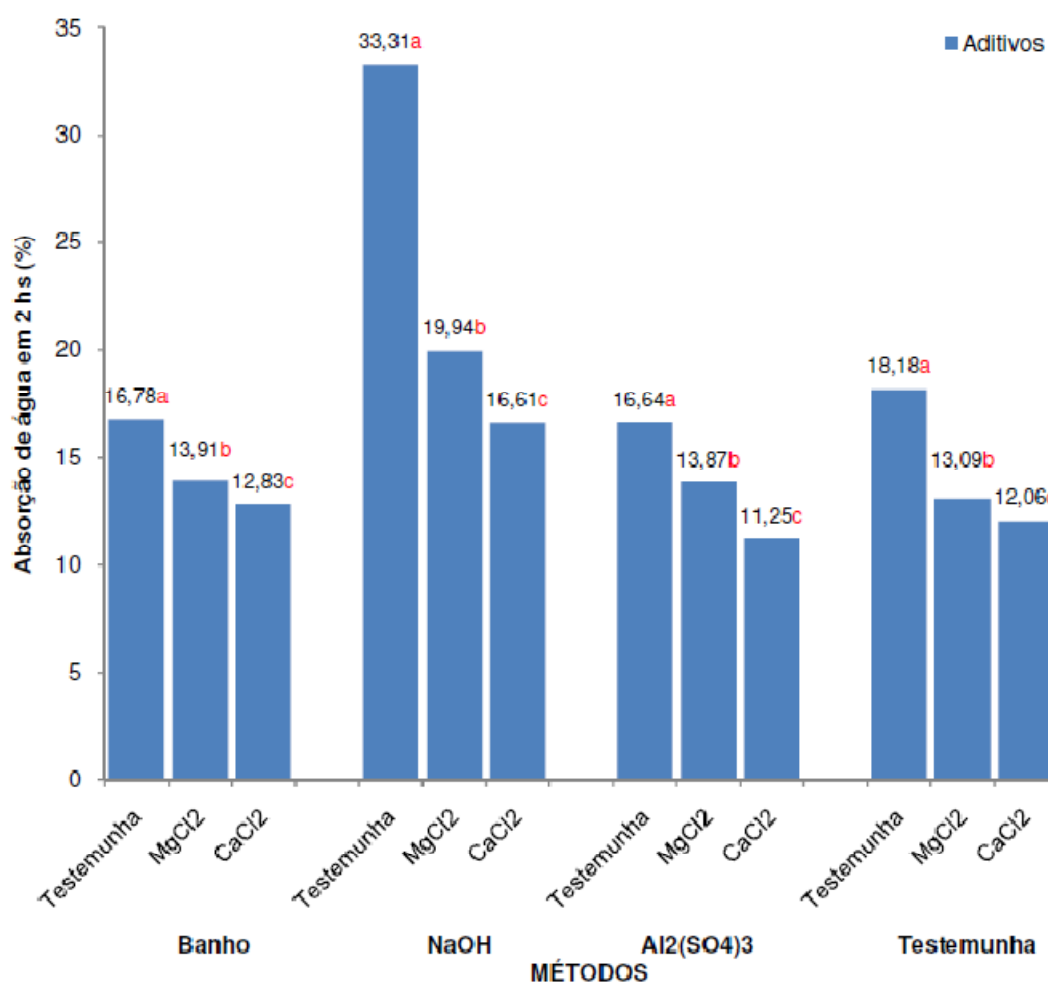
Observa-se também que para o aditivo CaCl₂ o melhor método de preparo das partículas é a imersão em solução de sulfato de alumínio, seguido da testemunha e do banho térmico.

Para o aditivo MgCl₂, os painéis com partículas sem preparo apresentaram menores valores de absorção, não diferindo estatisticamente no entanto da imersão em solução de sulfato de alumínio e do banho térmico.

Já para os painéis manufacturados sem aditivo, o preparo das partículas com imersão em solução de sulfato de alumínio gerou melhor desempenho em termos de absorção. Contudo, estes painéis não diferiram estatisticamente daqueles produzidos com partículas submetidas a banho térmico.

Analisando a relação entre os aditivos e os métodos de preparo das partículas (Figura 4.3), podemos observar que para todos os métodos de preparo, no que se refere à absorção de água em 2 hs de imersão, as piores formulações dos painéis foram aquelas que não usaram aditivo. Estes painéis diferiram estatisticamente de todos os demais, de forma que nenhuma outra formulação gerou resultados tão altos em termos de absorção.

Figura 4.3 - Teste de Scott-Knott para absorção de água em 2 hs: desdobramento dos aditivos em relação aos métodos de preparo das partículas.



Obs: médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, à 5% de significância.

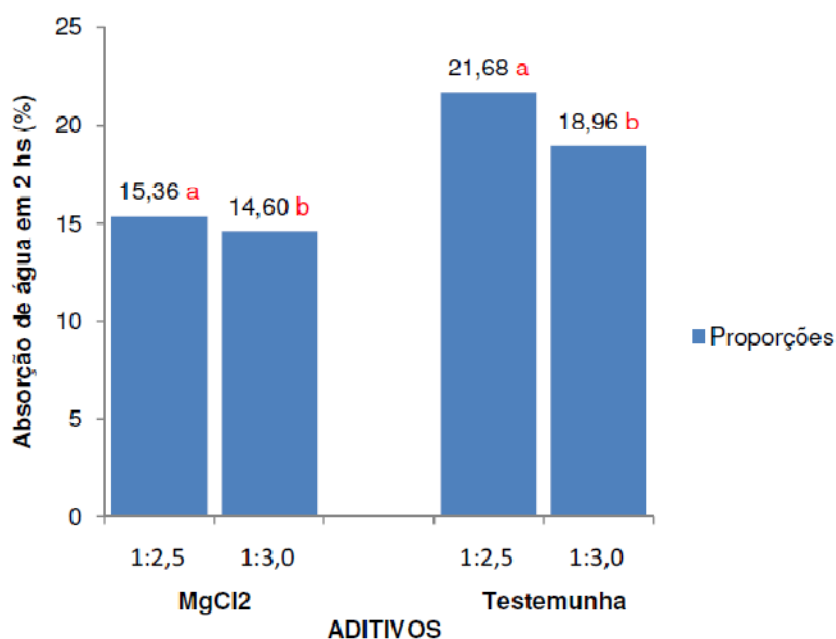
Fonte: Autora.

O cloreto de cálcio por sua vez, foi o aditivo que gerou menores taxas de absorção de água, para todos os métodos de preparo das partículas utilizados. De forma que o cloreto de magnésio, embora tenha apresentado uma redução de absorção em relação à testemunha, não foi capaz de alcançar o desempenho do CaCl_2 .

Na interação entre as proporções madeira:cimento e os aditivos (Anexo 4.4), embora o aditivo CaCl_2 tenha apresentado menores médias para as duas proporções de madeira:cimento (2,58% para proporção 1:2,5 e 2,55% para proporção 1:3,0) e, portanto, melhor desempenho no que se refere à absorção de água em 2 hs, este tratamento, de acordo com o teste F, apresentou médias estatisticamente iguais. Dessa forma a proporção de madeira:cimento não gerou diferenças relevantes quando do uso de CaCl_2 como aditivo.

Verificou-se, contudo, que para os painéis fabricados com MgCl_2 ou sem aditivo, maiores quantidades de cimento em sua composição geraram resultados melhores no que se refere a absorção de água em 2 horas (Figura 4.4). A proporção de madeira:cimento 1:2,5, ou seja, com maior quantidade de madeira em relação ao cimento, resultou em taxas de absorção de água maiores.

Figura 4.4 - Teste de Scott-Knott para absorção de água em 2 hs: desdobramento das proporções de madeira:cimento em relação aos aditivos.

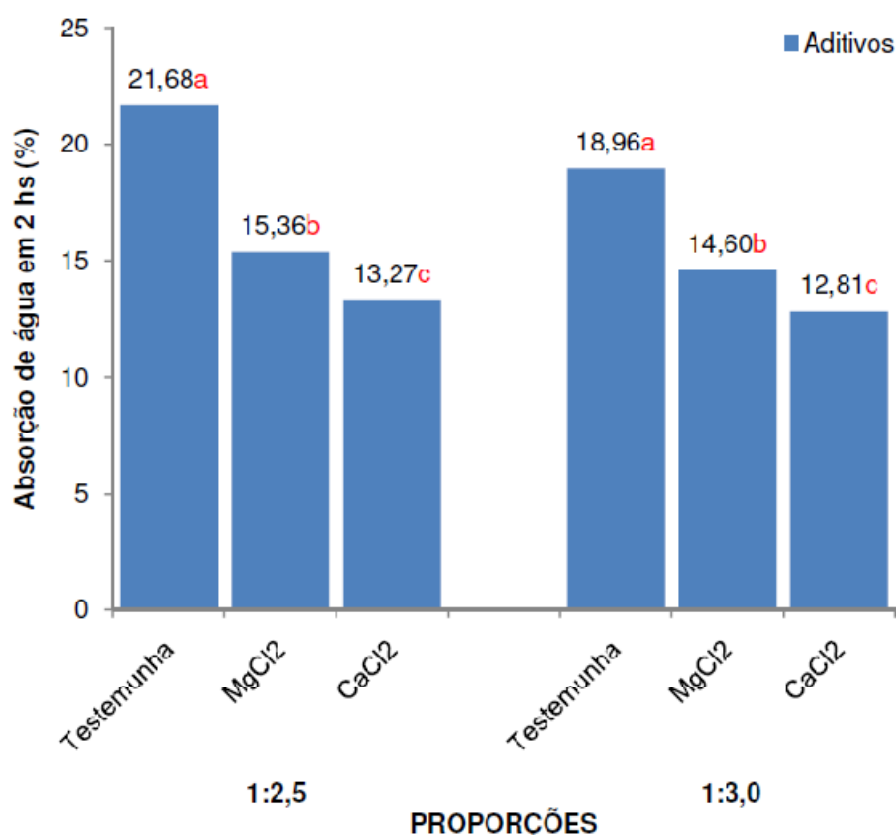


Obs: médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, à 5% de significância.

Fonte: Autora.

Avaliando a relação entre os aditivos e as proporções de madeira:cimento (Figura 4.5), podemos observar que, para qualquer uma das proporções de madeira:cimento utilizadas neste estudo, a melhor performance em termos de absorção (2 horas) foi do aditivo CaCl_2 , seguido do MgCl_2 e dos painéis sem aditivos na composição.

Figura 4.5 - Teste de Scott-Knott para absorção de água em 2 hs: desdobramento dos aditivos em relação às proporções de madeira:cimento.



Obs: médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, à 5% de significância.

Fonte: Autora.

4.3.2.2 Absorção de água (24 hs): análise estatística

Para que os dados de absorção de água em 24 horas de imersão atingissem a normalidade e a homocedasticidade, os mesmos sofreram transformação de acordo com a Equação 4.5.

$$abs24t = LN \left(\frac{absor24}{1+absor24} \right) \quad (4.5)$$

Onde:

abs24t = absorção 24 horas transformada (%);

LN = logaritmo natural;

abs24 = absorção 24 horas (%).

Dessa forma, foi possível garantir, com significância de 5%, através dos testes Shapiro-Wilk e Bartlett, que os resíduos possuem, respectivamente, distribuição normal e variância constante.

Da mesma forma que para os dados de absorção em 2 horas de imersão, na análise de variância da absorção de água em imersão por 24 horas dos painéis (Tabela 4.4), a interação tripla dos fatores analisados não foi significativa. Por outro lado, foram significativas ($p < 0,05$) as interações duplas entre método de preparo das partículas e proporções de madeira:cimento, e método de preparo das partículas e aditivos. Os desdobramentos das referidas interações se encontram nos anexos 4.6, 4.7, 4.8 e 4.9, respectivamente.

Tabela 4.4 - Análise de variância da absorção de água (24 hs) dos painéis.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Método	3	0,00709	0,00236	165,3197	0
Proporção	1	0,00154	0,00154	107,8819	0
Aditivo	2	0,01052	0,00526	367,7367	0
Método*Proporção	3	0,00015	0,00005	3,5903	0,0145
Método*Aditivo	6	0,00127	0,00021	14,8332	0
Proporção*Aditivo	2	0,00006	0,00003	1,9696	0,142
Método*Proporção*Aditivo	6	0,00011	0,00002	1,2839	0,2658
Resíduo	216	0,00309	0,00001		
Total	239	0,02383	0,00010		

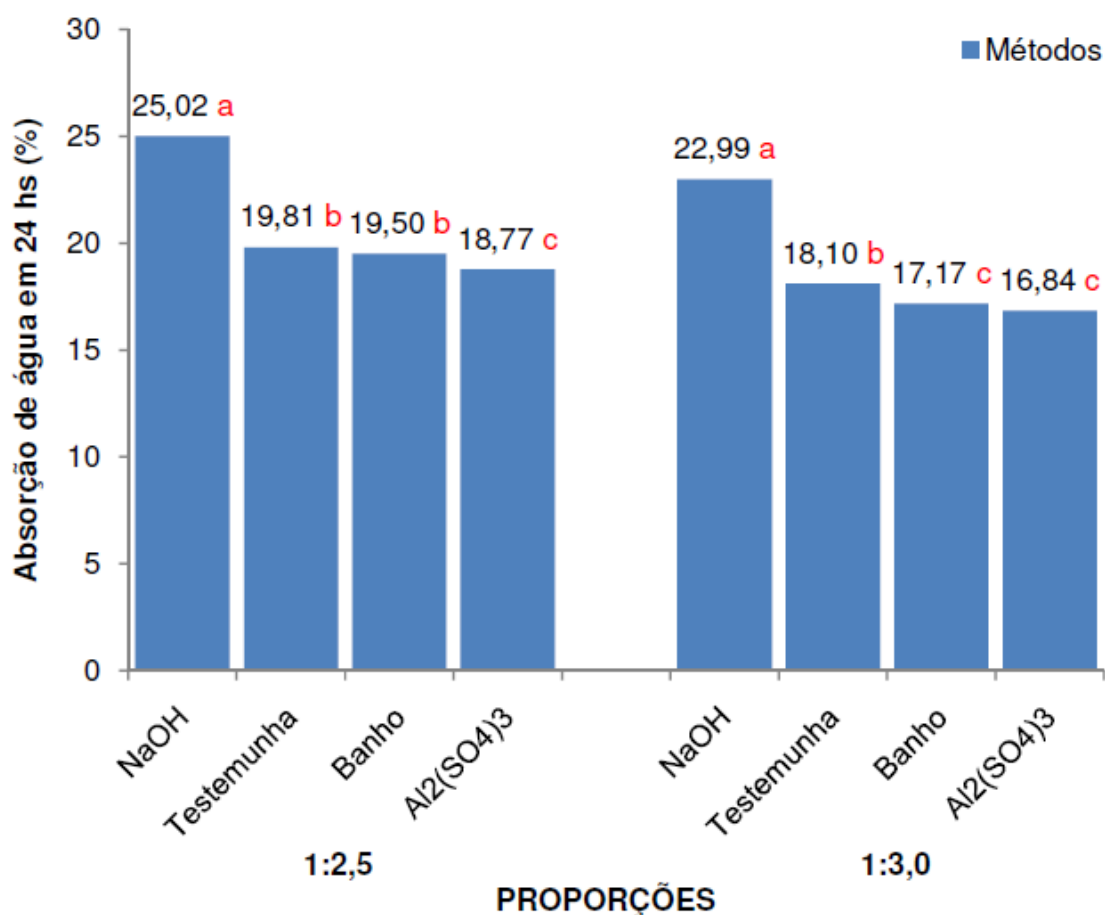
Onde: método = método de preparo das partículas; proporção = proporção madeira:cimento; aditivo: tipo de aditivo.

Fonte: Autora.

Na interação entre o método de preparo das partículas em relação às proporções de madeira:cimento (Figura 4.6), para as duas proporções de madeira:cimento estudadas, o método de preparo das partículas com imersão em

solução de NaOH foi o que gerou pior desempenho dos painéis na absorção após 24 hs de imersão em água. Nenhum dos outros métodos de preparo resultou em valores tão altos para esta variável.

Figura 4.6 - Teste de Scott-Knott para absorção de água em 24 hs: desdobramento do método de preparo das partículas em relação às proporções de madeira:cimento.



Obs: médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, à 5% de significância.

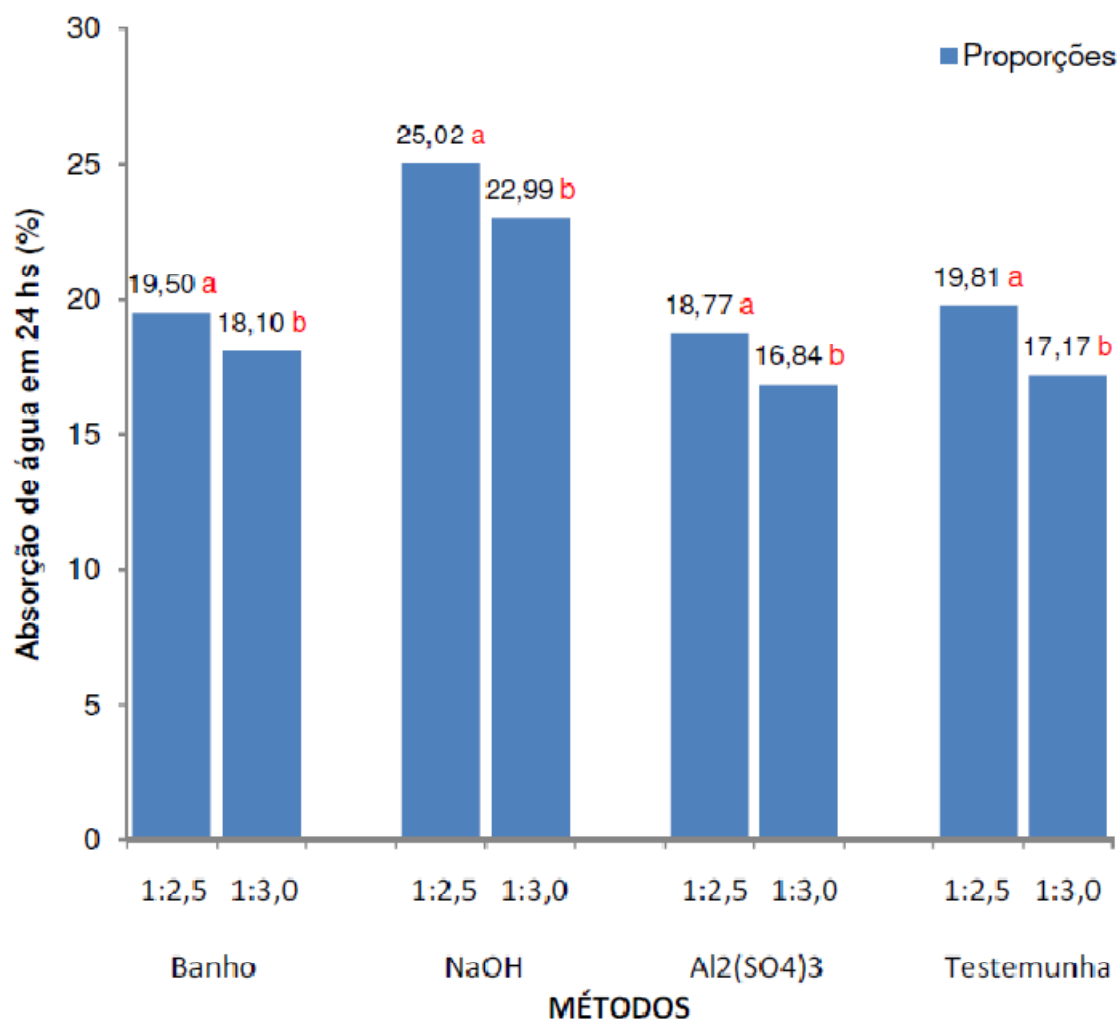
Fonte: Autora.

Na proporção de madeira:cimento de 1:2,5 o preparo que gerou melhores resultados foi a imersão em solução de sulfato de alumínio, seguido do banho térmico que não diferiu estatisticamente da testemunha. Já para a proporção de madeira:cimento de 1:3,0, os melhores métodos de preparo das partículas foram a imersão em sulfato de alumínio e o banho térmico, seguidos da testemunha.

Na análise da relação entre a proporção de madeira:cimento e o método de preparo das partículas (Figura 4.7), podemos observar que para todos os métodos de preparo, a proporção com uma menor quantidade de madeira em relação ao

cimento (1:3,0) gerou uma absorção menor de água pelos painéis. A proporção de 1:2,5 de madeira:cimento resultou em piores valores dessa variável.

Figura 4.7 - Teste de Scott-Knott para absorção de água em 24 hs: desdobramento da proporção de madeira:cimento em relação aos métodos de preparo das partículas.



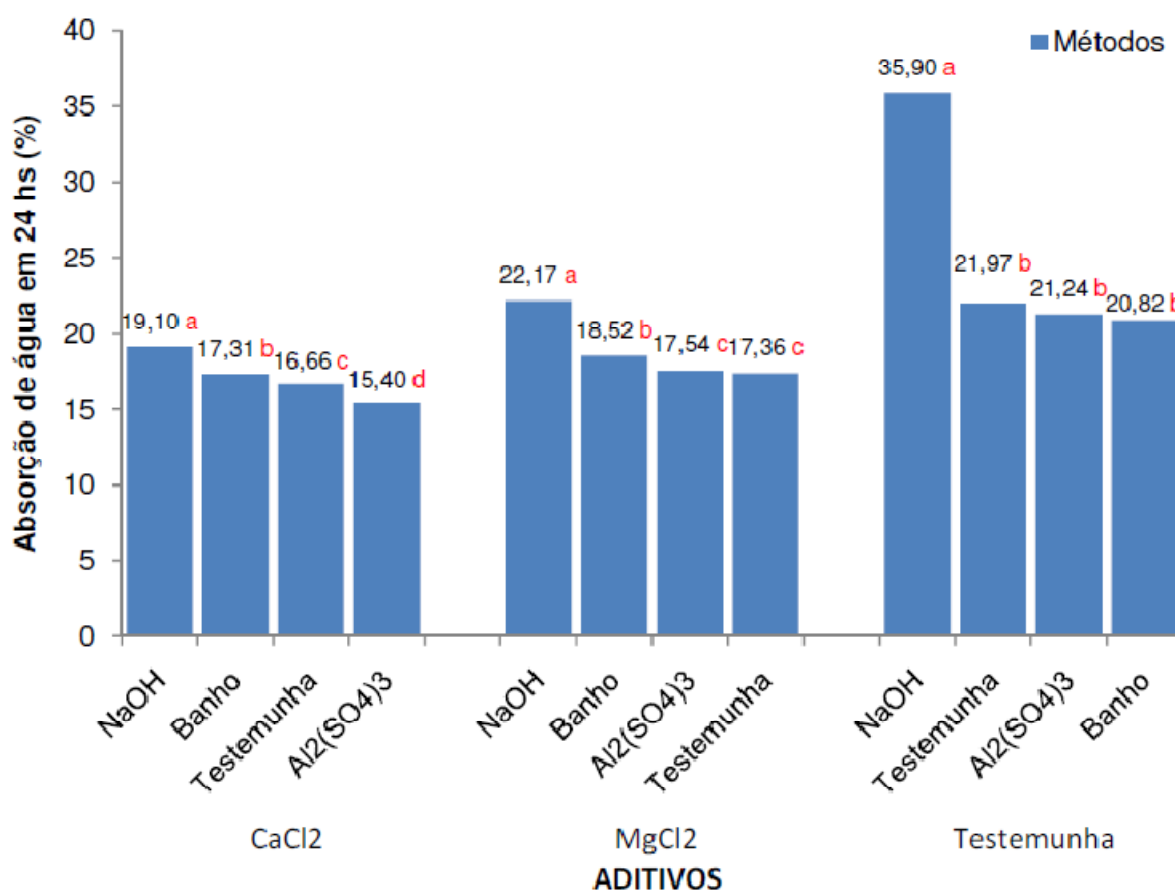
Obs: médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, à 5% de significância.

Fonte: Autora.

Na avaliação da interação entre os métodos de preparo das partículas e os aditivos (Figura 4.8), da mesma forma ao que foi observado nos dados de absorção em 2 horas (Figura 4.2), novamente o pior método de preparo das partículas, para todos os aditivos utilizados foi a imersão em NaOH, apresentando os maiores níveis de absorção de água em 24 horas. Por outro lado, o preparo com imersão em

sulfato de alumínio apresentou as menores taxas de absorção de água em 24 horas de imersão.

Figura 4.8 - Teste de Scott-Knott para absorção de água em 24 hs: desdobramento do método de preparo das partículas em relação aos aditivos.



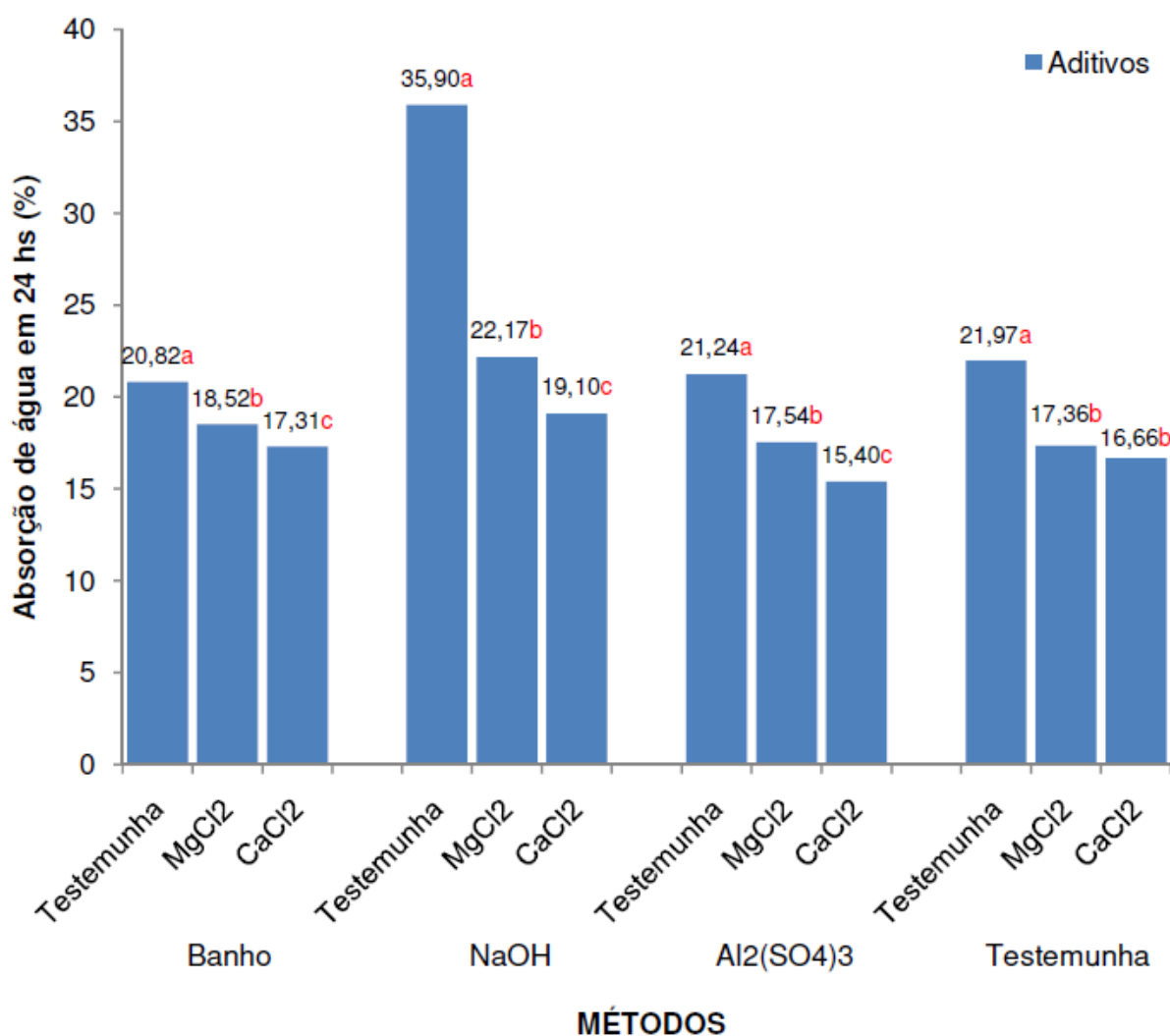
Obs: médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, à 5% de significância.

Fonte: Autora.

Para os painéis manufacturados com CaCl₂ como aditivo, o melhor método de preparo das partículas foi a imersão em solução de sulfato de alumínio, seguido da testemunha e do banho térmico. Já para os compósitos fabricados com MgCl₂ em sua formulação, os painéis com partículas sem preparo e preparadas com imersão em solução de sulfato de alumínio apresentaram os melhores valores de absorção, seguidos daqueles com partículas submetidas a banho térmico. Nos painéis em que não houve adição de nenhum tipo de aditivo, não houve diferença estatística entre os preparos de partículas que apresentaram as menores taxas de absorção, sendo eles: banho térmico, imersão em solução de sulfato de alumínio e testemunha.

Avaliando a interação dos aditivos em relação aos métodos de preparo das partículas (Figura 4.9) é possível observar que o desempenho dessa relação na absorção em 24 horas, seguiu o comportamento dos dados relativos à absorção em 2 horas de imersão (Figura 4.3).

Figura 4.9 - Teste de Scott-Knott para absorção de água em 24 hs: desdobramento do aditivo em relação aos métodos de preparo das partículas.



Obs: médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, à 5% de significância.

Fonte: Autora.

Observa-se, dessa forma, que o melhor aditivo, para todos os métodos de tratamento das partículas, foi o cloreto de cálcio, seguido do cloreto de magnésio e da testemunha. Apenas em painéis manufaturados com partículas que não foram

submetidas a nenhum tipo de preparo que o CaCl_2 não diferiu estatisticamente do MgCl_2 .

4.3.3 Inchamento em espessura

Os valores médios observados para o inchamento dos painéis em imersão em água por 2 e 24 horas, para todos os tratamentos avaliados, se encontram na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Valores médios observados de inchamento em espessura em 2 e 24 hs dos painéis.

Tratamento	Método	Proporção	Aditivo	Inch 2 hs (%)	Inch 24 hs (%)
1	Testemunha	1:2,5	Testemunha	2,26	3,43
2	Testemunha	1:2,5	CaCl_2	0,91	1,41
3	Testemunha	1:2,5	MgCl_2	1,98	2,86
4	Testemunha	1:3,0	Testemunha	2,22	3,06
5	Testemunha	1:3,0	CaCl_2	0,26	0,72
6	Testemunha	1:3,0	MgCl_2	1,50	2,19
7	Banho térmico	1:2,5	Testemunha	3,48	4,21
8	Banho térmico	1:2,5	CaCl_2	0,42	1,12
9	Banho térmico	1:2,5	MgCl_2	1,72	2,30
10	Banho térmico	1:3,0	Testemunha	1,83	2,76
11	Banho térmico	1:3,0	CaCl_2	0,49	1,22
12	Banho térmico	1:3,0	MgCl_2	1,18	2,08
13	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	1:2,5	Testemunha	2,65	3,85
14	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	1:2,5	CaCl_2	0,80	2,01
15	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	1:2,5	MgCl_2	2,35	3,33
16	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	1:3,0	Testemunha	2,21	3,21
17	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	1:3,0	CaCl_2	0,94	1,95
18	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	1:3,0	MgCl_2	1,40	2,36
19	NaOH	1:2,5	Testemunha	4,31	6,02
20	NaOH	1:2,5	CaCl_2	2,97	4,09
21	NaOH	1:2,5	MgCl_2	3,21	3,95
22	NaOH	1:3,0	Testemunha	4,75	5,63
23	NaOH	1:3,0	CaCl_2	1,84	2,99

Contin...

24	NaOH	1:3,0	MgCl ₂	3,15	4,27
----	------	-------	-------------------	------	------

Onde: método = método de preparo das partículas; proporção = proporção de madeira:cimento; inch = inchamento em espessura.

Fonte: Autora.

É possível verificar na Tabela 4.5, de uma forma geral, que os melhores desempenhos de inchamento em espessura, tanto para imersão em água por 2 quanto por 24 horas, foram aqueles que tiveram uma maior quantidade de cimento em sua composição (madeira:cimento 1:3,0), apresentando os menores inchamentos em espessura. O pior método de preparo das partículas, por sua vez, foi a imersão em solução de NaOH, gerando as maiores taxas de inchamento em espessura. Além disso, com exceção do tratamento 20, todos os outros apresentaram menores taxas de inchamento para painéis compostos com CaCl₂ como aditivo.

4.3.3.1 Inchamento em espessura (2hs): análise estatística

Para atingir a normalidade e a homocedasticidade dos dados de inchamento em 2 horas de imersão em água, os mesmos sofreram transformação de acordo com a Equação 4.6.

$$inch2t = ((inch2 + (3/8))^{0,5}) \quad (4.6)$$

Onde:

inch2t = inchamento em espessura em 2 horas transformado (%);

inch2 = inchamento em espessura em 2 horas (%).

Assim, foi possível garantir, com significância de 5%, através dos testes Shapiro-Wilk e Bartlett, que os resíduos possuem, respectivamente, distribuição normal e variância constante.

A análise de variância do inchamento em 2 horas de imersão em água dos painéis (Tabela 4.6) demonstra que a interação tripla dos fatores analisados foi

significativa ($p < 0,05$). Os desdobramentos das interações triplas da análise de variância para esta variável se encontram nos Anexos 4.10, 4.11 e 4.12.

Tabela 4.6 - Análise de variância do inchamento em espessura (2 hs) dos painéis.

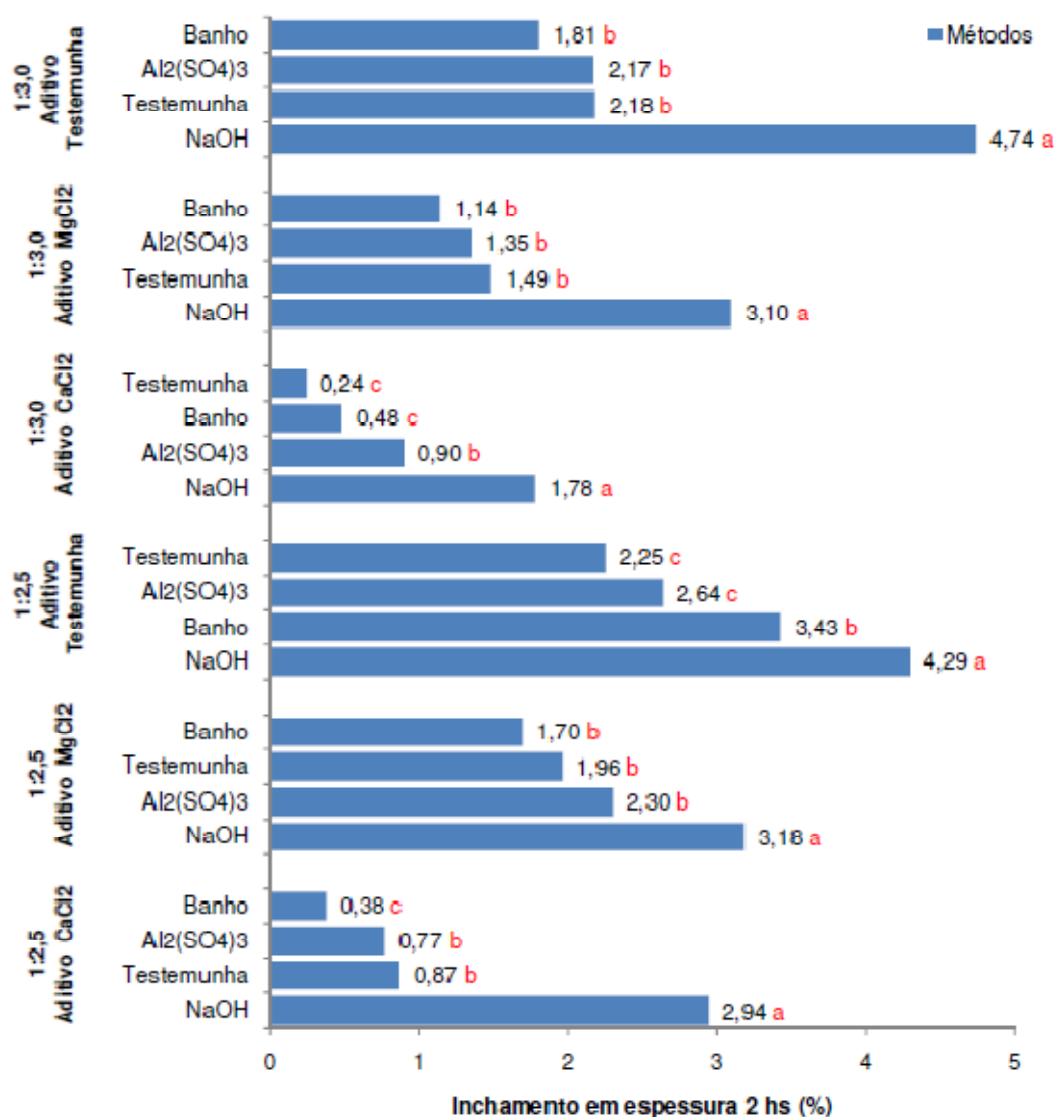
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Método	3	14,21647	4,73882	141,5811	0
Proporção	1	1,37483	1,37483	41,0757	0
Aditivo	2	17,21746	8,60873	257,2018	0
Método*Proporção	3	0,11158	0,03719	1,1112	0,3454
Método*Aditivo	6	0,76038	0,12673	3,7863	0,0013
Proporção*Aditivo	2	0,02398	0,01199	0,3582	0,6993
Método*Proporção*Aditivo	6	1,83384	0,30564	9,1316	0
Resíduo	216	7,22968	0,03347		
Total	239	42,76822	0,17895		

Onde: método = método de preparo das partículas; proporção = proporção madeira:cimento; aditivo: tipo de aditivo.

Fonte: Autora.

Na Figura 4.10 são apresentados os dados relativos ao teste de médias do inchamento em espessura (2 horas) do desdobramento dos métodos de preparo das partículas em relação às proporções de madeira:cimento e aos aditivos.

Figura 4.10 - Teste de Scott-Knott para inchamento em espessura em 2 hs: desdobramento dos métodos de preparo das partículas em relação às proporções de madeira:cimento e aos aditivos.



Onde: médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, à 5% de significância; 1:2,5 e 1:3,0 = proporções de madeira:cimento.

Fonte: Autora.

Observa-se que em todas as interações o método de preparo de partículas com pior desempenho e, portanto, com maiores taxas de inchamento em espessura em 2 horas de imersão, foi o preparo com imersão em NaOH. Este método apresentou os maiores inchamentos em espessura para todas as combinações de taxas madeira:cimento e aditivos, diferindo em relação às médias dos demais. Para os outros preparos de partículas ocorreu uma grande variação em relação ao melhor método de acordo com a proporção de madeira:cimento e os aditivos. Em alguns

casos, como na proporção madeira:cimento de 1:3,0, sem aditivo ou com $MgCl_2$, e na proporção 1:2,5 com aditivo $MgCl_2$, não houveram diferenças significativas entre todos os demais tipos de preparo.

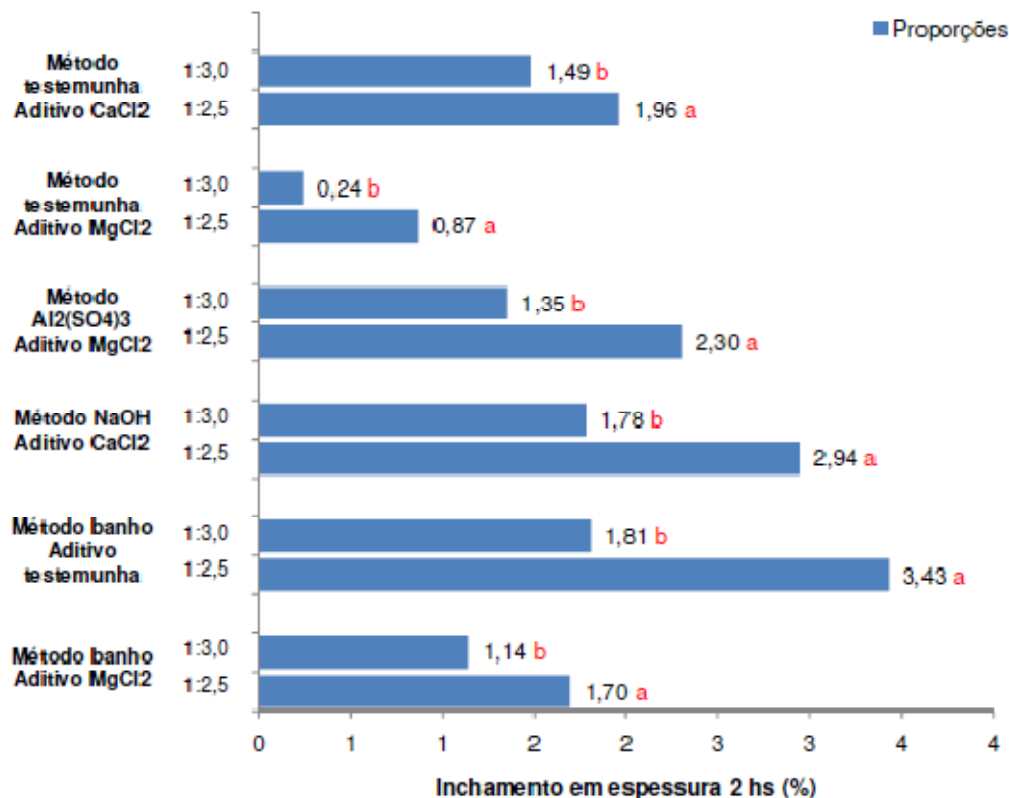
Comportamento similar dos painéis com partículas tratadas com NaOH foi encontrado por Iwakiri et al. (2017a), ao estudarem painéis cimento-madeira com partículas de seringueira e avaliando quatro métodos de preparo dessas partículas. Os pesquisadores encontraram as maiores taxas de inchamento em espessura nos painéis cujas partículas foram tratadas com NaOH (de 1,21 a 3,69 % em 2 horas e de 1,53 a 3,9 % em 24 horas), superando as taxas encontradas para painéis com partículas tratadas com imersão em água fria, imersão em água quente e testemunha.

Ferraz (2011), avaliando a compatibilidade entre fibras de coco verde e cimento na produção de compósitos cimento:biomassa vegetal, também encontrou a pior performance de inchamento em espessura para fibras tratadas com imersão em NaOH (de 1,78 a 3,18% de inchamento em espessura em 2 horas), superando as fibras tratadas com imersão em água quente (de 0,75 a 1,39% de inchamento em espessura em 2 horas). Dessa forma a autora não recomenda o preparo das fibras de coco para utilização em combinação com cimento com imersão em hidróxido de sódio.

No que se refere ao teste de médias para o desdobramento das proporções de madeira:cimento em relação aos métodos de tratamento das partículas e aos aditivos, de acordo com o teste F, as seguintes interações triplas apresentaram médias estatisticamente iguais entre si: proporções de madeira:cimento combinadas ao método de preparo de partículas banho e ao aditivo $CaCl_2$; proporções de madeira:cimento combinadas ao método de preparo de partículas imersão em NaOH e aos aditivos $MgCl_2$ e testemunha; proporções de madeira:cimento combinadas ao método de preparo de partículas imersão em $Al_2(SO_3)_4$ e aos aditivos $CaCl_2$ e testemunha; proporções de madeira:cimento combinadas ao método de preparo das partículas testemunha e ao aditivo testemunha.

Dessa forma, para estas combinações, não houve diferenças relevantes quando do uso de qualquer uma das duas proporções madeira:cimento (1:2,5 e 1:3,0) aplicadas neste estudo. Os resultados dos testes de médias do inchamento em espessura (2 horas) para as demais combinações se encontram na Figura 4.11.

Figura 4.11 - Teste de Scott-Knott para inchamento em espessura em 2 hs: desdobramento das proporções de madeira:cimento em relação aos métodos de preparo das partículas e aos aditivos.



Onde: médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, à 5% de significância; 1:2,5 e 1:3,0 = proporções de madeira:cimento.

Fonte: Autora.

Para todas as interações em que houveram diferenças estatísticas entre as médias das proporções de madeira:cimento 1:2,5 e 1:3,0, a proporção com maior quantidade de cimento em sua composição (1:3,0) gerou os melhores resultados de inchamento em espessura em 2 horas de imersão em água.

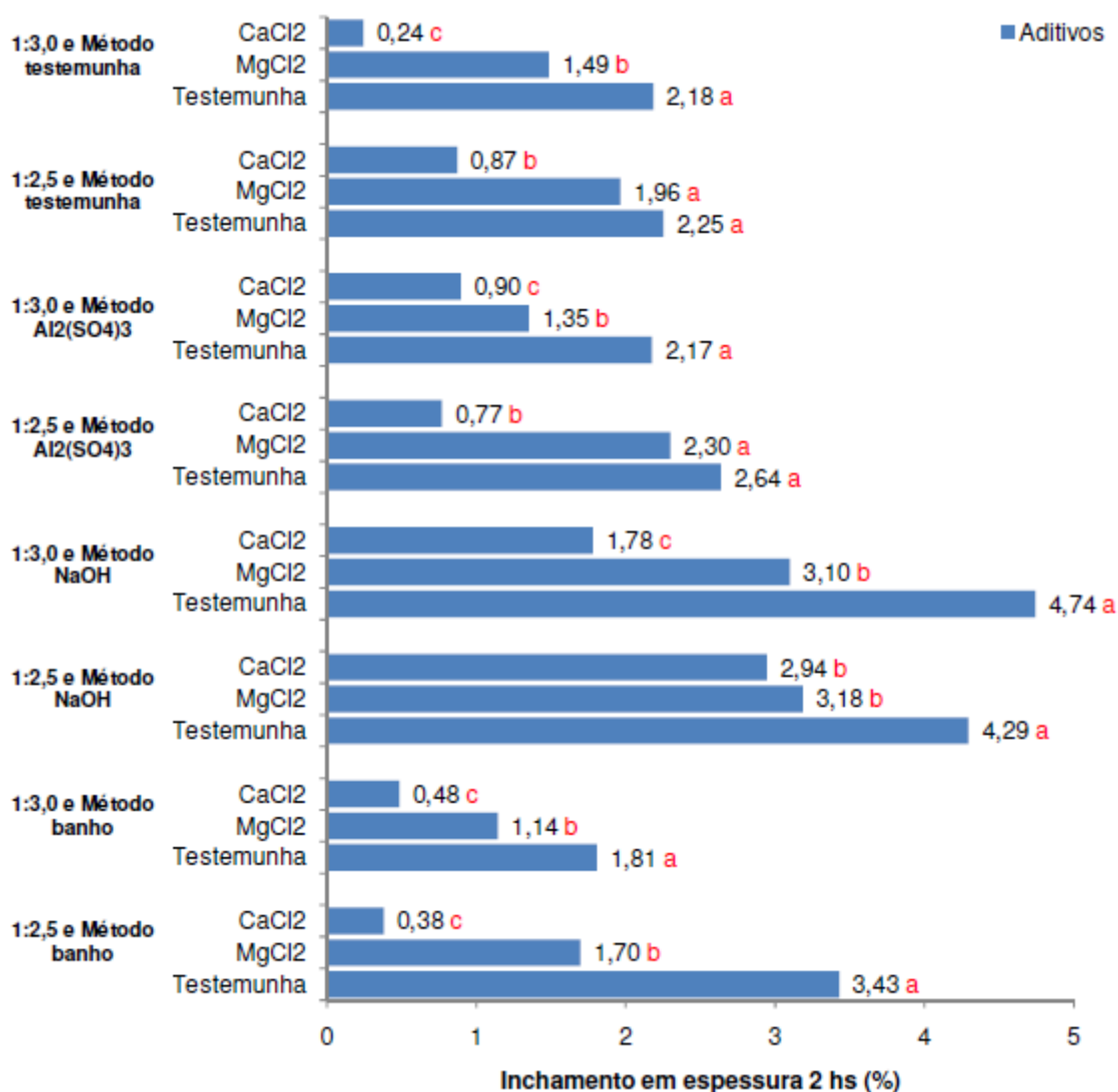
Resultado semelhante foi observado por Iwakiri et al. (2017b) ao estudarem o potencial de uso de quatro espécies de pinus tropicais na produção de painéis cimento-madeira. Avaliando as mesmas proporções de madeira:cimento utilizadas no presente estudo, os autores encontraram menores taxas de inchamento em espessura em duas horas, para os painéis com taxa de madeira:cimento de 1:3,0 (0,29 a 0,54%), se comparados aqueles com taxa de 1:2,5 (de 0,44 a 66%).

Latorraca e Iwakiri (2000), em seu estudo avaliando, entre outros fatores, a variação da relação madeira:cimento em compósitos do tipo cimento-madeira,

observaram média inferior (3,32%) de inchamento em espessura (2 hs) para a relação que continha mais cimento na formulação (1:3,0). Enquanto que para a relação de madeira:cimento de 1:2,5, a média de inchamento em espessura (4,92%) verificada pelos autores identificou uma pior performance dos painéis.

Os dados do teste de médias do inchamento em espessura (2 horas) para a interação entre os aditivos em relação aos métodos de preparo das partículas e às proporções de madeira:cimento, encontram-se na Figura 4.12.

Figura 4.12 - Teste de Scott-Knott para inchamento em espessura em 2 hs: desdobramento dos aditivos em relação aos métodos de preparo das partículas e às proporções de madeira:cimento.



Onde: médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, à 5% de significância; 1:2,5 e 1:3,0 = proporções de madeira:cimento.

Fonte: Autora.

É possível perceber que, para todas as interações, o aditivo CaCl_2 apresentou uma melhor performance no inchamento em espessura em 2 horas, com as menores médias registradas. Apenas na interação com a proporção 1:2,5 de madeira:cimento e o método de preparo das partículas de imersão em solução de NaOH , que o cloreto de cálcio não diferiu estatisticamente do cloreto de magnésio. Para todas as interações também, as formulações sem aditivo geraram painéis com maiores médias de inchamento em espessura em imersão de 2 horas em água e, portanto, pior desempenho.

Da mesma maneira Latorraca e Iwakiri (2000), estudando o desempenho de partículas de *Eucalyptus dunnii* na fabricação de painéis cimento-madeira, avaliaram o cloreto de magnésio e o cloreto de cálcio como aditivos. Os pesquisadores verificaram que a menor taxa de inchamento em espessura (2 hs) ocorreu nos painéis manufaturados com CaCl_2 (3,94%), enquanto que o MgCl_2 gerou um inchamento médio de 4,30% nos painéis.

Castro et al. (2015), estudando *Eucalyptus saligna* na composição de painéis cimento-madeira, também encontraram médias de inchamento em espessura menores (de 0,26 a 1,08% em 2 horas de imersão) para os tratamentos que possuíam cloreto de cálcio em sua composição. Já para os painéis tratados com cloreto de magnésio, as médias de inchamento em 2 horas (de 0,39 a 1,56%) foram intermediárias se comparadas ao aditivo anteriormente citado e aos tratamentos que não possuíam aditivo (de 0,54 a 2,83%).

4.3.3.2 Inchamento em espessura (24 hs): análise estatística

Com a finalidade de assegurar a normalidade e a homocedasticidade dos dados de inchamento em espessura em 24 horas de imersão em água, houve a necessidade de transformação dos dados de acordo com a Equação 4.7.

$$\text{inch}24t = \sqrt{\text{Inch}24} \quad (4.7)$$

Onde:

$\text{inch}24t$ = inchamento em espessura em 24 horas transformado (%);

$\text{inch}24$ = inchamento em espessura em 24 horas (%).

Assim, foi possível garantir, com significância de 5%, através dos testes Shapiro-Wilk e Bartlett, que os resíduos possuem, respectivamente, distribuição normal e variância constante.

Na análise de variância do inchamento em 24 horas de imersão em água dos painéis (Tabela 4.7) a interação tripla dos fatores analisados foi significativa ($p < 0,05$). Os desdobramentos das interações triplas da análise de variância para esta variável se encontram nos Anexos 4.13, 4.14 e 4.15.

Tabela 4.7 - Análise de variância do inchamento em espessura (24 hs) dos painéis.

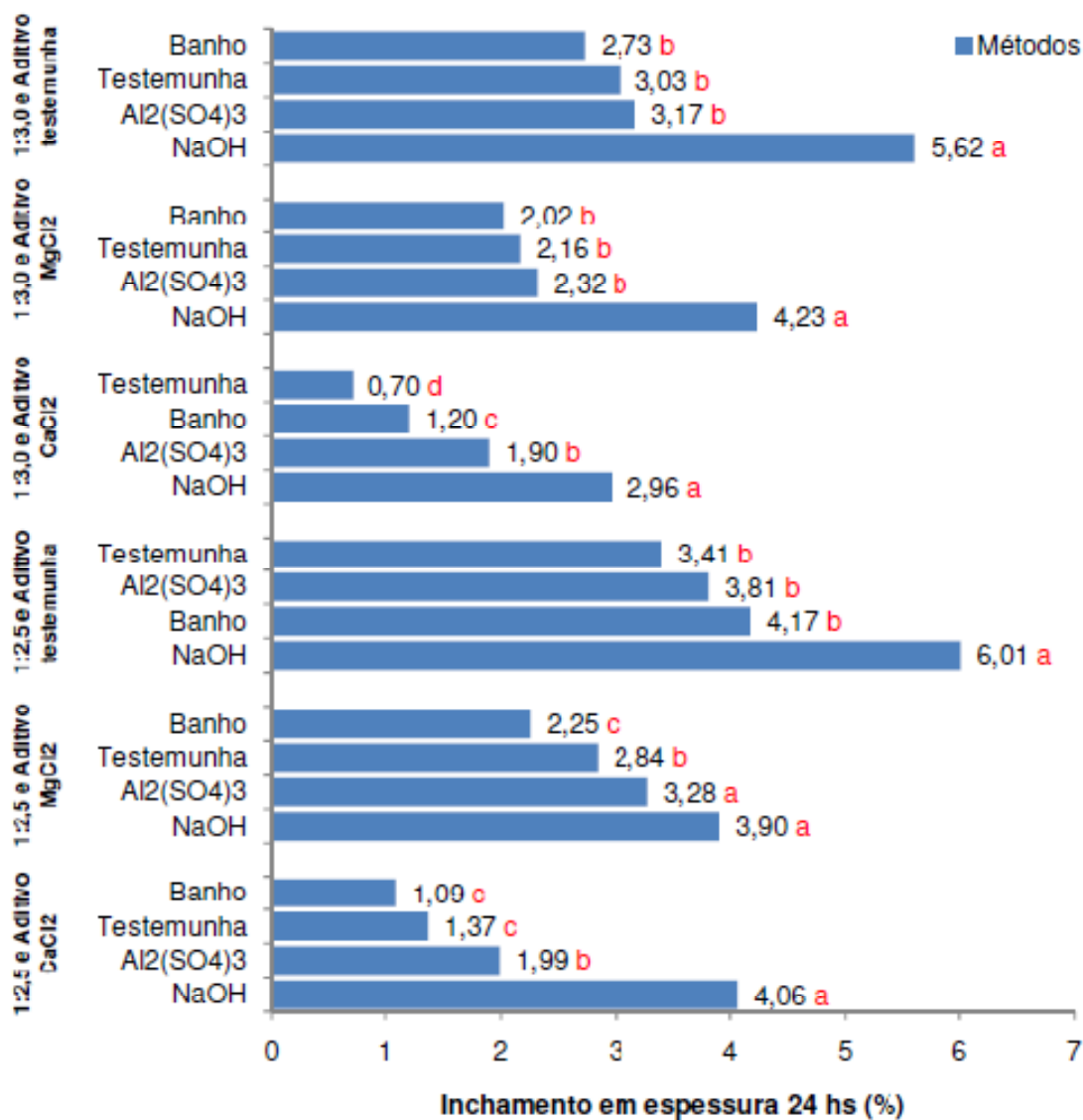
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Método	3	16,38983	5,46328	153,5678	0
Proporção	1	1,43763	1,43763	40,4105	0
Aditivo	2	16,68216	8,34108	234,4602	0
Método*Proporção	3	0,10862	0,03621	1,0177	0,3857
Método*Aditivo	6	1,40106	0,23351	6,5638	0
Proporção*Aditivo	2	0,03880	0,01940	0,5453	0,5804
Método*Proporção*Aditivo	6	1,13011	0,18835	5,2944	0
Resíduo	216	7,68434	0,03558		
Total	239	44,87255	0,18775		

Onde: método = método de preparo das partículas; proporção = proporção madeira:cimento; aditivo: tipo de aditivo; aditivo = tipo de aditivo.

Fonte: Autora.

Os resultados para os testes de médias do inchamento em espessura (24 hs) da interação dos métodos de preparo das partículas em relação às proporções de madeira:cimento e aos aditivos se encontram na Figura 4.13.

Figura 4.13 - Teste de Scott-Knott para inchamento em espessura em 24 hs: desdobramento dos métodos de preparo das partículas em relação às proporções de madeira:cimento e aos aditivos.



Onde: médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, à 5% de significância; 1:2,5 e 1:3,0 = proporções de madeira:cimento.

Fonte: Autora.

Para esta interação, pode-se perceber um comportamento, muito similar ao observado no teste de médias do inchamento em espessura em 2 horas de imersão (Figura 4.10). Dessa forma, novamente, o tipo de preparo das partículas menos eficiente foi a imersão em NaOH.

Para esta interação, de acordo com as proporções de madeira:cimento e os aditivos combinados, também houve uma grande variação no que se refere ao

melhor preparo de partículas. Contudo, para a proporção de 1:3,0 de madeira:cimento, combinada à ausência de aditivo e ao uso de $MgCl_2$, e para a proporção de 1:2,5 de madeira:cimento combinada à ausência de aditivo, não houveram diferenças estatísticas entre todos os tipos de preparos de partículas que geraram resultados mais positivos do que a imersão em NaOH.

Latorraca e Iwakiri (2000), também encontraram resultados negativos para o inchamento em espessura 24 (hs) no tratamento de partículas com NaOH, em seu estudo avaliando chapas de cimento-madeira de *Eucalyptus dunnii*. Os autores encontraram desempenho inferior de painéis com essas partículas (7,18% de inchamento 24 horas), se comparadas às tratadas com imersão em água quente (4,49 % de inchamento 24 horas), ou mesmo as que não receberão nenhum tipo de preparo (4,12% de inchamento em espessura).

Do mesmo modo, Iwakiri et al. (2017a), estudando o potencial de *Hevea brasiliensis* na composição de painéis cimento-madeira, identificaram as maiores taxas de inchamento em espessura 24 horas nos painéis cujas partículas foram tratadas com NaOH (de 1,53 a 3,9 %). Os autores concluíram que este tratamento teve performance pior do que outros dois estudados (imersão em água fria e imersão em água quente), incluindo as partículas de seringueira in natura.

Iwakiri et al. (2012) encontraram igualmente, em seu estudo sobre a viabilidade de produção de painéis cimento-madeira com partículas de paricá (*Schizolobium amazonicum*) e embaúba (*Cecropia hololeuca*), piores desempenhos de inchamento em espessura (24 horas) para os tratamentos cujo preparo de partículas havia sido feito com imersão em solução de NaOH (1,95% de inchamento dos painéis com paricá e 0,92% de inchamento dos painéis com embaúba). As taxas observadas para este tipo de preparo das partículas suplantaram aquelas verificadas em painéis cujas partículas haviam sido tratadas com imersão em água fria (1,54% para paricá e 0,39% para embaúba), imersão em água quente (1,41 % para paricá e 0,80% para embaúba) e aquelas que não sofreram nenhum tipo de preparo (1,35% para paricá e 0,81% para embaúba).

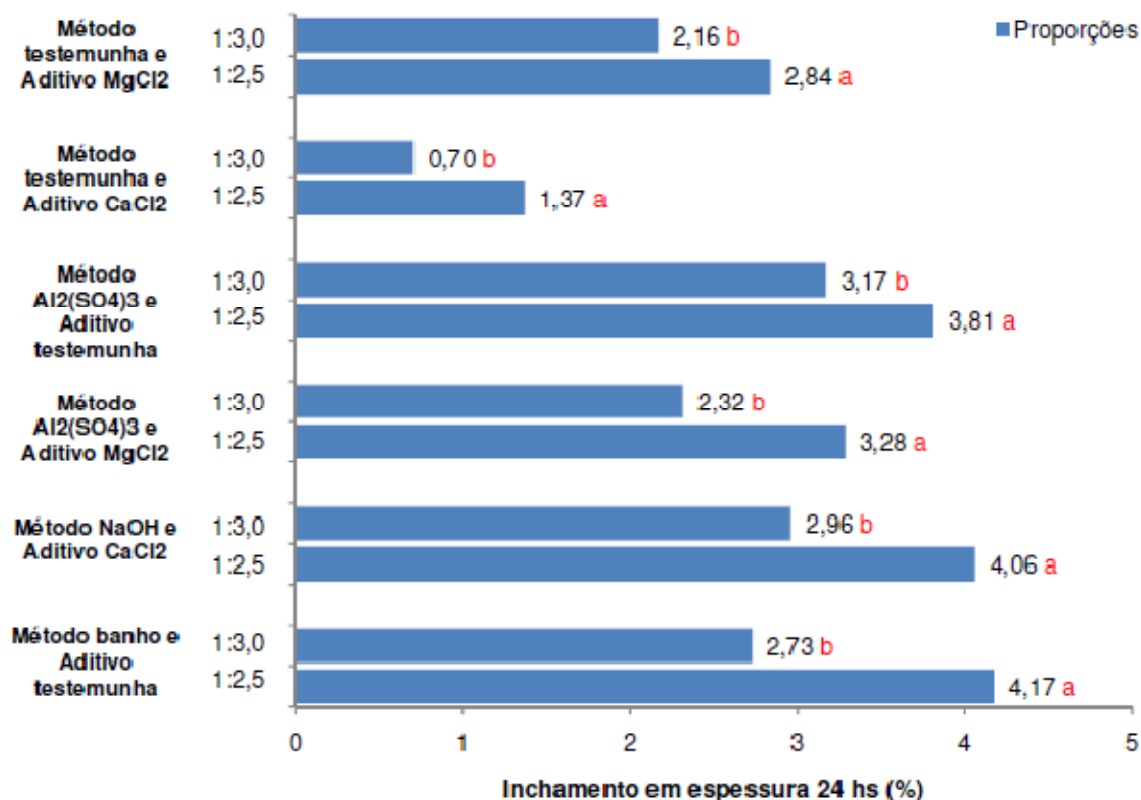
No que diz respeito ao teste de médias para o desdobramento das proporções de madeira:cimento em relação aos métodos de preparo das partículas e aos aditivos utilizados, de acordo com o teste F, as seguintes interações triplas apresentaram médias estatisticamente iguais entre si: proporções de madeira:cimento combinadas ao método de preparo de partículas banho e aos

aditivos CaCl_2 e MgCl_2 ; proporções de madeira:cimento combinadas ao método de preparo de partículas imersão em NaOH e aos aditivos MgCl_2 e testemunha; proporções de madeira:cimento combinadas ao método de preparo de partículas imersão em $\text{Al}_2(\text{SO}_3)_4$ e ao aditivo CaCl_2 ; proporções de madeira:cimento combinadas ao método de preparo das partículas testemunha e ao aditivo testemunha.

Sendo assim, para estas combinações, não houve diferenças relevantes quanto do uso das duas proporções madeira:cimento (1:2,5 e 1:3,0) aplicadas neste estudo.

A Figura 4.14 apresenta os resultados dos testes de médias do inchamento em espessura (24 hs) na interação da proporção de madeira:cimento em relação aos métodos de preparo das partículas e aos aditivos.

Figura 4.14 - Teste de Scott-Knott para inchamento em espessura em 24 hs: desdobramento das proporções de madeira:cimento em relação aos métodos de preparo das partículas e aos aditivos.



Onde: médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, à 5% de significância; 1:2,5 e 1:3,0 = proporções de madeira:cimento.

Fonte: Autora.

Da mesma forma que no inchamento em espessura em 2 horas de imersão (Figura 4.11), para todas as combinações que apresentaram diferenças estatísticas entre suas médias, o inchamento em espessura em 24 de imersão (Figura 4.14) foi menor nos painéis manufacturados com uma maior quantidade de cimento em seu traço (1:3,0). Dessa forma, as maiores taxas de inchamento (24 hs) foram observadas em todas as combinações de preparo de partículas e aditivos que tinham 1:2,5 de proporção madeira:cimento em sua formulação.

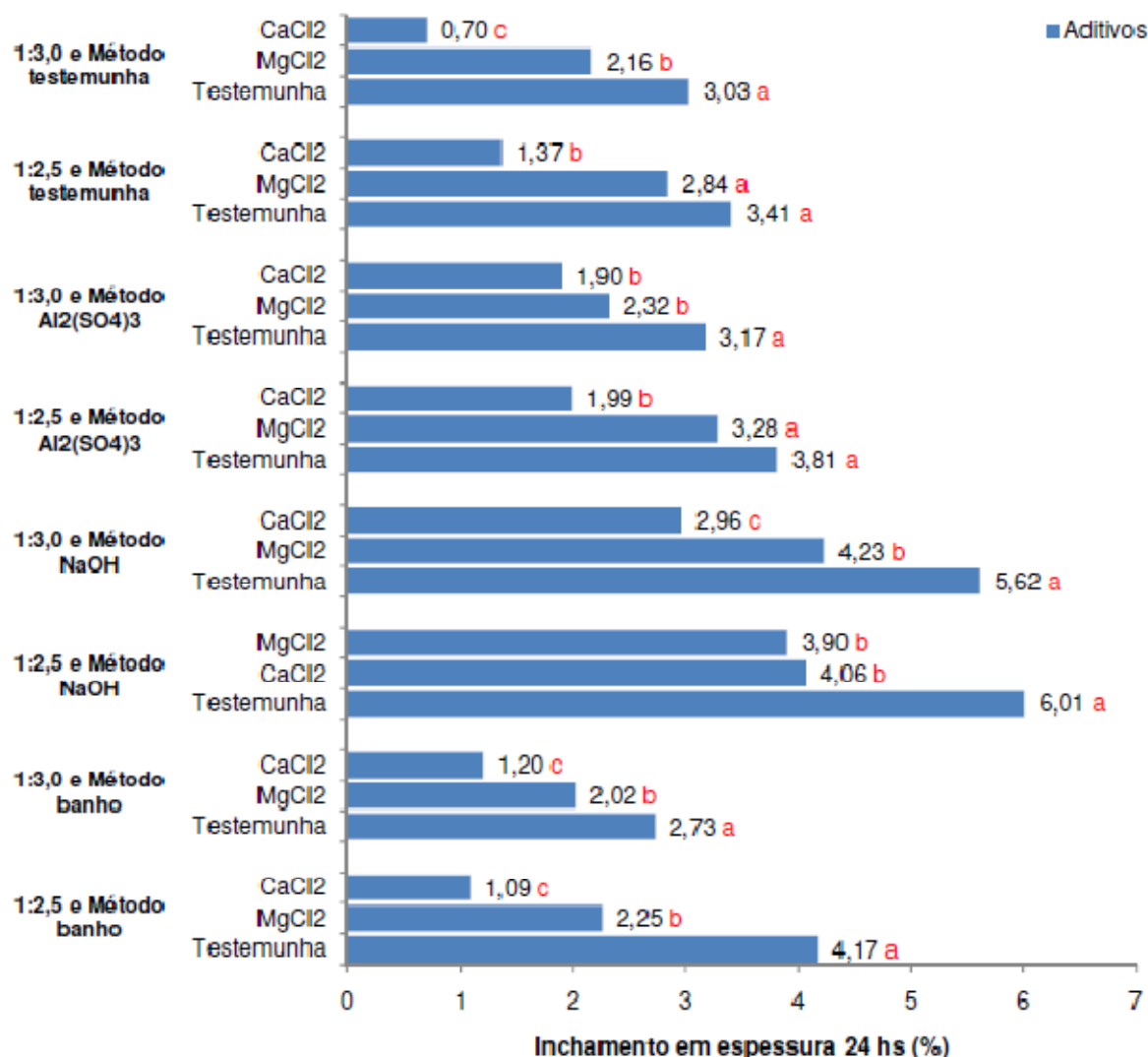
Garcez et al. (2017) verificaram o mesmo comportamento de inchamento em espessura em painéis cimento-madeira de serragem de *Eucalyptus grandis*. Os investigadores encontraram valores médios de inchamento (24 horas) de 0,96% para painéis com proporção de madeira:cimento de 1:0,67 e 1,27% para painéis com proporção de 1:0,43.

Latorraca e Iwakiri (2000), estudando o uso de partículas de *Eucalyptus dunnii* em painéis cimento-madeira, também constataram menores inchamentos em espessura (24 hs) em painéis com relação madeira:cimento de 1:3,0 (4,49%), se comparados aos produzidos com relação de 1:2,5 (6,04%). Contudo, inclusive os melhores valores, obtidos no estudo destes autores, são superiores aos do presente estudo, o que indica maiores taxas de inchamento em espessura em 24 horas.

Gosh et al. (2015) em seu estudo avaliando o uso de fibras de palmeira (Areca catechu) na fabricação de painéis cimento:biomassa vegetal, verificaram que os menores índices de inchamento em espessura se deram na proporção de biomassa vegetal:cimento de 1:3,0 (de 2,13 a 2,6% em 24 horas). Já para a proporção com menor quantidade de cimento (1:2,3), os pesquisadores encontraram taxas de inchamento de 2,56 a 2,92% em 24 horas de imersão.

A Figura 4.15 apresenta os testes de médias do inchamento em espessura após 24 horas de imersão para a interação entre os aditivos em relação às proporções de madeira:cimento e aos métodos de preparo das partículas.

Figura 4.15 - Teste de Scott-Knott para inchamento em espessura em 24 hs: desdobramento dos aditivos em relação às proporções de madeira:cimento e aos métodos de preparo das partículas.



Onde: médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, à 5% de significância; 1:2,5 e 1:3,0 = proporções de madeira:cimento.

Fonte: Autora.

Nesta interação observa-se que os painéis sem aditivos geraram médias de inchamento em espessura (24 horas) superiores aos painéis que possuíam aditivo em sua formulação. Apenas nas combinações entre a proporção de madeira:cimento de 1:2,5 e partículas não tratadas e tratadas com imersão em solução de sulfato de alumínio, que os painéis sem aditivos não diferiram estatisticamente daqueles com MgCl₂ em sua composição.

Ademais, para praticamente todas as interações o melhor aditivo foi a CaCl_2 . Apenas para proporção de 1:2,5 de madeira:cimento combinada a partículas tratadas com imersão em NaOH, que o MgCl_2 registrou melhor média, não diferindo, contudo, do cloreto de cálcio.

Comportamento muito similar ao do presente estudo, foi encontrado por Castro et al. (2015), que avaliando a fabricação de painéis cimento-madeira de *Eucalyptus saligna*, por prensagem e por vibrocompactação, observaram menores taxas de inchamento em espessura, em 24 horas de imersão, para os painéis produzidos com CaCl_2 como aditivo (1,47% para painéis produzidos por prensagem e 0,40% para painéis produzidos por vibrocompactação). Os autores ainda verificaram taxas intermediárias de inchamento para os painéis com MgCl_2 aditivo (1,90% - prensagem e 0,55% - vibrocompactação) e os piores índices para os painéis sem aditivo na composição (3,76% - prensagem e 0,65% - vibrocompactação).

Iwakiri et al. (2017a), por sua vez, verificaram que painéis produzidos com partículas de *Hevea brasiliensis*, obtiveram melhores resultados de inchamento em espessura em 24 horas de imersão, quando foram produzidos com CaCl_2 como aditivo. Nesta situação os compósitos atingiram de 1,12 a 1,53% de inchamento, enquanto que os tratamentos que possuíam silicato de sódio como aditivo, atingiram de 1,61 a 3,90% de inchamento em espessura.

4.3.4 Resistência ao fogo

Não há dados na literatura da resistência ao fogo de painéis manufaturados à base de cimento-madeira. Embora vários autores afirmem que painéis deste tipo apresentam grande resistência ao fogo (NA, et al. 2014; HUANG; FADAI et al., 2012; MA, 2010;), e que são até mesmo incombustíveis (MATOSKI, 2005; MOSLEMI, 1989), nenhum desses autores demonstra dados neste sentido. Dessa forma, optou-se por avaliar a resistência à combustão dos painéis manufaturados neste trabalho.

No ensaio de resistência ao fogo, de acordo com a metodologia de Tondi et al. (2012), são avaliados os tempos de ignição, de chama (após cessar a fonte de calor) e de brasa (após a chama se extinguir).

No desenvolvimento deste ensaio, contudo, não foi verificada chama após o desligamento do bico de Bunsen, assim como não foi verificada a existência de brasa em nenhum dos corpos de prova.

Foi observada apenas a ignição da superfície das amostras testadas e, sendo assim, apenas o tempo de ignição foi registrado. Na Tabela 4.8, constam os valores médios, por tratamento, dos tempos de ignição verificados.

Tabela 4.8 - Valores médios observados de resistência ao fogo dos painéis.

Tratamento	Método	Proporção	Aditivo	Ignição (s)
1	Testemunha	1:2,5	Testemunha	13,40
2	Testemunha	1:2,5	CaCl ₂	22,20
3	Testemunha	1:2,5	MgCl ₂	16,20
4	Testemunha	1:3,0	Testemunha	14,90
5	Testemunha	1:3,0	CaCl ₂	30,20
6	Testemunha	1:3,0	MgCl ₂	23,50
7	Banho térmico	1:2,5	Testemunha	24,90
8	Banho térmico	1:2,5	CaCl ₂	25,70
9	Banho térmico	1:2,5	MgCl ₂	25,50
10	Banho térmico	1:3,0	Testemunha	28,00
11	Banho térmico	1:3,0	CaCl ₂	31,80
12	Banho térmico	1:3,0	MgCl ₂	29,10
13	Al ₂ (SO ₄) ₃	1:2,5	Testemunha	12,70
14	Al ₂ (SO ₄) ₃	1:2,5	CaCl ₂	20,50
15	Al ₂ (SO ₄) ₃	1:2,5	MgCl ₂	20,50
16	Al ₂ (SO ₄) ₃	1:3,0	Testemunha	12,50
17	Al ₂ (SO ₄) ₃	1:3,0	CaCl ₂	12,10
18	Al ₂ (SO ₄) ₃	1:3,0	MgCl ₂	13,00
19	NaOH	1:2,5	Testemunha	8,40
20	NaOH	1:2,5	CaCl ₂	8,70
21	NaOH	1:2,5	MgCl ₂	9,80
22	NaOH	1:3,0	Testemunha	10,30
23	NaOH	1:3,0	CaCl ₂	11,00
24	NaOH	1:3,0	MgCl ₂	11,10

Onde: método = método de preparo das partículas; proporção = proporção de madeira:cimento; fogo = resistência ao fogo.

Fonte: Autora.

Neste ensaio, quanto maior o tempo registrado para o início da ignição do corpo de prova, maior a resistência do mesmo ao processo de combustão. Sendo, assim, verificamos na Tabela 4.8 que, de uma forma geral, os painéis com partículas preparadas com imersão em solução de NaOH apresentaram menores tempos para ignição, mostrando-se assim, mais suscetíveis ao fogo.

Por outro lado, para quase todos os tratamentos (com exceção daqueles cujo preparo de partículas foi feito com imersão em sulfato de alumínio), uma maior quantidade de cimento na composição dos painéis (proporção madeira:cimento de 1:3,0) gerou uma maior demora na ignescência das amostras. Isso ocorre porque com uma maior proporção de cimento nas formulações, em geral as partículas de madeira se encontram mais protegidas da chama.

Para a quase totalidade dos tratamentos avaliados, o aditivo CaCl_2 gerou uma maior resistência dos painéis à chama. Os menores tempos de ignição, obtidos neste ensaio, foram obtidos pelos painéis que não tiveram uso de aditivo em sua composição

Os tempos médios de ignição encontrados para todos os tratamentos variaram de 8,40 a 31,80 segundos. Papadopoulos, Tountziarakis e Poughioulas (2010) avaliando a modificação química de partículas e tiras para a fabricação de aglomerados convencionais e OSB's (painéis de tiras de madeira orientadas), encontraram tempos de ignição de 103 a 228 s para OSB's e de 93 a 245 s para aglomerados convencionais.

4.3.4.1 - Resistência ao fogo: análise estatística

Com o objetivo de assegurar os pressupostos de normalidade e homocedasticidade dos resíduos dos dados de resistência ao fogo, foi necessária a transformação dos dados de acordo com a Equação 4.8.

$$fogat = LN(fogo) \quad (4.8)$$

Onde:

fogat = resistência ao fogo transformada (%);

LN = logaritmo natural;

fogo = resistência ao fogo (%).

Deste modo, foi possível garantir, com significância de 5%, por meio dos testes Shapiro-Wilk e Bartlett, que os resíduos possuem, respectivamente, distribuição normal e variância constante.

Na análise de variância da resistência ao fogo dos painéis (Tabela 4.9) a interação tripla dos fatores analisados foi significativa ($p < 0,05$). Os desdobramentos das interações triplas da análise de variância para esta variável se encontram nos Anexos 4.16, 4.17 e 4.18.

Tabela 4.9 - Análise de variância da resistência ao fogo dos painéis.

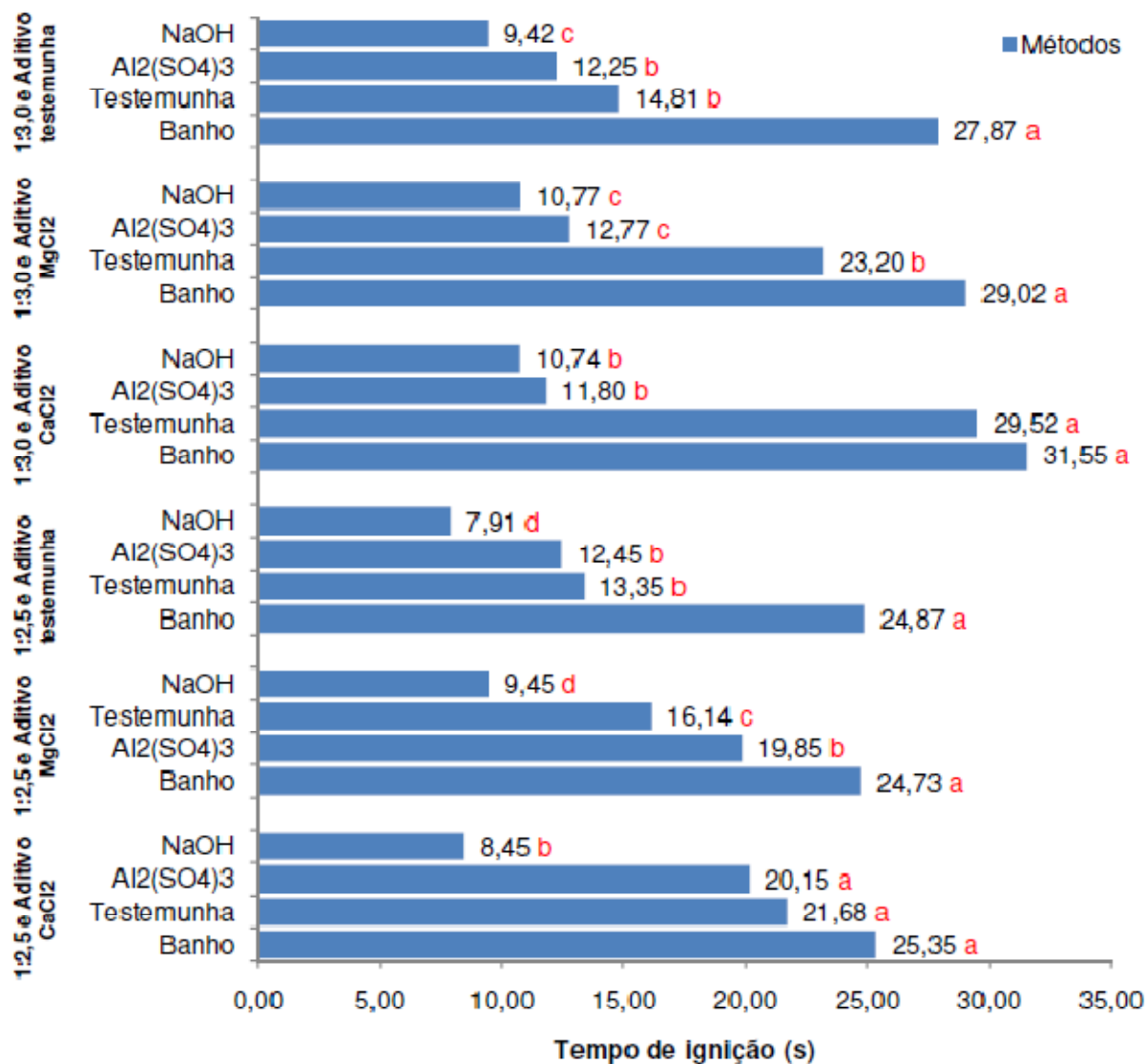
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Método	3	36,04093	12,01364	245,7863	0
Proporção	1	0,28163	0,28163	5,7618	0,0172
Aditivo	2	2,61736	1,30868	26,7742	0
Método*Proporção	3	3,26154	1,08718	22,2425	0
Método*Aditivo	6	1,90993	0,31832	6,5125	0
Proporção*Aditivo	2	0,01981	0,00991	0,2027	0,8167
Método*Proporção*Aditivo	6	0,98886	0,16481	3,3718	0,0034
Resíduo	216	10,55774	0,04888		
Total	239	55,67779	0,23296		

Onde: método = método de preparo das partículas; proporção = proporção madeira:cimento; aditivo: tipo de aditivo.

Fonte: Autora.

Na Figura 4.16 podem ser observados os resultados dos testes de médias da resistência ao fogo para a interação dos métodos de preparo das partículas em relação às proporções de madeira:cimento e aos aditivos.

Figura 4.16 - Teste de Scott-Knott para resistência ao fogo: desdobramento dos métodos de preparo das partículas em relação às proporções de madeira:cimento e aos aditivos.



Onde: médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, à 5% de significância; 1:2,5 e 1:3,0 = proporções de madeira:cimento.

Fonte: Autora.

Verificou-se que o melhor método de preparo das partículas, para todas as combinações, foi o banho térmico, embora em alguns casos ele não difira estatisticamente da imersão em sulfato de alumínio e da testemunha. O pior preparo de partículas, com as menores médias de tempo de ignição, foi a imersão em solução de NaOH. E embora este método não tenha diferido estatisticamente da imersão em solução de sulfato de alumínio, para as combinações de proporção de

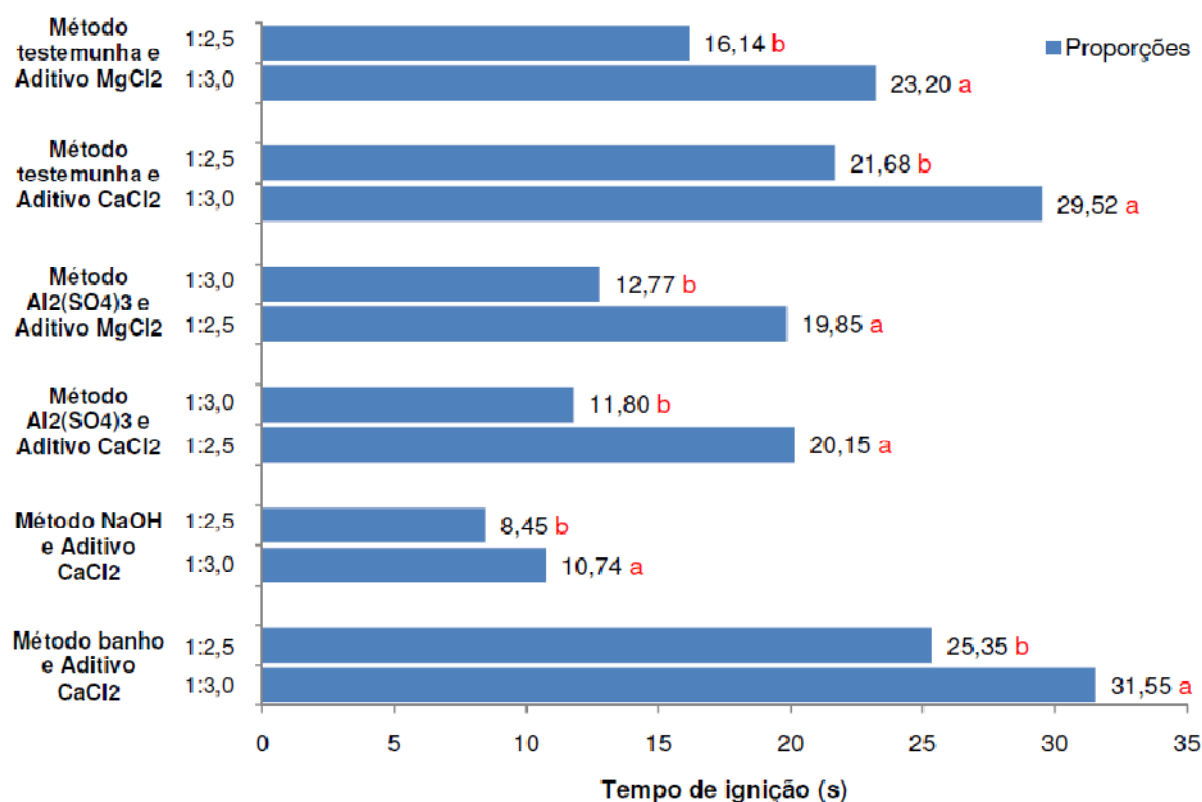
madeira:cimento de 1:3,0 e aditivos $MgCl_2$ e $CaCl_2$, para todas as outras combinações houve diferença estatística, indicando que este seria o pior método de preparo das partículas. Isso ocorreu em função do ganho em extrativos (Capítulo 2, Tabela 2.3) que este preparo gerou, afetando a cura do cimento e consequentemente a conformação do painel.

Iwakiri et al. (2017a) estudando o potencial de partículas de seringueira na composição de painéis cimento-madeira, concluíram que os melhores resultados, para todas as variáveis analisadas no estudo, foram obtidos com o preparo das partículas com banho térmico. Isso demonstra que para *Hevea brasiliensis*, este tipo de preparo de partículas resulta nos painéis com melhor processo de cura.

Para a interação das proporções de madeira:cimento em relação aos métodos de preparo das partículas e aos aditivos, de acordo com o teste F, as seguintes interações triplas apresentaram médias estatisticamente iguais entre si: proporções de madeira:cimento combinadas ao método de preparo de partículas banho e aos aditivo $MgCl_2$ e testemunha; proporções de madeira:cimento combinadas ao método de preparo de partículas imersão em $NaOH$ e aos aditivos $MgCl_2$ e testemunha; proporções de madeira:cimento combinadas ao método de preparo de partículas imersão em $Al_2(SO_3)_4$, e ao aditivo testemunha; proporções de madeira:cimento combinadas ao método de preparo das partículas testemunha e ao aditivo testemunha.

Dessa forma, para estas combinações, não houve diferenças relevantes quanto ao uso de qualquer uma das duas proporções madeira:cimento avaliadas neste estudo. Na Figura 4.7 se encontram os resultados dos testes de médias de resistência ao fogo, das interações que se mostraram estatisticamente diferentes entre si.

Figura 4.17 - Teste de Scott-Knott para resistência ao fogo: desdobramento da proporção de madeira:cimento em relação aos métodos de preparo das partículas e aos aditivos.



Onde: médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, à 5% de significância; 1:2,5 e 1:3,0 = proporções de madeira:cimento.

Fonte: Autora.

Observa-se que, com exceção das interações envolvendo o preparo de partículas com imersão em solução de sulfato de alumínio, as demais interações demonstraram maior resistência dos painéis ao fogo para formulações com uma maior taxa de cimento (1:3,0). Como dito anteriormente, maiores taxas de cimento promovem uma maior cobertura das partículas, protegendo-as do calor da chama.

Contudo, o resultado inverso para as interações com tratamento de partículas a base de solução de Al₂(SO₄)₃, se deu em função das condições de manufatura em laboratório, já que a distribuição manual da mistura para a formação dos painéis não garante a homogeneidade dos mesmos (HILLIG 2000; DACOSTA, 2004). Dessa forma, mesmo que os painéis tenham maior quantidade de cimento em sua composição, se exatamente na superfície dos corpos de prova testados houver maior quantidade de fibras expostas, sua resistência ao fogo será diminuída.

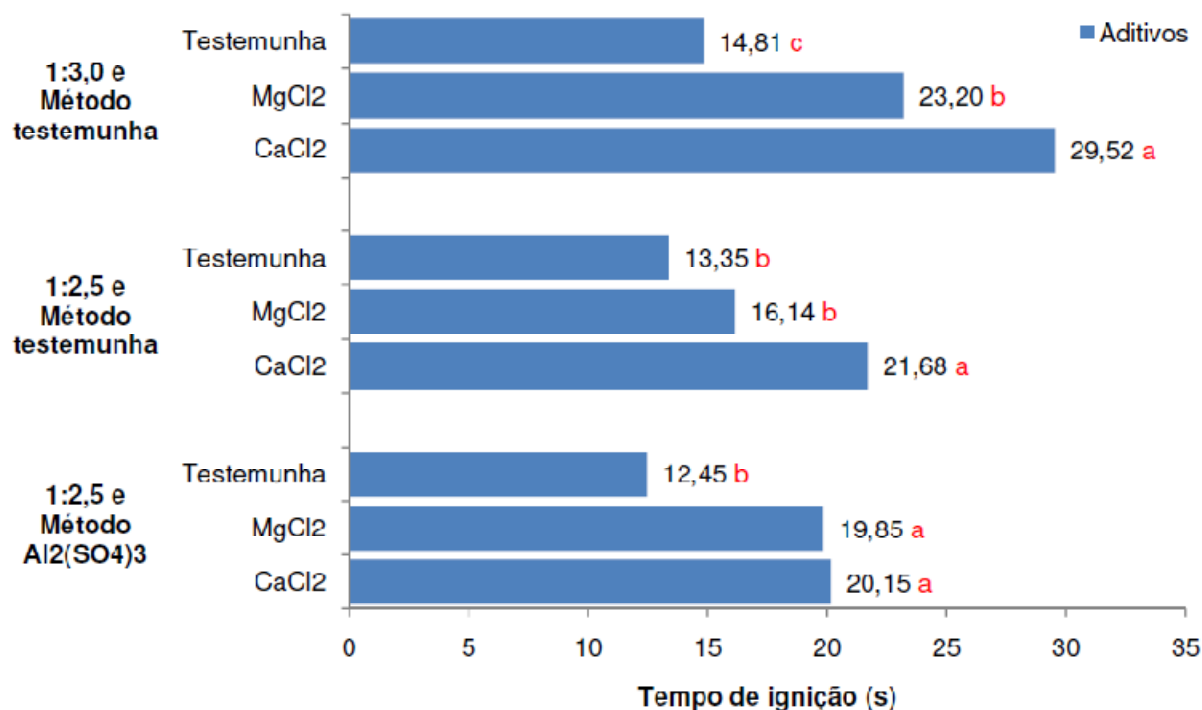
De acordo com Morales, Campos e Faganello (2011) as estruturas de concreto formadas com cimento Portland CPV, que são submetidas à temperaturas até 300°C apresentam uma perda de resistência mínima (5%) e irregular. Apenas acima desta temperatura que as características mecânicas do concreto começarão a ser comprometidas consideravelmente.

Bolina et al. (2015) em seu estudo sobre a resistência de paredes de concreto, fabricadas com cimento Portland CPV, à ação do fogo, verificaram que o concreto levou de 20 a 28 minutos em contato com a chama para apresentar as primeiras fissuras.

Para a interação dos aditivos em relação aos métodos de preparo das partículas e às proporções de madeira:cimento, de acordo com o teste F, as seguintes interações triplas apresentaram médias estatisticamente iguais entre si: aditivos combinados ao método de preparo de partículas banho e às duas proporções de madeira:cimento (1:2,5 e 1:3,0); aditivos combinados ao método de preparo de partículas imersão em NaOH e às duas proporções de madeira:cimento; aditivos combinados ao método de preparo de partículas imersão em $Al_2(SO_3)_4$, e à proporção madeira:cimento de 1:3,0.

Sendo assim, para estas combinações, não houve diferenças relevantes quanto ao uso de qualquer um dos aditivos utilizados neste estudo. Na Figura 4.18 são encontrados os dados relativos aos testes de médias de resistência ao fogo das interações que apresentaram médias estatisticamente diferentes entre si.

Figura 4.18 - Teste de Scott-Knott para resistência ao fogo: desdobramento do aditivo em relação aos métodos de preparo das partículas e às proporções madeira:cimento.



Onde: médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, à 5% de significância; 1:2,5 e 1:3,0 = proporções de madeira:cimento.

Fonte: Autora.

Verifica-se que para as interações em questão, o aditivo CaCl₂ gerou painéis mais resistentes ao fogo, não diferindo estatisticamente contudo, do MgCl₂ no caso da interação com a proporção de 1:2,5 de madeira:cimento e partículas tratadas com imersão em sulfato de alumínio.

Os menores tempos de ignição foram observados nos painéis manufactured sem adição de aditivo. No entanto, a falta de aditivo não gerou diferença estatística em relação ao uso de MgCl₂ para a interação com a proporção de 1:2,5 de madeira:cimento e partículas sem preparo prévio.

Matoski (2005) afirma que o uso de aditivos gera melhoras físicas nos painéis do tipo cimento-madeira. Esses compostos permitem que a incompatibilidade da madeira com o cimento seja contornada e que os painéis se formem de maneira mais adequada, com o melhor recobrimento das partículas de madeira e com a cura adequada do cimento.

4.4 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste estudo, é possível concluir que:

O tratamento das partículas de cinamomo com imersão em solução de NaOH gerou as maiores taxas para absorção de água em 2 e 24 horas de imersão, inchamento em espessura em 2 e 24 horas de imersão em água e resistência ao fogo;

O uso de CaCl_2 como aditivo resultou nos melhores valores de absorção de água em 2 e 24 horas de imersão, inchamento em espessura em 2 e 24 horas de imersão em água e resistência ao fogo, para quase todos os tratamentos;

A utilização de uma maior quantidade de cimento na composição dos painéis gerou os melhores resultados para absorção de água em 2 e 24 horas de imersão e inchamento em espessura em 2 e 24 horas de imersão em água;

No que se refere ao inchamento em espessura após 24 horas de imersão em água, os tratamentos 2, 5, 8 e 11 atendem aos requisitos estabelecidos pelo Processo Bison para painéis cimento-madeira comerciais, estando as médias desses tratamentos abaixo do máximo (1,8%) recomendado pelo Processo (BISON, 1978).

REFERÊNCIAS

- ASTM. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-1037**: Standard test methods for evaluating properties of wood-based fiber and particle panel materials. Philadelphia, 1999.
- BISON. **Wood-cement board**. New York: Springer, 1978. 10 p.
- BOLINA, F. L., Avaliação da resistência ao fogo de paredes maciças de concreto armado. **Amb. Constr.**, Porto Alegre, v. 15, n. 4, p. 291-305, 2015.
- CECHIN, L. **Análise da viabilidade de produção de painéis de cimento reforçados com biomassa vegetal e escória de alto-forno**. 2017. 159 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2017.
- CASTRO, V. G. et al. Painéis cimento-madeira de *Eucalyptus saligna* com diferentes aditivos químicos e métodos de formação. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 45, n. 2, p. 349 - 360, abr./jun. 2015.
- DACOSTA, L. P. E. **Utilização de resíduos do processamento mecânico da madeira para fabricação de chapas aglomeradas**. 2004. 188 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS.
- FADAI, A. et al. Wood based construction for multi-storey buildings: the potential of cement bonded wood composites as structural sandwich panels. In: WORLD CONFERENCE IN TIMBER ENGINEERING, 2012, Auckland, New Zealand. **Proceedings...** Auckland, New Zealand, 2012, p. 125-133.
- FERRAZ, J. M. **Produção e propriedades de painéis de fibra de coco verde (*Cocos nucifera* L.) em mistura com cimento Portland**. 2011. 89 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2011.
- GARCEZ, M. et al. Assessment of mix proportions for developing lightweight cementitious composites with wood wastes. **Árvore**, Viçosa, MG, v. 41, n. 1, 2017. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v41n1/1806-9088-rarv-41-01-e410103.pdf>>. Acesso em: 4 nov. 2017.
- GARCEZ, M. R. et al. Propriedades mecânicas de compósitos cimento-madeira com serragem tratada de *Pinus elliottii*. **Ci. da Mad.**, Pelotas, v. 7, n. 1, p. 16-27, 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/cien_ciadamadeira/article/view/5084/cienciamadeirav7n1a3>. Acesso em: 07 jun. 2017.
- GOSH, R. K. Introducing Areca catechu as a raw material of cement-bonded board through determining the properties of Areca catechu cement-bonded board. **J. Indian Acad. Wood Sci.**, v. 12, n. 2, p. 99-103, jun. 2015. Disponível em: < <https://link.springer.com/article/10.1007/s13196-015-0150-6>>. Acesso em: 03 jun. 2017.

GUIMARÃES, J. C. O. et al. Eficiência do tratamento de partículas de madeira de eucalipto híbrido de *E. grandis* X *E. camaldulensis* para a produção de painéis minerais. **Enc. Biosf.**, Goiânia, v. 11, n. 21, p. 949-955, 2015

HILLIG, E. **Qualidade de chapas aglomeradas estruturais, fabricadas com madeiras de Pinus, Eucalipto e Acácia negra, puras ou misturadas, coladas com tanino-formaldeído.** 2000. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS.

HUANG, H. Z.; MA, L. F. Effect of different wood powder on heat of hydration of magnesium oxychloride cement. **Wood Proces. Machin.**, Istambul, v. 21, n. 5, p. 20-22, 2010.

IWAKIRI, S. et al. Avaliação do potencial de utilização da madeira de *Schizolobium amazonicum* "Paricá" e *Cecropia hololeuca* "Embaúba" para a produção de painéis cimento-madeira. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 2, p. 303-308, abr./jun. 2012.

IWAKIRI, S. et al. Efeitos do tratamento de partículas e aceleradores de endurecimento na produção de painéis cimento-madeira de *Hevea brasiliensis*. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 47, n. 3, p. 289-296, jul./set., 2017a.

IWAKIRI, S. et al. Potencial de uso de espécies de pinus tropicais para a produção de painéis cimento-madeira. **Sci. For.**, Piracicaba, v. 45, n. 113, p. 151-159, mar. 2017b.

IWAKIRI, S. et al. Propriedades tecnológicas de painéis cimento-madeira produzidos com partículas de eucalipto. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.14, n.3, p.217-223, 2015.

LATORRACA, J. V. F. **Eucalyptus spp. na produção de painéis de cimento-madeira.** 2000. 182 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2000.

LATORRACA, J. V. F.; IWAKIRI, S. Efeitos do tratamento das partículas de *Eucalyptus dunnii* (Maiden), da variação da relação madeira-cimento e do uso de aditivos sobre as propriedades físicas e mecânicas de chapas de madeira-cimento. **Cerne**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 068-076, fev/mar. 2000.

LIMA, A.J.; IWAKIRI, S. Utilização de resíduos da madeira de Pinus spp. como substituição ao agregado miúdo na produção de blocos de concreto para alvenaria estrutural. **Ci. Fl.**, Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 223-235, jan./mar. 2014.

LIPINSKI, E. **Potencial technologies for effectivily bonding wood with inorganic binders.** In.: International Inorganic-Bonded Wood and Fiber Composite Materials Conference. Washington - USA, vol. 1-4th, p. 53-58, 1994.

LORENZI, H., et al. **Árvores exóticas no Brasil:** madeireiras, ornamentais e aromáticas. 1. ed. Nova Odessa: Instituto Platarum, 2003. 368 p.

MACÊDO, A. N.; SOUZA, A. C. C.; NETO, B. B. P. Chapas de cimento-madeira com resíduos da indústria madeireira da região Amazônica. **Amb. Constr.**, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 131-150, abr./jun. 2012.

MATOSKI, A. **Utilização de pó de madeira com granulometria controlada na produção de painéis de cimento-madeira.** 2005. 187 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2005.

MORALES, G.; CAMPOS, A.; FAGANELLO, A. M. P. A ação do fogo sobre os componentes do concreto. **Semina**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 47-55, 2011.

MELLO, R. R. Estabilidade dimensional de compostos de madeira. **Ci. da Mad.**, v. 4, n. 2, p. 152-175, nov. 2013.

MOSLEMI, A. A. **Particleboard: Materials.** 1. ed. London: Southern Illinois University Press. 1974. 245 p.

MOSLEMI, A. A. Wood-cement panel products: coming of age. In: MOSLEMI, A. A.; HAMEL, M. P. **Fiber and particleboards bonded with inorganic binders.** 1. ed. Madison: Forest Product Research Society, 1989. v.1. p.12-18.

NA, B. Wood-cement compatibility review. **Wood Res.**, Bratislava v. 59, n. 5, p. 813-826, 2014.

PAPADOPOULOS, A.; TOUNTZIARAKIS, P.; POUGIOULA, G. Fire resistance of two panel products made from chemically modified raw material. **Maderas**, Concepción, Chile, v. 12, n. 1, p. 53-55, , 2010.

PÉREZ, V. R. et al. Crecimiento estacional del diámetro normal de *Melia azedarach* L. var. *Gigantea* em diversas densidades. **Revista de Ciencia y Tecnología**, Argentina, v. 2, n. 2, p. 62-71, sep. 2004.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and enviroment for statistical computing.** 2012. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 8 nov. 2017.

SANTI, N. V. **Utilização de resíduo de *Pinus spp.* paraprodução de placas de cimento-madeira.** 2013. 43 p. Monografia (Engenharia de Produção Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

SANTOS, C. **Novas alternativas de testes de agrupamentos avaliadas por meio de simulação Monte Carlo.** 2000. 85 p. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

SANTOS, R. C. et al. Aproveitamento de resíduos da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus*) para a produção de painéis cimento-madeira. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 3, p. 241-250, jul./set. 2008.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, v. 30, n. 3, p. 507-512, sept. 1974.

SCHNEIDER, P. R. **Cultura do cinamomo: *Melia azedarach* L.** Santa Maria: CEPEF/FATEC, 1987, 23 p.

SIMATUPANG, M. H. et al. Small scale plants for the manufacture of mineral-bonded wood composites. In.: WORLD FORESTRY CONGRESS, 8., 1978 Jakarta.

Proceedings... Jakarta: Special Paper, 1978, 21 p.

TONDI, G. et al. Tannin-boron preservatives for wood buildings: mechanical and fireproperties. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 70, n. 5, p. 689-696, 2012.

VENSON, I. **Estudio de las propiedades de la madera de *Melia azedarach* Linn.** 2003. 119 p. Disertación (Maestro en Ciencia de Productos Forestales)-Universidad de Guadalajara, Guadalajara, 2003.

ZUCCO, L. L. **Estudo da viabilidade de fabricação de placas de compósitos à base de cimento e casca de arroz.** 1999. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP.

5 PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS DE CIMENTO-MADEIRA DE *Melia azedarach*

5.1 INTRODUÇÃO

Visto que os painéis do tipo cimento-madeira possuem características apropriadas para aplicações estruturais, eles são amplamente utilizados na construção civil em países da Europa e da Ásia, sobretudo no Japão (Iwakiri et al. 2012). No Brasil a utilização desses painéis ainda é incipiente, contudo os mesmos podem ser uma ótima alternativa na substituição de materiais construtivos já que são, de acordo com Moslemi (1974) extremamente resistentes ao fogo, possuem alta resistência à umidade e aos organismos biodegradadores, além de atuarem como isolantes térmico e acústico.

Matoski e Iwakiri (2007) afirmam que juntamente às características físicas dos painéis cimento-madeira, as características mecânicas são indicadores importantes da empregabilidade desses painéis. A resistência mecânica de chapas utilizadas para fins construtivos, garante que elas possam ser serradas, pregadas, parafusadas e coladas, além de resistirem aos esforços exigidos durante toda a vida útil da construção.

Muitas espécies vegetais, sobretudo florestais, vem tendo seu desempenho, na constituição de painéis cimento madeira, avaliado em diversos estudos. Neste cenário, além dos gêneros mais tradicionalmente estudados, como pinus (AZAMBUJA et al., 2017; IWAKIRI et al., 2017b; IWAKIRI et al, 2015; LILGE, 2009) e eucalipto (LILGE, 2009; LATORRACA e IWAKIRI, 2000), destacam-se diversas outras espécies, tais como: *Hevea brasiliensis* (IWAKIRI et al., 2017a; OKINO et al., 2004), *Eremanthus erythropappus* (SANTOS, et al., 2008); *Leuceaena glauca* (NASSER et al., 2014), *Schizolobium amazonicum* (IWAKIRI et al, 2012), *Eschweilera coriaceae* (CASTRO, 2015), *Cecropia hololeuca* (IWAKIRI et al. 2012), *Toona ciliata* (DE SÁ et al., 2010), etc.

O cinamomo (*Melia zaedarach*), é uma espécie florestal muito bem adaptada à região sul do Brasil. Isto ocorre devido ao seu alto grau de adequação edafoclimática. Além disso, esta espécie produz madeira de boa qualidade, o que justificaria investimentos para a produção de matéria-prima para a indústria (VIVAN, 2005).

Venson (2003) contudo, alerta para a cautela no uso da madeira de cinamomo para fins estruturais, já que a mesma apresenta resistência mecânica média. Entretanto, o autor sugere que, para incrementar o desempenho mecânico desta espécie, sua madeira seja utilizada em painéis reconstituídos.

Pesquisas recentes têm avaliado o uso de madeira de cinamomo na composição de painéis. Rahman et al. (2014), ao compararem painéis compensados comerciais, fabricados com madeira de *Bombax ceiba*, com painéis compensados produzidos com madeira de cinamomo, encontraram propriedades físicas e mecânicas superiores nos painéis de *Melia azedarach*. Da mesma forma, Trianoski et al. (2015), estudando a manufatura de compensados com esta espécie florestal, concluíram que o cinamomo apresenta alta viabilidade técnica, com boa qualidade de colagem, para a produção deste tipo de painel.

Sendo assim, esta etapa do estudo teve como objetivo avaliar o comportamento mecânico (módulo de elasticidade e de ruptura em flexão estática, resistência ao arrancamento de parafusos e ligação interna), de painéis do tipo cimento-madeira, manufaturados com madeira de cinamomo submetida a diferentes tipos de tratamentos de partículas, além do uso de diferentes aceleradores de cura e proporções de cimento na constituição desses painéis.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 Matéria-prima

Os painéis cimento-madeira de cinamomo utilizados neste estudo foram desenvolvidos com quatro tipos de preparo das partículas de madeira (imersão em solução de NaOH, imersão em solução de $Al_2(SO_4)_3$, banho térmico e testemunha); duas proporções de madeira:cimento (1:2,5 e 1:3,0); e três tipos de aditivos adicionados à massa dos painéis (CaCl, MgCl e testemunha). As matérias-primas utilizadas para a confecção desses painéis, bem como o método de fabricação dos mesmos encontram-se descritos no capítulo anterior.

Os corpos de prova de todos os ensaios foram armazenados previamente em câmara climatizada com temperatura de 20°C e teor de umidade relativa do ar de 65%, até estabilização de massa dos mesmos, antes da execução dos ensaios.

5.2.2 Propriedades mecânicas

Os ensaios de flexão estática, arrancamento de parafusos, e resistência à tração, foram realizados no Laboratório de Produtos Florestais da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Todos os testes mecânicos foram realizados em Máquina universal de ensaios, da marca Amsler, com capacidade de 20 toneladas (Figura 5.1). Os pares de dados de carga e deslocamento foram alimentados automaticamente por uma placa de aquisição de dados, inserida em um computador IBM PC.

Figura 5.1 - Máquina universal de ensaios.



Fonte: Lilge, 2009.

5.2.2.1 Flexão estática

Para determinação do módulo de elasticidade e do módulo de ruptura foi realizado teste de flexão estática, em máquina universal de ensaios, segundo a norma ASTM D-1037 (1999). Assim, foram necessários corpos-de-prova com 76 mm

de largura e comprimento igual a 24 vezes a sua espessura nominal, com adição de 50 mm (Figura 3.3, Capítulo 3).

A largura foi medida na metade do comprimento e a espessura foi aferida na intersecção das diagonais do corpo-de-prova. O corpo-de-prova, apoiado em suportes distantes entre si 24 vezes a espessura nominal, sofreu a aplicação de carga em sua porção central (Figura 5.2). A velocidade de aplicação de carga foi regulada de acordo com a norma supracitada.

Figura 5.2 - Ensaio de flexão estática.



Fonte: Autora.

O Módulo de Elasticidade (MOE) foi calculado utilizando-se a região linear da curva de leituras de carga X deformação, através da Equação 5.1.

$$MOE = \frac{l_1^3 \times (F_2 - F_1)}{4 \times b \times t^3 \times (a_2 - a_1)} \quad (5.1)$$

Em que:

MOE = módulo de elasticidade (kgf/cm²);

a₁ e a₂: incremento da deflexão à metade do comprimento (cm);

l₁: distância entre os suportes (cm);

b: largura do corpo-de-prova (cm);

t: espessura do corpo-de-prova (cm);

F₁-F₂: incremento de carga (f₂ ± 40% da carga máxima) (kgf).

Para o cálculo do Módulo de Ruptura (MOR) foi considerada a carga máxima, aplicada na Equação 5.2.

$$MOR = \frac{3 \times F_{m\acute{a}x} \times l_1}{2 \times b \times t^2} \quad (5.2)$$

Em que:

MOR = módulo de ruptura (kgf/cm²);

l₁: distância entre os suportes (cm);

b: largura do corpo-de-prova (cm);

t: espessura do corpo-de-prova (cm);

F_{máx} = carga máxima na ruptura (kgf).

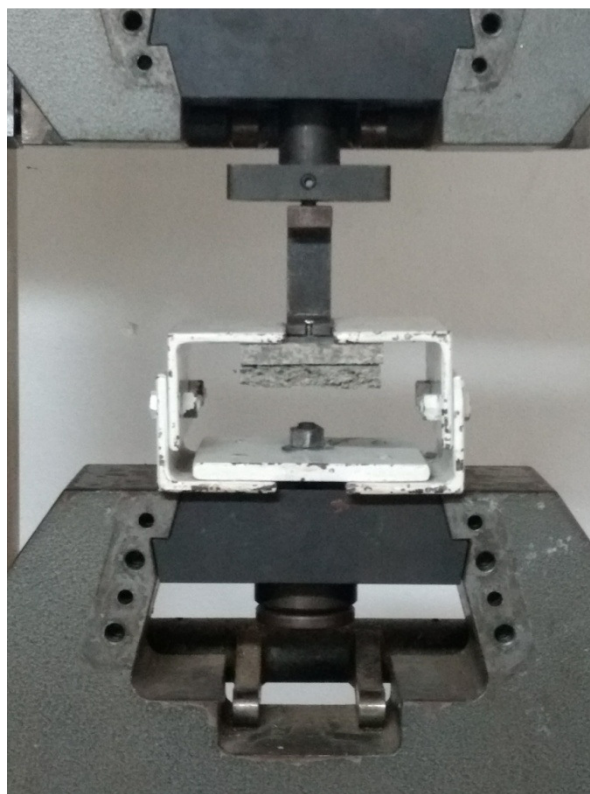
5.2.2.2 Arrancamento de parafusos

Este teste foi realizado de acordo com a norma ASTM D-1037 (1999) e utilizou as extremidades dos corpos-de-prova já testados para flexão estática. Para isto, após o rompimento do corpo de prova no teste de flexão, as extremidades do mesmo foram coladas face a face, para proporcionar o aumento da espessura. O adesivo utilizado neste procedimento foi o polivinilacetato.

Após a colagem se fez necessário aguardar o período de cura do adesivo. Antes da inserção manual dos parafusos foi realizada uma pré-furação nos corpos de prova com o auxílio de uma parafusadeira dotada de broca de 3,2 mm. Só então, os parafusos, com 3,5 mm de diâmetro, foram inseridos em ângulo reto à superfície do painel, no centro do corpo-de-prova. A inserção dos parafusos no painel respeitou 2/3 do comprimento do parafuso.

A velocidade do teste, realizado em máquina universal de ensaios, foi de 1,5 mm/min, registrando-se a carga máxima aplicada para o arrancamento do parafuso (Figura 5.3), expressa em kgf.

Figura 5.3 - Ensaio de arrancamento de parafusos.



Fonte: Autora.

5.2.2.3 Tração perpendicular à superfície do painel

O ensaio de tração perpendicular, que objetiva determinar a ligação interna do painel, foi realizado de acordo com a norma ASTM D-1037 (1999). A referida norma determina a utilização de corpos-de-prova quadrados com aresta de 50 ± 1 mm. As faces dos corpos-de-prova foram coladas, com resina epóxi, em blocos de aço que serviram de suporte para encaixe na máquina de ensaios. Os blocos de aço foram então tracionados em direções opostas (Figura 5.4), de forma a proporcionar o rompimento do corpo-de-prova.

Foram feitas três repetições deste ensaio por painel. Por segurança, visto que podem ocorrer falhas no processo de colagem dos corpos-de-prova nos blocos de aço, foram retirados de cada painel, um corpo de prova a mais, conforme pode ser observado na Figura 3.3 (Capítulo 3).

Figura 5.4 - Ensaio de tração perpendicular à superfície do painel.



Fonte: Autora.

A velocidade do teste foi ajustada de acordo com a norma, com base na espessura dos corpos-de-prova. A ligação interna (LI) foi determinada através da relação entre carga máxima e área de esforço, expressos em kgf/cm^2 .

5.2.3 Análise estatística

Os dados de módulo de elasticidade, módulo de ruptura, resistência ao arrancamento de parafusos e resistência à tração perpendicular dos painéis de cimento-madeira foram avaliados mediante análise de variância e teste de comparação de médias. Com a finalidade de evitar a ambigüidade na interpretação dos dados (SANTOS, 2000), o teste de médias utilizado neste trabalho foi o Scott-Knott (SCOTT e KNOTT, 1974), com nível de significância de 5% e, portanto, 95% de confiança.

As análises estatísticas foram realizadas com a utilização do software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2012).

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados observados para cada um dos corpos de prova submetidos a cada um dos ensaios de resistência mecânica encontram-se no anexo 5.1.

5.3.1 Resistência à flexão estática (MOE)

Na Tabela 5.1 verificam-se os dados relativos às médias por tratamento do módulo de elasticidade (MOE) em flexão estática. O MOE observado no ensaio apresentou valores médios variando de 15591,99 a 33302,92 Kg/cm².

Tabela 5.1 - Valores médios observados de módulo de elasticidade dos painéis.

Tratamento	Método	Proporção	Aditivo	MOE (kgf/cm ²)
1	Testemunha	1:2,5	Testemunha	24776,95
2	Testemunha	1:2,5	CaCl ₂	33302,92
3	Testemunha	1:2,5	MgCl ₂	31366,46
4	Testemunha	1:3,0	Testemunha	18896,27
5	Testemunha	1:3,0	CaCl ₂	31717,56
6	Testemunha	1:3,0	MgCl ₂	29021,64
7	Banho térmico	1:2,5	Testemunha	29140,36
8	Banho térmico	1:2,5	CaCl ₂	32325,26
9	Banho térmico	1:2,5	MgCl ₂	31515,05
10	Banho térmico	1:3,0	Testemunha	23124,87
11	Banho térmico	1:3,0	CaCl ₂	28022,70
12	Banho térmico	1:3,0	MgCl ₂	25759,68
13	Al ₂ (SO ₄) ₃	1:2,5	Testemunha	23142,94
14	Al ₂ (SO ₄) ₃	1:2,5	CaCl ₂	32324,78
15	Al ₂ (SO ₄) ₃	1:2,5	MgCl ₂	29970,43
16	Al ₂ (SO ₄) ₃	1:3,0	Testemunha	23095,09
17	Al ₂ (SO ₄) ₃	1:3,0	CaCl ₂	28878,48
18	Al ₂ (SO ₄) ₃	1:3,0	MgCl ₂	25994,71
19	NaOH	1:2,5	Testemunha	15601,21
20	NaOH	1:2,5	CaCl ₂	31422,06
21	NaOH	1:2,5	MgCl ₂	27568,02
22	NaOH	1:3,0	Testemunha	15591,99

Contin...				
23	NaOH	1:3,0	CaCl ₂	20268,71
24	NaOH	1:3,0	MgCl ₂	18526,25

Onde: método = método de preparo das partículas; proporção = proporção de madeira:cimento; MOE = módulo de elasticidade.

Fonte: Autora.

Os valores encontrados neste estudo estão de acordo com o que é verificado na literatura. Azambuja et al. (2014), encontraram valores de MOE de 14138 a 35428 Kgf/cm² ao avaliarem painéis de partículas de eucalipto e dois tipos de cimento. Castro et al. (2015) avaliando painéis cimento:madeira com partículas de *Eucalyptus saligna* e diferentes aditivos verificaram valores de MOE de 2039,43 a 25717,24 kgf/cm². Iwakiri et al. (2015) estudando o comportamento de partículas tratadas de *Eucalyptus benthamii* na manufatura de painéis cimento:madeira verificaram valores de MOE de 26643,65 a 38958,25 kgf/cm².

5.3.1.1 Módulo de elasticidade: análise estatística

Para assegurar os pressupostos de normalidade e homocedasticidade dos resíduos dos dados de módulo de elasticidade, foi necessária a transformação desses dados de acordo com a Equação 5.3.

$$MOEt = LN (MOE) \quad (5.3)$$

Onde:

MOEt = módulo de elasticidade em flexão estática transformado (kgf/cm²);

LN = logaritmo natural;

MOE = módulo de elasticidade em flexão estática (kgf/cm²).

Deste modo, foi possível garantir, com significância de 5%, por meio dos testes Shapiro-Wilk e Bartlett, que os resíduos possuem, respectivamente, distribuição normal e variância constante.

Na análise de variância do MOE dos painéis (Tabela 5.2) a interação tripla dos fatores analisados foi significativa ($p < 0,05$). Os desdobramentos das interações triplas da análise de variância para esta variável se encontram nos Anexos 5.2, 5.3 e 5.4.

Tabela 5.2 - Análise de variância do módulo de elasticidade (MOE) dos painéis.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Método	3	5,69903	1,89968	81,6352	0
Proporção	1	2,75433	2,75433	118,3624	0
Aditivo	2	7,02294	3,51147	150,899	0
Método*Proporção	3	0,52220	0,17407	7,4801	1e-04
Método*Aditivo	6	1,10217	0,18370	7,894	0
Proporção*Aditivo	2	0,09972	0,04986	2,1427	0,1189
Método*Proporção*Aditivo	6	1,21561	0,20260	8,7064	0
Resíduo	336	7,81883	0,02327		
Total	359	26,23485	0,07308		

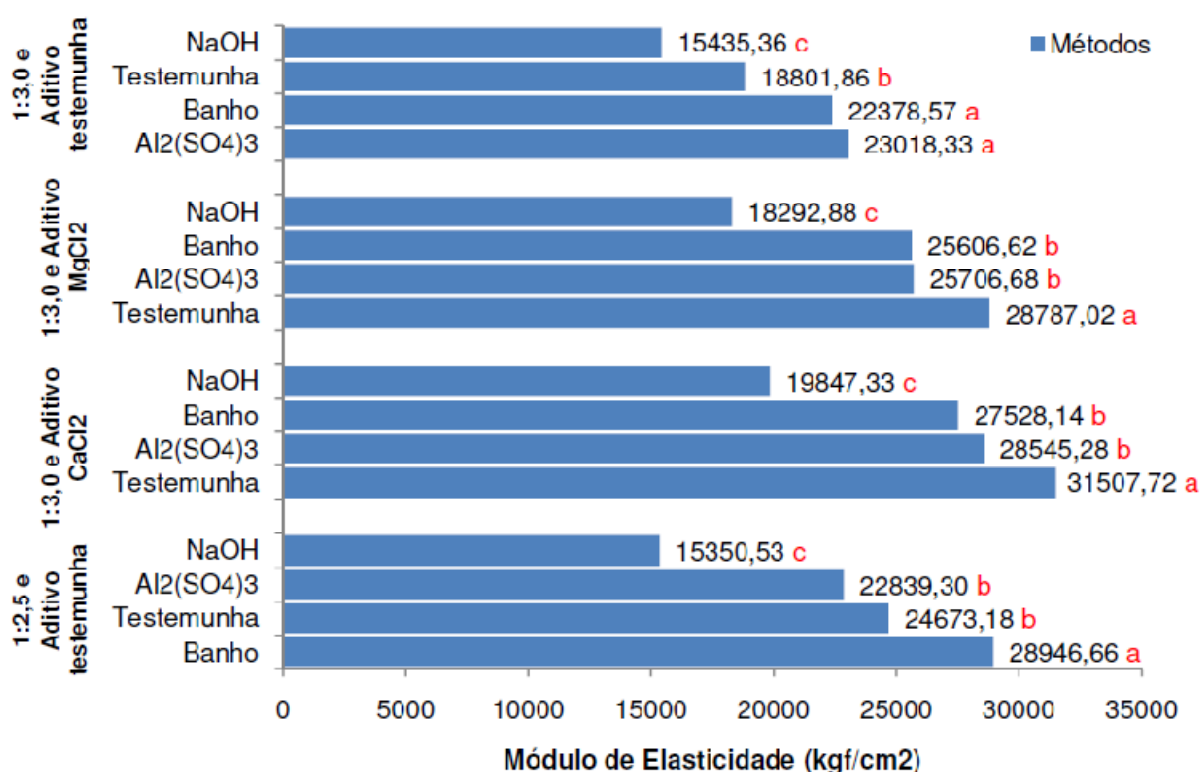
Onde: método = método de preparo das partículas; proporção = proporção madeira:cimento; aditivo: tipo de aditivo.

Fonte: Autora.

No que se refere à interação do método de preparo das partículas em relação às proporções de madeira:cimento e aos aditivos, conforme indicado pelo teste F, as seguintes interações triplas apresentaram médias estatisticamente iguais entre si: métodos de preparo de partículas, combinados à proporção de madeira:cimento 1:2,5 e aos aditivos CaCl_2 e MgCl_2 .

Dessa forma, para estas combinações, não houveram diferenças relevantes quanto ao uso de qualquer um dos preparos de partículas avaliados neste estudo. As interações que apresentaram médias que diferiram significativamente entre si, para a variável MOE, estão apresentadas na Figura 5.5.

Figura 5.5 - Teste de Scott-Knott para módulo de elasticidade: desdobramento do método de preparo das partículas em relação às proporções de madeira:cimento e aos aditivos.



Onde: médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, à 5% de significância; 1:2,5 e 1:3,0 = proporções de madeira:cimento.

Fonte: Autora.

Observa-se que o pior método de preparo para todas as interações foi a imersão das partículas em NaOH, apresentando as piores médias de MOE e diferindo estatisticamente de todos os outros métodos. Para proporção de madeira:cimento de 1:3,0 combinada aos aditivos CaCl₂ e MgCl₂ o melhor método foi o uso de partículas não tratadas. Já para a combinação entre 1:2,5 de madeira:cimento e sem o uso de aditivo, o melhor método foi o banho térmico das partículas. Por fim, para 1:3,0 de madeira:cimento e sem aditivo, os preparo com banho térmico ou imersão em solução de sulfato de alumínio foram os melhores, não diferindo estatisticamente entre si.

Este baixo desempenho de NaOH no preparo de partículas, provavelmente ocasionado pela degradação das fibras de madeira pela soda cáustica, também foi observado por Iwakiri et al. (2017a), que ao estudarem painéis cimento-madeira com partículas de *Hevea brasiliensis* tratadas, encontraram valores de MOE inferiores

para as partículas tratadas com NaOH (de 15173,37 a 29337,23 kgf/cm²), se comparados aos valores encontrados para partículas tratadas com banho térmico (de 15316,13 a 40095,23 kgf/cm²) e imersão em água fria (de 19792,69 a 36699,60 kgf/cm²).

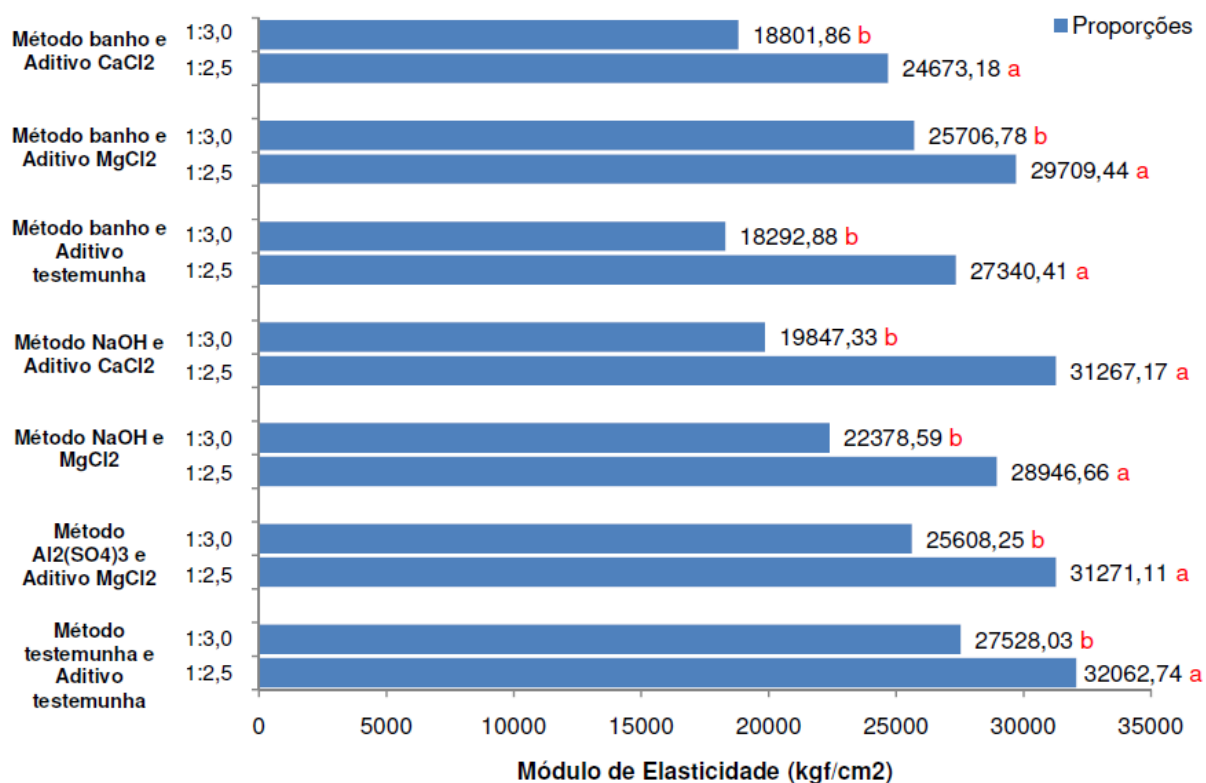
Iwakiri et al. (2015), em seu estudo sobre o preparo de partículas de *Eucalyptus benthamii* para composição de painéis cimento-madeira, verificaram que painéis com partículas tratadas com imersão em NaOH resultaram em desempenho inferior de MOE (29391,89 kgf/cm²) se comparados aos painéis tratados com imersão em água fria (33071,84 kgf/cm²).

Já Iwakiri et al. (2012), estudando a viabilidade do uso de partículas de embaúba (*Schizolobium amazonicum*) e paricá (*Cecropia hololeuca*) na manufatura de painéis cimento-madeira, identificaram para painéis com partículas tratadas com NaOH (29919,15 kgf/cm² para embaúba e 26216,9 para paricá kgf/cm²) menores valores de MOE do que para aqueles com partículas tratadas com banho térmico (36087,75 kgf/cm² para embaúba e 28348,10 kgf/cm² para paricá).

Para a interação das proporções de madeira:cimento em relação aos métodos de preparo das partículas e aos aditivos, de acordo com o teste F, as seguintes interações triplas apresentaram médias estatisticamente iguais entre si: proporções de madeira:cimento combinadas ao método de preparo de partículas imersão em NaOH e ao aditivo testemunha; proporções de madeira:cimento, combinadas ao método de preparo das partículas imersão em Al₂(SO₄)₃ e aos aditivos CaCl₂ e testemunha; Proporções de madeira:cimento, combinadas ao método de preparo das partículas testemunha e aos aditivos CaCl₂ e MgCl₂.

Dessa forma, para estas combinações, não houveram diferenças significativas quanto ao uso de qualquer uma das proporções de madeira:cimento utilizadas neste estudo. As combinações que apresentaram diferenças significativas entre suas médias, para este fator (MOE), estão representadas na Figura 5.6.

Figura 5.6 - Teste de Scott-Knott para módulo de elasticidade: desdobramento da proporção de madeira:cimento em relação aos métodos de preparo das partículas e aos aditivos.



Onde: médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, à 5% de significância; 1:2,5 e 1:3,0 = proporções de madeira:cimento.

Fonte: Autora.

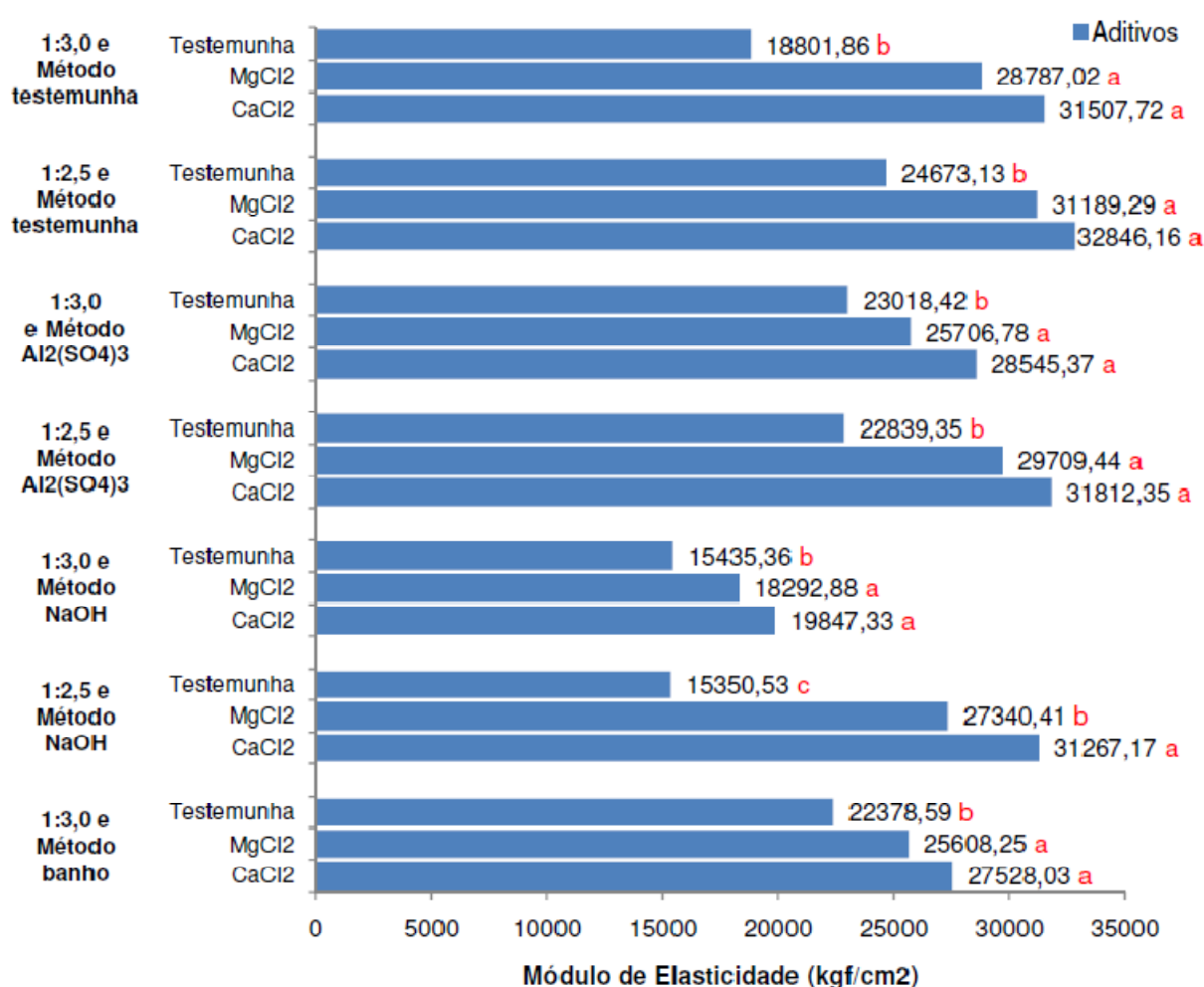
Verifica-se que, para todas as interações, a melhor proporção de madeira:cimento no que se refere aos valores de MOE, é a de 1:2,5. Sendo assim, um aumento da quantidade de partículas de madeira de cinamomo nos painéis incrementa seu módulo de elasticidade. Isso ocorre em função das características de resistência à flexão das partículas de madeira.

Este comportamento já foi observado por Latorraca e Iwakiri (2000) ao avaliarem o desempenho de partículas de *Eucalyptus dunnii* na manufatura de painéis cimento:madeira. Os autores encontraram valor médio de MOE de 30063 kgf/cm² para proporção de madeira:cimento de 1:2,5, enquanto que para a proporção com mais cimento na composição (1:3,0) foi registrado um valor médio de MOE de 25003 kgf/cm².

No que diz respeito à interação dos aditivos em relação aos métodos de preparo das partículas e às proporções de madeira:cimento, conforme os resultados

do teste F, a interação tripla entre aditivos, combinados ao método de preparo das partículas banho e à proporção de madeira:cimento de 1:2,5, apresenta médias estatisticamente iguais entre si. Ou seja para esta combinação não houveram diferenças significativas quanto ao uso de qualquer um dos aditivos utilizados neste estudo. Na Figura 5.7 temos os testes de médias de MOE para as demais interações.

Figura 5.7 - Teste de Scott-Knott para módulo de elasticidade: desdobramento do aditivo em relação aos métodos de preparo das partículas e às proporções de madeira:cimento.



Onde: médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, à 5% de significância; 1:2,5 e 1:3,0 = proporções de madeira:cimento.

Fonte: Autora.

Observa-se que o melhor aditivo para os resultados de MOE é o CaCl₂. Embora em algumas combinações o cloreto de cálcio não difira estatisticamente do

cloreto de magnésio, de qualquer forma, os dois aditivos sempre diferem da testemunha, que apresentou os menores valores de MOE.

Castro et al. (2015) também verificaram uma melhor performance do aditivo CaCl_2 na composição de painéis cimento-madeira, com partículas de *Eucalyptus saligna*. Os pesquisadores encontraram a maior média de MOE para painéis produzidos com CaCl_2 como aditivo (25717,24 kgf/cm²). Chapas produzidas com MgCl_2 , por sua vez, geraram valor intermediário de MOE (21036,74 kgf/cm²), enquanto que aquelas que foram produzidas sem aditivo na composição, de forma análoga ao presente estudo, resultaram nos piores valores (8320,88 kgf/cm²).

5.3.2 Resistência à flexão estática (MOR)

Os valores médios, observados para módulo de ruptura (MOR), para cada um dos tratamentos, se encontram na Tabela 5.3. O MOR variou de 47,80 a 149,03 kgf/cm².

Tabela 5.3 - Valores médios observados de módulo de elasticidade dos painéis.

Tratamento	Método	Proporção	Aditivo	MOR (kgf/cm ²)
1	Testemunha	1:2,5	Testemunha	100,91
2	Testemunha	1:2,5	CaCl_2	149,03
3	Testemunha	1:2,5	MgCl_2	127,69
4	Testemunha	1:3,0	Testemunha	87,57
5	Testemunha	1:3,0	CaCl_2	116,27
6	Testemunha	1:3,0	MgCl_2	132,01
7	Banho térmico	1:2,5	Testemunha	131,52
8	Banho térmico	1:2,5	CaCl_2	118,75
9	Banho térmico	1:2,5	MgCl_2	140,98
10	Banho térmico	1:3,0	Testemunha	94,40
11	Banho térmico	1:3,0	CaCl_2	114,70
12	Banho térmico	1:3,0	MgCl_2	114,97
13	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	1:2,5	Testemunha	109,74
14	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	1:2,5	CaCl_2	145,57
15	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	1:2,5	MgCl_2	129,58
16	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	1:3,0	Testemunha	102,05

Contin...

17	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	1:3,0	CaCl_2	124,15
18	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	1:3,0	MgCl_2	105,70
19	NaOH	1:2,5	Testemunha	59,08
20	NaOH	1:2,5	CaCl_2	128,32
21	NaOH	1:2,5	MgCl_2	128,37
22	NaOH	1:3,0	Testemunha	47,80
23	NaOH	1:3,0	CaCl_2	90,63
24	NaOH	1:3,0	MgCl_2	99,85

Onde: método = método de preparo das partículas; proporção = proporção de madeira:cimento; MOR = módulo de ruptura.

Fonte: Autora.

As médias de MOR para os tratamentos desenvolvidos estão de acordo ao que pode ser verificado na literatura. Azambuja (2014), avaliando painéis de cimento-madeira de eucalipto, encontrou valores de MOR variando entre 43,41 e 150,98 kgf/cm². Macêdo, Souza e Neto (2012) estudando resíduos de três espécies amazônicas na constituição de painéis cimento-madeira encontraram valores de MOR de 6,49 a 111,76 kgf/cm² para painéis a base de cedro (*Cedrela odorata*), de 21,72 a 62,20 kgf/cm² para painéis à base de jatobá (*Hymenaea courbaril*) e de 64,24 a 86,37 kgf/cm² para painéis fabricados com partículas de quaruba (*Vochysia maxima*). Iwakiri et al. (2015) avaliando painéis cimento-madeira de *Eucalyptus benthamii* encontraram valores de MOR variando de 41,91 a 58,84 kgf/cm².

5.3.2.1 Módulo de ruptura: análise estatística

Para assegurar os pressupostos de normalidade e homocedasticidade dos resíduos dos dados de módulo de ruptura, foi necessária a transformação desses dados de acordo com a Equação 5.4.

$$MOR_t = \sqrt{MOR} \quad (5.4)$$

Onde:

MORt = módulo de ruptura em flexão estática transformado (kgf/cm²);

LN = logaritmo natural;

MOR = módulo de ruptura em flexão estática (kgf/cm²).

Deste modo, foi possível garantir, com significância de 5%, através dos testes Shapiro-Wilk e Bartlett, que os resíduos possuem, respectivamente, distribuição normal e variância constante.

Na análise de variância do MOR dos painéis (Tabela 5.4) a interação tripla dos fatores analisados foi significativa ($p < 0,05$). Os desdobramentos das interações triplas da análise de variância para esta variável se encontram nos Anexos 5.5, 5.6 e 5.7.

Tabela 5.4 - Análise de variância do módulo de ruptura (MOR) dos painéis.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Método	3	140,41304	46,80435	44,2769	0
Proporção	1	79,53604	79,53604	75,2411	0
Aditivo	2	203,73331	101,86666	96,3658	0
Método*Proporção	3	5,38356	1,79452	1,6976	0,1673
Método*Aditivo	6	101,77696	16,96283	16,0468	0
Proporção*Aditivo	2	1,02416	0,51208	0,4844	0,6165
Método*Proporção*Aditivo	6	24,45760	4,07627	3,8561	0,001
Resíduo	336	355,17977	1,05708		
Total	359	911,50445	2,53901		

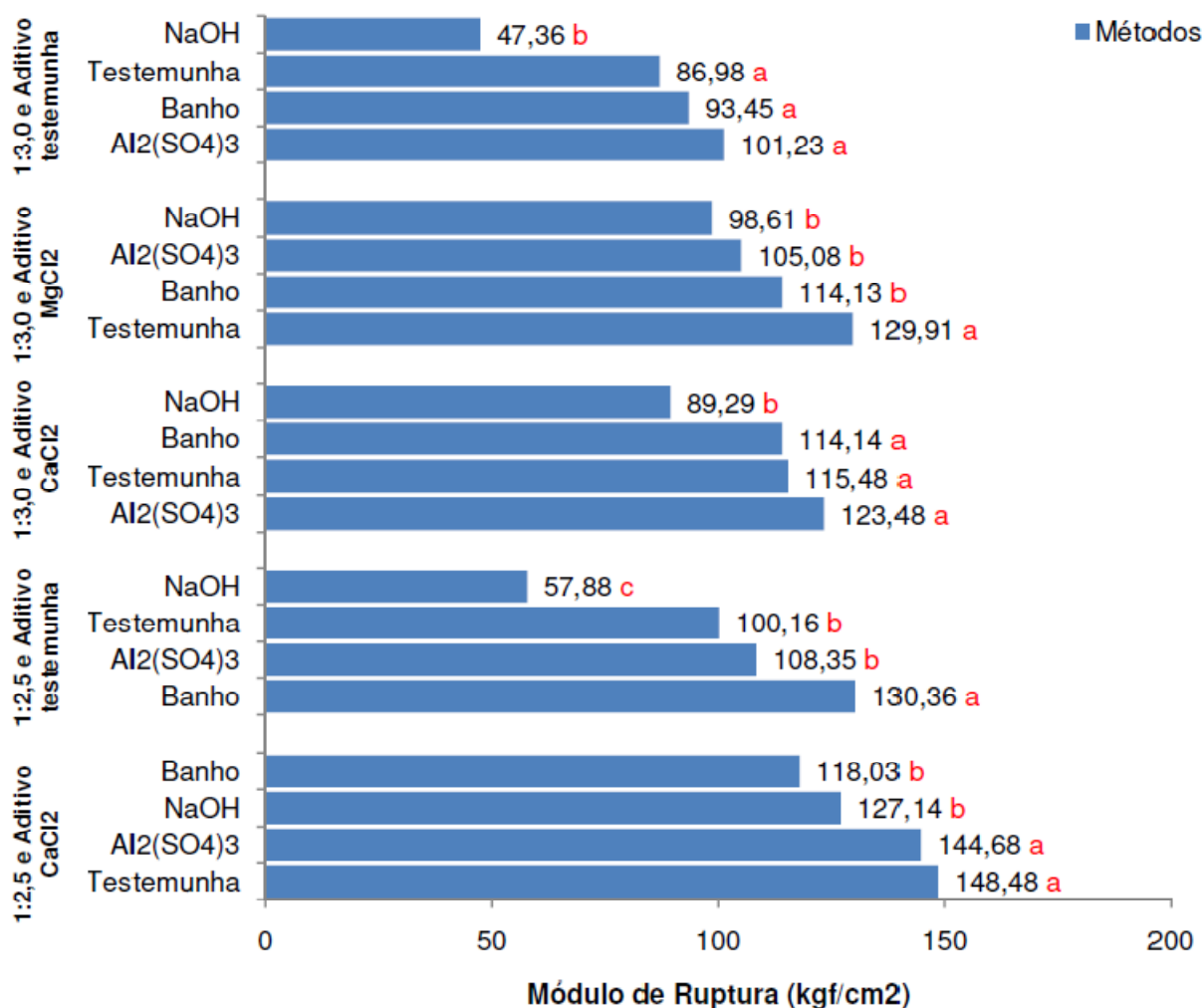
Onde: método = método de preparo das partículas; proporção = proporção madeira:cimento; aditivo: tipo de aditivo.

Fonte: Autora.

De acordo com os resultados do teste F, a interação tripla entre métodos de preparo das partículas, combinados à proporção de madeira:cimento de 1:2,5 e ao aditivo MgCl₂, apresenta médias estatisticamente iguais entre si. Ou seja para esta combinação não houveram diferenças significativas quanto ao uso de qualquer um dos aditivos estudados neste trabalho.

Na Figura 5.8 são apresentados os testes de médias de MOR para as demais interações.

Figura 5.8 - Teste de Scott-Knott para módulo de ruptura: desdobramento do método de preparo das partículas em relação às proporções de madeira:cimento e aos aditivos.



Onde: médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, à 5% de significância; 1:2,5 e 1:3,0 = proporções de madeira:cimento.

Fonte: Autora.

Observa-se que embora os melhores métodos de preparo das partículas tenham variado bastante em relação às diferentes interações, o pior método de preparo, para todas as interações foi, novamente, a imersão em solução de NaOH.

Da mesma forma que neste estudo, Iwakiri et al. (2017a) avaliando partículas de *Hevea brasiliensis* na manufatura de painéis cimento-madeira, averiguaram que os valores de MOR alcançados por painéis cujas partículas haviam sido tratadas com imersão em NaOH, foram os menores entre os métodos de preparo estudados. Enquanto as partículas preparadas com NaOH geraram painéis com MOR de 25,90 a 44,05 kgf/cm², o tratamento com imersão em água fria resultou em painéis com

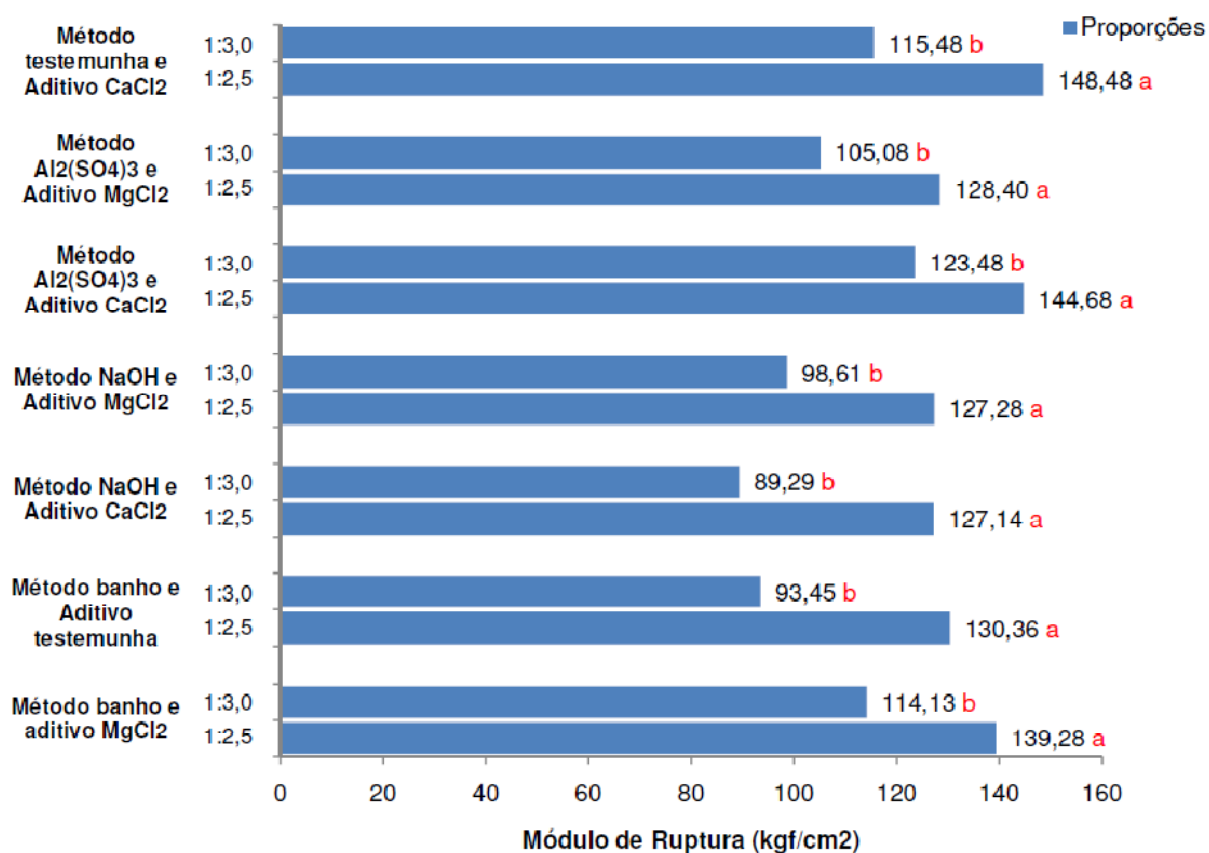
MOR de 30,39 a 58,22 kgf/cm², o preparo em água quente, por sua vez, alcançou valores de MOR de 32,94 a 61,59 kgf/cm².

Iwakiri et al. (2012), por sua vez, ao avaliar o potencial de paricá (*Cecropia hololeuca*) e embaúba (*Schizolobium amazonicum*) para fabricação de painéis cimento madeira encontraram valores de MOR inferiores para painéis fabricados com partículas tratadas com imersão em NaOH (67,20 kgf/cm² para paricá e 78,11 kgf/cm² para embaúba) se comparados aos painéis cujas partículas não sofreram preparo algum (69,34 kgf/cm² para paricá e 78,62 kgf/cm² para embaúba).

Para a interação de proporção de madeira:cimento em relação aos métodos de preparo das partículas e aos aditivos, conforme os resultados do teste F, as seguintes interações triplas apresentaram médias estatisticamente iguais entre si: proporções de madeira:cimento combinadas ao método de preparo de partículas banho e ao aditivo CaCl₂; proporções de madeira:cimento, combinadas ao método de preparo das partículas imersão em NaOH e ao aditivo testemunha; proporções de madeira:cimento, combinadas ao método de preparo das partículas imersão em Al₂(SO₄)₃ e ao aditivo testemunha; proporções de madeira:cimento, combinadas ao método de preparo das partículas testemunha e aos aditivos MgCl₂ e testemunha.

Dessa forma, para estas combinações, não houveram diferenças significativas quanto ao uso de qualquer uma das proporções de madeira:cimento utilizadas neste estudo. Na Figura 5.9 encontram-se os testes de médias de MOR para as demais combinações.

Figura 5.9 - Teste de Scott-Knott para módulo de ruptura: desdobramento da proporção de madeira:cimento em relação aos métodos de preparo das partículas e aos aditivos.



Onde: médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, à 5% de significância; 1:2,5 e 1:3,0 = proporções de madeira:cimento.

Fonte : Autora.

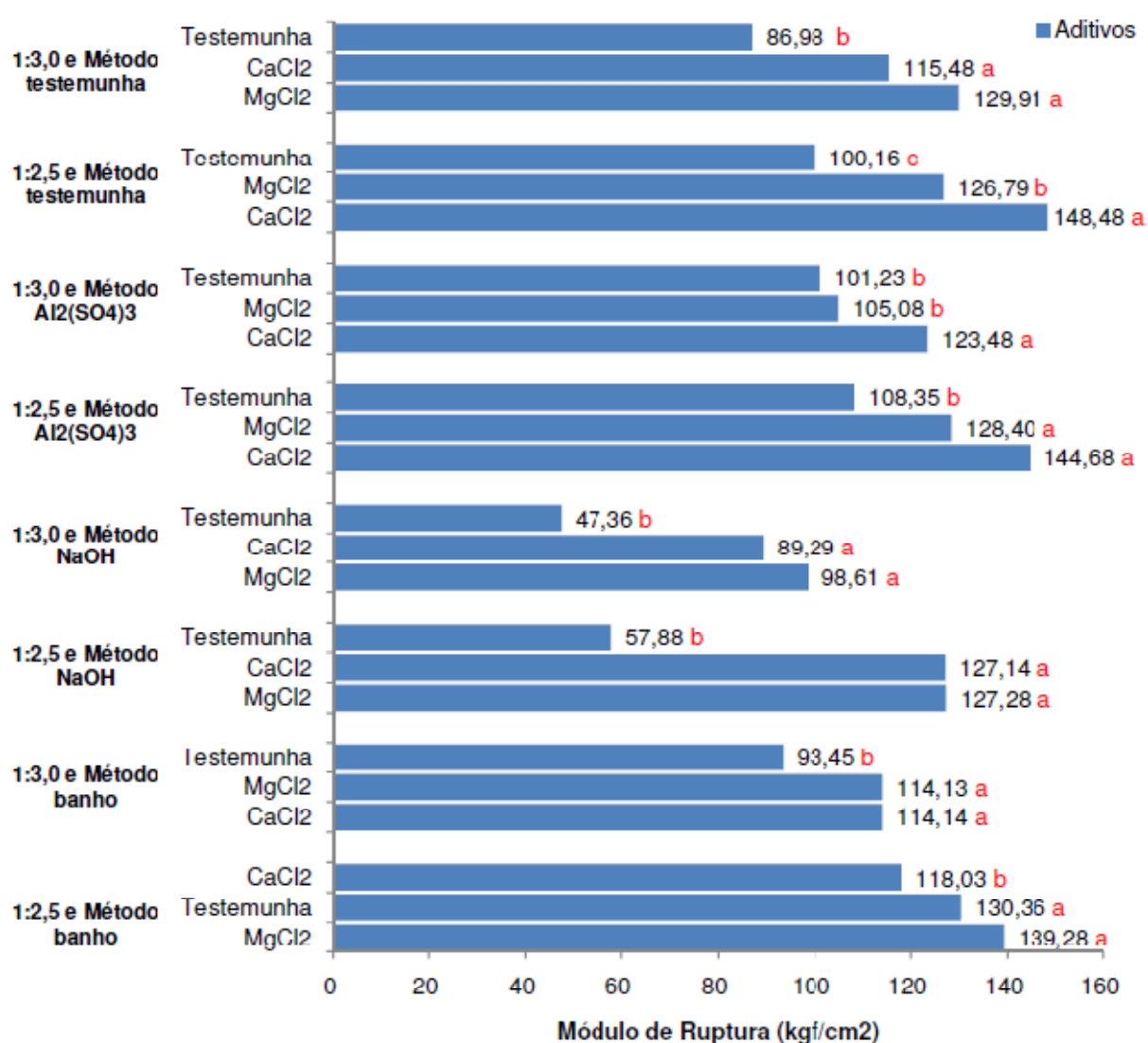
O mesmo comportamento observado para MOE na Tabela 5.6, é verificado para MOR na Tabela 5.9. Dessa forma, a melhor proporção de madeira:cimento encontrada para todas as interações foi a de 1:2,5, gerando os melhores valores de MOR. A proporção de 1:3,0 de madeira:cimento resultou em desempenho inferior dos painéis para a variável MOR. Observa-se, portanto, que uma maior quantidade de madeira na composição dos painéis, em função das características de resistência à flexão das fibras lenhosas, gera maior resistência em termos de MOR e MOE em teste de flexão estática.

Esse mesmo comportamento foi verificado por Latorraca e Iwakiri (2000) ao investigarem as mesmas proporções de madeira:cimento na fabricação de painéis cimento-madeira de *Eucalyptus dunnii*. Os autores encontraram média de MOR de

38,90 kgf/cm² para painéis com proporção de 1:2,5, enquanto que os painéis com proporção 1:3,0 atingiram média de 30,11 kgf/cm².

A Figura 5.10 demonstra os testes de médias de MOR para as interações dos aditivos em relação aos métodos de preparo das partículas e às proporções de madeira:cimento.

Figura 5.10 - Teste de Scott-Knott para módulo de ruptura: desdobramento do aditivo em relação aos métodos de preparo das partículas e às proporções de madeira:cimento.



Onde: médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, à 5% de significância; 1:2,5 e 1:3,0 = proporções de madeira:cimento.

Fonte: Autora.

Verifica-se que, para as interações entre a proporção de madeira:cimento de 1:3,0 e os métodos de preparo partículas de imersão em NaOH e testemunha, e a proporção de 1:2,5 e os métodos de preparo de imersão em NaOH e em sulfato de alumínio, as melhores médias de MOR foram obtidas com o uso de $MgCl_2$ como aditivo. De qualquer forma, nestas situações, este aditivo não diferiu estatisticamente do $CaCl_2$.

Para as demais interações os maiores valores de MOR foram de $CaCl_2$, sendo que ele diferiu do $MgCl_2$ apenas nas interações com proporção de madeira:cimento 1:2,5 e sem aditivo e proporção de madeira:cimento 1:3,0 e imersão das partículas em sulfato de alumínio. Os tratamentos que não utilizaram aditivo em sua composição resultaram nas piores médias de MOR.

A influência positiva dos aditivos na fabricação de painéis cimento-madeira foi verificada por Castro et al. (2015) ao avaliarem partículas de *Eucalyptus saligna* na composição dos painéis fabricados por prensagem e por vibrocompactação. Os pesquisadores registraram módulos de ruptura de 40,99 kgf/cm² (prensagem) e 17,74 kgf/cm² (vibrocompactação) para painéis com $CaCl_2$. Os painéis com $MgCl_2$, por sua vez, alcançaram valores de MOR de 32,83 kgf/cm² (prensagem) e 17,23 kgf/cm² (vibrocompactação). Já os painéis que não possuíam aditivo em suas formulações geraram módulos de ruptura de 11,83 kgf/cm² (prensagem) e 3,67 kgf/cm² (vibrocompactação).

5.3.3 Resistência ao arrancamento de parafusos

O teste de arrancamento de parafusos não é usualmente realizado em pesquisas que envolvem painéis de cimento-madeira. De qualquer forma, como trata-se de um painel para uso em construção civil, não deve-se ignorar a possibilidade de utilizações em que o conhecimento desse tipo de resistência se faça necessário. Dessa forma, considerou-se adequada sua avaliação.

Os dados médios de resistência ao arrancamento de parafusos (AP), por tratamento, encontram-se na Tabela 5.5. As médias de AP variaram de 31,40 a 81,00 kgf.

Tabela 5.5 - Valores médios observados de resistência ao arrancamento de parafusos dos painéis.

Tratamento	Método	Proporção	Aditivo	Arranc (kgf)
1	Testemunha	1:2,5	Testemunha	53,28
2	Testemunha	1:2,5	CaCl ₂	72,64
3	Testemunha	1:2,5	MgCl ₂	72,92
4	Testemunha	1:3,0	Testemunha	45,65
5	Testemunha	1:3,0	CaCl ₂	68,69
6	Testemunha	1:3,0	MgCl ₂	62,10
7	Banho térmico	1:2,5	Testemunha	56,80
8	Banho térmico	1:2,5	CaCl ₂	63,50
9	Banho térmico	1:2,5	MgCl ₂	63,60
10	Banho térmico	1:3,0	Testemunha	54,50
11	Banho térmico	1:3,0	CaCl ₂	60,80
12	Banho térmico	1:3,0	MgCl ₂	71,35
13	Al ₂ (SO ₄) ₃	1:2,5	Testemunha	62,10
14	Al ₂ (SO ₄) ₃	1:2,5	CaCl ₂	81,00
15	Al ₂ (SO ₄) ₃	1:2,5	MgCl ₂	80,90
16	Al ₂ (SO ₄) ₃	1:3,0	Testemunha	60,90
17	Al ₂ (SO ₄) ₃	1:3,0	CaCl ₂	69,22
18	Al ₂ (SO ₄) ₃	1:3,0	MgCl ₂	69,60
19	NaOH	1:2,5	Testemunha	31,40
20	NaOH	1:2,5	CaCl ₂	70,70
21	NaOH	1:2,5	MgCl ₂	70,45
22	NaOH	1:3,0	Testemunha	34,20
23	NaOH	1:3,0	CaCl ₂	59,10
24	NaOH	1:3,0	MgCl ₂	59,60

Onde: método = método de preparo das partículas; proporção = proporção de madeira:cimento; arranc = resistência ao arrancamento de parafusos.

Fonte: Autora.

5.3.3.1 - Resistência ao arrancamento de parafusos: análise estatística

Os dados de resistência ao arrancamento de parafusos apresentaram, através dos testes Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente distribuição normal e variância constante de seus resíduos, com significância de 5%.

Na análise de variância da resistência ao arrancamento de parafusos (AP) dos painéis (Tabela 5.6), nem a interação tripla dos fatores, nem as interações duplas dos mesmos, foram significativas.

Tabela 5.6 - Análise de variância da resistência ao arrancamento de parafuso dos painéis.

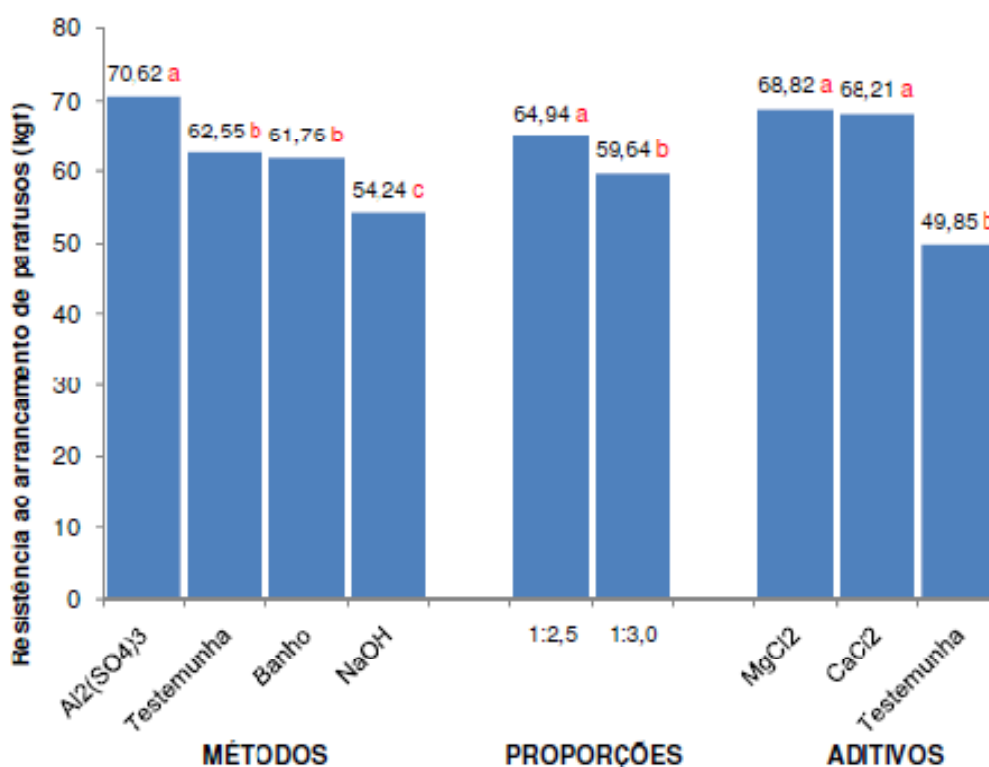
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Método	3	8070,7863	2690,2621	7,8066	1e-04
Proporção	1	1684,3402	1684,3402	4,8076	0,0281
Aditivo	2	15579,0356	9289,5178	26,9562	0
Método*Proporção	3	790,5988	263,5329	0,7647	0,515
Método*Aditivo	6	4345,2494	724,2082	2,1015	0,0543
Proporção*Aditivo	2	324,7076	162,3538	0,4711	0,6249
Método*Proporção*Aditivo	6	1158,1294	193,0216	0,5601	0,7618
Resíduo	216	74436,9360	344,6154		
Total	239	109389,7833	457,6978		

Onde: método = método de preparo das partículas; proporção = proporção madeira:cimento; aditivo: tipo de aditivo.

Fonte: Autora.

Dessa forma, foi realizada a análise do efeito simples dos fatores (método de preparo das partículas, proporção de madeira:cimento e aditivo) avaliados neste estudo. A Figura 5.11 apresenta os resultados dos testes de médias de AP individualmente para os fatores.

Figura 5.11 - Teste de Scott-Knott para resistência ao arrancamento de parafusos.



Onde: método = método de preparo das partículas; proporção = proporção madeira:cimento; aditivo: tipo de aditivo.

Fonte: Autora.

Verifica-se que o método de preparo das partículas que gerou os resultados mais positivos de AP foi a imersão em solução de sulfato de alumínio, seguido da testemunha, que não diferiu estatisticamente do banho térmico. O pior desempenho do preparo foi com imersão das partículas em solução de hidróxido de sódio.

No que refere à proporção de madeira:cimento, os tratamentos com uma maior quantidade de madeira em sua composição geraram uma performance superior de AP.

Os aditivos MgCl₂ e CaCl₂ apresentaram resultados de AP superiores à testemunha, e não diferiram estatisticamente entre si.

Valores similares aos encontrados neste estudo foram observados por Azambuja et al. (2014) que, avaliando o desempenho de dois tipos de cimento (CP-V e CP-IV) na fabricação de painéis cimento-madeira com partículas de eucalipto em combinação com cascas de arroz, encontraram valores de AP de 56,89 a 130,89 kgf

para painéis com cimento CP-IV e de 131,22 a 79,22 kgf para formulações com cimento CP-V.

Lilge (2009), estudando painéis cimento-madeira manufaturados com partículas de pinus, de eucalipto e cascas de arroz em suas formulações e utilizando uma proporção de madeira:cimento de 1:2,75, encontrou valores de AP de 73,78 a 131,22 kgf para painéis com partículas de eucalipto e cascas de arroz em sua composição. Nos painéis compostos com partículas de pinus e cascas de arroz, os valores de AP foram de 79,22 a 120,44 kgf.

Já El-Juhany, Aref e Wakeel (2003), encontraram valor médio de 83,00 kgf em testes de arrancamento de parafusos em painéis manufaturados com serragem de carvalho e cimento Portland CP-I.

5.3.4 Resistência à tração perpendicular à superfície do painel (ligação interna)

Os valores médios da ligação interna (LI) dos painéis, separados por tratamento, se encontram na Tabela 5.7. Observa-se que os valores variaram de 5,06 a 20,50 kgf/cm².

Tabela 5.7 - Valores médios observados de ligação interna dos painéis.

Tratamento	Método	Proporção	Aditivo	LI (kgf/cm ³)
1	Testemunha	1:2,5	Testemunha	10,15
2	Testemunha	1:2,5	CaCl ₂	14,60
3	Testemunha	1:2,5	MgCl ₂	12,49
4	Testemunha	1:3,0	Testemunha	9,68
5	Testemunha	1:3,0	CaCl ₂	13,30
6	Testemunha	1:3,0	MgCl ₂	11,52
7	Banho térmico	1:2,5	Testemunha	16,46
8	Banho térmico	1:2,5	CaCl ₂	19,39
9	Banho térmico	1:2,5	MgCl ₂	18,83
10	Banho térmico	1:3,0	Testemunha	14,28
11	Banho térmico	1:3,0	CaCl ₂	17,54
12	Banho térmico	1:3,0	MgCl ₂	16,25
13	Al ₂ (SO ₄) ₃	1:2,5	Testemunha	15,33
14	Al ₂ (SO ₄) ₃	1:2,5	CaCl ₂	20,50

Contin...

15	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	1:2,5	MgCl_2	19,49
16	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	1:3,0	Testemunha	13,15
17	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	1:3,0	CaCl_2	17,53
18	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	1:3,0	MgCl_2	15,17
19	NaOH	1:2,5	Testemunha	7,55
20	NaOH	1:2,5	CaCl_2	11,49
21	NaOH	1:2,5	MgCl_2	9,44
22	NaOH	1:3,0	Testemunha	5,06
23	NaOH	1:3,0	CaCl_2	8,44
24	NaOH	1:3,0	MgCl_2	7,50

Onde: método = método de preparo das partículas; proporção = proporção de madeira:cimento; LI = ligação interna dos painéis.

Fonte: Autora.

De uma maneira geral, é possível perceber que os tratamentos em que a formulação dos painéis possuía uma maior quantidade de partículas de madeira geraram maiores valores de LI. Os melhores desempenhos de LI também foram observados nos painéis cujas partículas foram previamente tratadas com banho térmico ou imersão em solução de sulfato de alumínio. Além disso, o uso de CaCl_2 como aditivo nos painéis também gerou valores maiores de LI.

Os valores encontrados estão de acordo e são até mesmo superiores ao que pode ser verificado na literatura. Iwakiri e Prata (2008) observaram resistência à tração de 2,45 a 4,79 kgf/cm^2 em seus painéis cimento-madeira manufacturados com duas espécies de eucaliptos. Já Iwakiri et al. (2015), estudando diversos tratamentos de partículas de eucalipto na produção de painéis cimento-madeira, registraram valores de LI de 5,10 a 7,44 kgf/cm^2 .

5.3.4.1 - Ligação interna: análise estatística

Com a finalidade de assegurar os pressupostos de normalidade e homocedasticidade dos resíduos dos dados de ligação interna, foi necessária a transformação desses dados de acordo com a Equação 5.5.

$$Lit = (LI + 1)^{0,5} \quad (5.5)$$

Onde:

LIt = ligação interna transformada (kgf/cm²);

LI = ligação interna (kgf/cm²).

Deste modo, foi possível garantir, com significância de 5%, por meio dos testes Shapiro-Wilk e Bartlett, que os resíduos possuem, respectivamente, distribuição normal e variância constante.

Na análise de variância da ligação interna dos painéis (Tabela 5.8) a interação tripla dos fatores analisados não foi significativa. Por outro lado, foram significativas ($p < 0,05$) as interações duplas entre método de preparo das partículas e proporções de madeira:cimento, e método de preparo das partículas e aditivos. Os desdobramentos das referidas interações se encontram nos anexos 5.8, 5.9, 5.10, 5.11, respectivamente.

Tabela 5.8 - Análise de variância da ligação interna dos painéis.

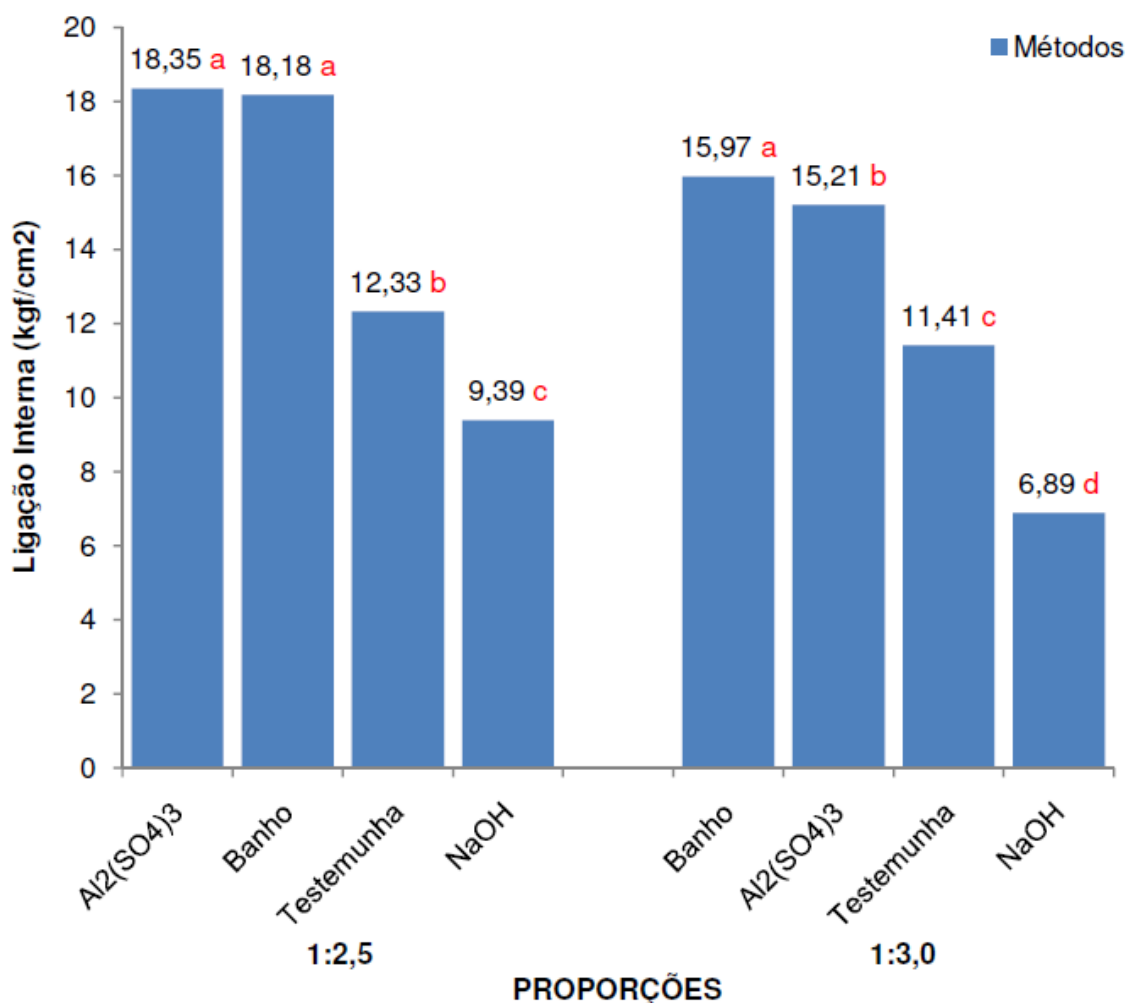
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Método	3	92,49088	30,83029	905,8088	0
Proporção	1	7,78367	7,78367	228,6879	0
Aditivo	2	17,14843	8,57421	251,9145	0
Método*Proporção	3	1,12235	0,37412	10,9917	0
Método*Aditivo	6	0,59588	0,09931	2,9179	0,0087
Proporção*Aditivo	2	0,02776	0,01388	0,4077	0,6655
Método*Proporção*Aditivo	6	0,34863	0,05811	1,7072	0,1185
Resíduo	336	11,43617	0,03404		
Total	359	130,95375	0,36477		

Onde: método = método de preparo das partículas; proporção = proporção madeira:cimento; aditivo: tipo de aditivo.

Fonte: Autora.

Na Figura 5.12 são apresentados os testes de médias de LI para a combinação dos métodos de preparo das partículas em relação às proporções de madeira:cimento.

Figura 5.12 - Teste de Scott-Knott para ligação interna: desdobramento do método de preparo das partículas em relação às proporções de madeira:cimento.



Obs: médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, à 5% de significância.

Fonte: Autora.

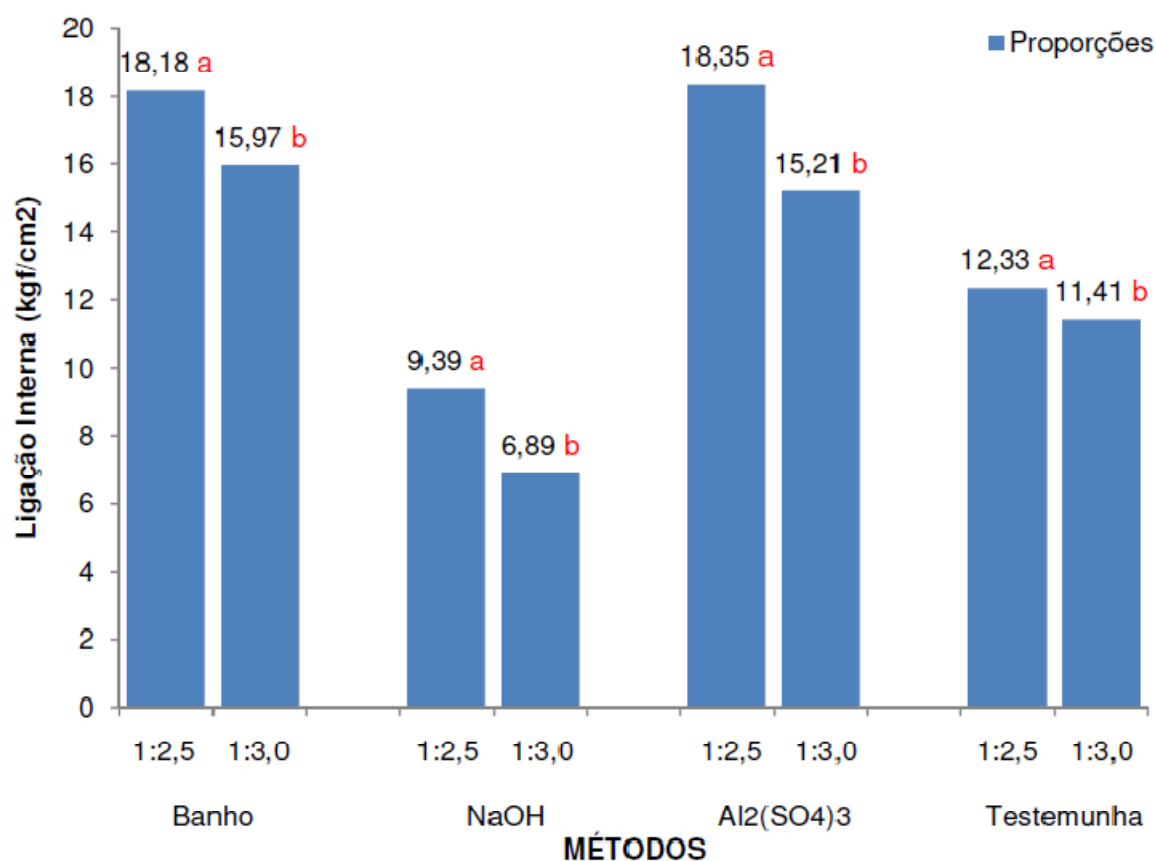
Observa-se que, para a proporção de madeira:cimento de 1:2,5, o melhor resultado de LI ocorreu nos painéis cujas partículas foram preparadas com imersão em solução de sulfato de alumínio, não diferindo estatisticamente do preparo com banho térmico, seguidos da testemunha. O pior método de preparo das partículas foi a imersão em solução de NaOH.

Já para a proporção de madeira:cimento de 1:3,0 o melhor método de preparo das partículas foi o banho térmico, seguido da imersão em solução de sulfato de alumínio e da testemunha. Novamente aqui, o pior método, com menores valor de LI, foi a imersão em solução de NaOH.

Iwakiri et al. (2017a) avaliando diferentes preparos de partículas em compósitos cimento-madeira de *Hevea brasiliensis*, encontraram um incremento nos valores de LI para painéis produzidos com partículas tratadas com banho térmico (de 3,98 a 6,42 kgf/cm²) se comparados aos produzidos com partículas sem preparo (de 1,02 a 4,69 kgf/cm²) ou tratadas com imersão em água fria (de 2,14 a 5,40 kgf/cm²).

Na Figura 5.13 encontram-se os testes de médias de LI para a combinação das proporções madeira:cimento em relação aos métodos de preparo das partículas.

Figura 5.13 - Teste de Scott-Knott para ligação interna: desdobramento da proporção madeira:cimento em relação aos métodos de preparo das partículas.



Onde: médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, à 5% de significância.

Fonte: Autora.

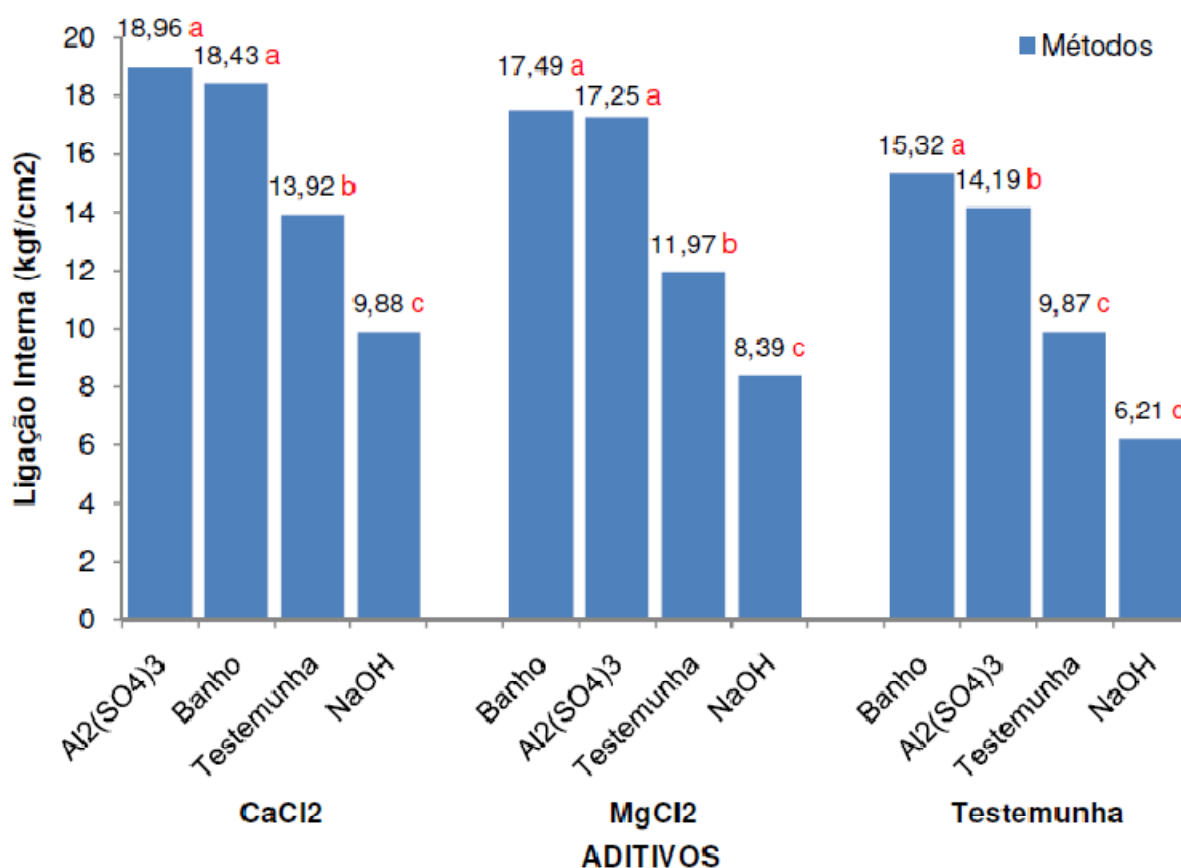
Verifica-se que para todos os métodos de tratamento das partículas, uma maior quantidade de partículas de madeira na composição dos painéis (1:2,5 de madeira:cimento) gerou sempre um incremento nos valores de LI. A proporção de

1:3,0 de madeira:cimento resultou em painéis menos resistentes à tração perpendicular.

Comportamento similar ao encontrado no presente estudo, foi verificado por Cechin (2017) que, ao avaliar o efeito de diferentes proporções de biomassa vegetal:cimento em painéis manufacturados com fibras de bambú mossô (*Phyllostachys pubescens*) observou valores maiores de LI (16,32 kgf/cm²) em formulações com maior quantidade de fibra de bambú (1:2,5 de biomassa vegetal:cimento). Para a proporção de biomassa vegetal:cimento de 1:2,85, a autora apurou uma menor resistência dos painéis (11,22 kgf/cm²) à tração perpendicular.

Os testes de médias de LI para a relação entre os métodos de preparo das partículas e os aditivos, são apresentados na Figura 5.14.

Figura 5.14 - Teste de Scott-Knott para ligação interna: desdobramento do método de preparo das partículas em relação aos aditivos.



Onde: médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, à 5% de significância.

Fonte: Autora.

Verifica-se que para os painéis cujo aditivo adicionado à massa foi o CaCl_2 , o melhor método de preparo das partículas foi a imersão de solução de sulfato de alumínio, contudo este método não diferiu do banho térmico, sendo que os dois foram seguidos pela testemunha.

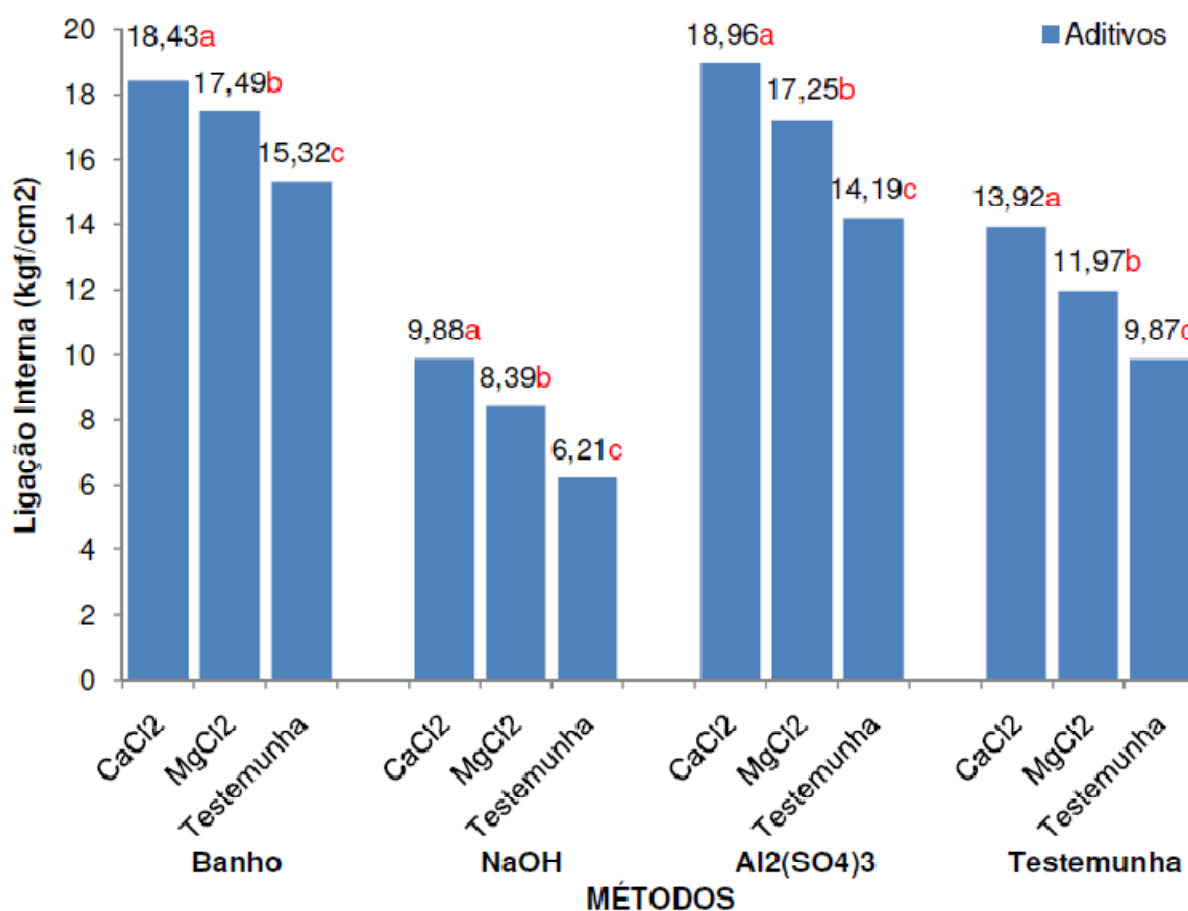
Para o aditivo MgCl_2 , o melhor preparo de partículas foi o banho térmico, não diferindo do sulfato de alumínio e seguidos pela testemunha. Para os painéis sem aditivos em sua composição o banho térmico foi o melhor preparo, seguido da imersão em solução de sulfato de alumínio e da testemunha.

Para todos os aditivos avaliados, inclusive para a testemunha, a imersão das partículas em solução de NaOH gerou os menores valores de LI.

Da mesma forma, Iwakiri et al. (2012), estudando a viabilidade do uso de embaúba (*Cecropia hololeuca*) na fabricação de painéis cimento:madeira, encontraram para o preparo de partículas com imersão em solução de NaOH os piores valores de LI ($6,42 \text{ kgf/cm}^2$), se comparados às partículas tratadas com água quente ($8,26 \text{ kgf/cm}^2$) ou mesmo à testemunha ($8,16 \text{ kgf/cm}^2$).

A Figura 5.15 traz os testes de médias de LI para a combinação dos aditivos com os métodos de preparo das partículas.

Figura 5.15 - Teste de Scott-Knott para ligação interna: desdobramento do aditivo em relação aos métodos de preparo das partículas.



Onde: médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, à 5% de significância.

Fonte: Autora.

Observa-se que, para todos os métodos de preparo das partículas, o comportamento de LI, dados os aditivos adicionados à massa, é o mesmo. Dessa forma, o melhor aditivo foi a CaCl₂, seguido do MgCl₂, seguido pela testemunha.

Esse mesmo comportamento foi observado por Castro et al. (2015) avaliando CaCl₂ e MgCl₂ como aditivos químicos na manufatura de painéis cimento:madeira com partículas de *Eucalyptus saligna* por prensagem e por vibrocompactação. Os autores encontraram valores de LI superiores para painéis com CaCl₂ em sua composição (4,28 kgf/cm² para painéis prensados e 7,95 kgf/cm² para vibrocompactados), valores intermediários para aqueles com MgCl₂ (2,45 kgf/cm² para painéis prensados e 6,02 kgf/cm² para vibrocompactados) e valores inferiores para os painéis sem aditivos (0,92 kgf/cm² para painéis prensados e 1,53 kgf/cm² para vibrocompactados).

5.4 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste estudo, é possível concluir que:

O tratamento das partículas de cinamomo com imersão em solução de NaOH gerou os menores resultados para módulo de elasticidade, módulo de ruptura, resistência ao arrancamento de parafusos e ligação interna dos painéis;

O uso de CaCl_2 e MgCl_2 como aditivos resultou nos melhores valores para módulo de elasticidade, módulo de ruptura, resistência ao arrancamento de parafusos e ligação interna dos painéis;

A proporção de madeira:cimento de 1:2,5, sendo a que continha maior quantidade de madeira em relação ao cimento, gerou painéis com os melhores resultados para módulo de elasticidade, módulo de ruptura, resistência ao arrancamento de parafusos e ligação interna;

No que se refere ao módulo de elasticidade, os tratamentos 2, 3, 5, 8, 9, 14 e 20 atendem aos requisitos estabelecidos pelo Processo Bison (BISON, 1978) para painéis cimento-madeira comerciais, estando as médias desses tratamentos acima do mínimo (30500 kgf/cm^2) recomendado pelo Processo;

No que diz respeito ao módulo de ruptura apenas os tratamentos 4, 19, 22 e 23 não se adequam à exigência mínima (91 kgf/cm^2) do Processo Bison (BISON, 1978) para painéis cimento-madeira comerciais.

REFERÊNCIAS

- ASTM. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-1037**: Standard test methods for evaluating properties of wood-based fiber and particle panel materials. Philadelphia, 1999.
- AZAMBUJA, R. R. et al. Particle size and lime addition on properties of wood-cement composites produced by the method of densification by vibro compaction. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 47, n 07, 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782017000700301&lng=pt&nrm=iso&tlng=en>. Acesso em: 2 out. 2017.
- AZAMBUJA, R. R. et al. Performance of two types of cement in production of cement bonded wood panels combined with rice hull. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 44, n. 4, p. 715-724, out./dez. 2014.
- BISON. **Wood-cement board**. New York: Springer, 1978. 10 p.
- CASTRO, V. G. **Espécies da Amazônia na produção de compósitos madeira-cimento por vibro-compactação**. 2015. 221 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.
- CASTRO, V. G. et al. Painéis de cimento-madeira de *Eucalyptus saligna* com diferentes aditivos químicos e métodos de formação. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 45, n. 2, p. 349-360, abr./jun. 2015.
- CECHIN, L. **Análise da viabilidade de produção de painéis de cimento reforçados com biomassa vegetal e escória de alto-forno**. 2017. 159 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2017.
- DE SÁ, et al. Manufatura de painéis cimento-madeira de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem var. *australis*) de diferentes procedências e idades. **Sci. For.**, Piracicaba, v. 8, n. 88, p. 559-566, dez. 2010.
- EL-JUHANY, L. I.; AREF, I.M.; WAKEEL, A. O. Evaluation of using some available lignocellulosic agricultural residues in manufacturing wood-cement boards in Saudi Arabia. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DATE PALM, 2003, Date Palm. **Proceedings...** Buraidah, 2003. p. 281 - 291.
- IWAKIRI, S.; PRATA, J. G. Utilização da madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii* na produção de painéis de cimento-madeira. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 1, p. 68-74, jan./mar. 2008.
- IWAKIRI, S. et al. Avaliação do potencial de utilização da madeira de *Schizolobium amazonicum* "Paricá" e *Cecropia hololeuca* "Embaúba" para a produção de painéis cimento-madeira. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 2, p. 303-308, abr./jun. 2012.

IWAKIRI, S. et al. Efeitos do tratamento de partículas e aceleradores de endurecimento na produção de painéis cimento-madeira de *Hevea brasiliensis*. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 47, n. 3, p. 289-296, jul./set., 2017a

IWAKIRI, S. et al. Potencial de uso de espécies de pinus tropicais para a produção de painéis cimento-madeira. **Sci. For.**, Piracicaba, v. 45, n. 113, p. 151-159, mar. 2017b.

IWAKIRI, S. et al. Propriedades tecnológicas de painéis cimento-madeira produzidos com partículas de eucalipto. **Rev. Ciên. Agrovet.**, Lages, v.14, n.3, p.217-223, 2015.

LATORRACA, J. V. F.; IWAKIRI, S. Efeitos do tratamento das partículas de *Eucalyptus dunnii* (Maiden), da variação da relação madeira-cimento e do uso de aditivos sobre as propriedades físicas e mecânicas de chapas de madeira-cimento. **Cerne**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 068-076, fev/mar. 2000.

LILGE, D.S. **Desempenho de duas espécies florestais em combinação com casca de arroz na fabricação de painéis cimento-madeira**. 2009. 90 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)–Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

MACÊDO, A. N.; SOUZA, A. C. C.; NETO, B. B. P. Chapas de cimento-madeira com resíduos da indústria madeireira da região Amazônica. **Amb. Constr.**, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 131-150, abr./jun. 2012.

MATOSKI, A.; IWAKIRI, S. Avaliação das propriedades físico-mecânicas de painéis de cimento-madeira utilizando farinha de madeira com granulometria controlada. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 37, n. 2, mai./ago. 2007.

MOSLEMI, A. A. **Particleboard**: Materials. 1. ed. London: Southern Illinois University Press. 1974. 245 p.

NASSER, R. A. et al. Effects of tree species and wood particle size on the properties of cement-bonded particleboard manufacturing from tree prunings. **J. Envir. Biol.**, Índia, v. 35, n. 1, p. 961-971, sept. 2014.

OKINO, E. Y. A., et al. Chapa aglomerada de cimento-madeira de *Hevea brasiliensis*. Müll. Arg. **Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 3, p. 451-457, 2004.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R**: A language and environment for statistical computing. 2012. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 8 nov. 2017.

RAHMAN, M. K. et al. Physical and mechanical properties of ghora neem (*Melia azedarach*) plywood. **Bangladesh J. Sci. Ind. Res.**, Bangladesh, v. 49, n.1, p. 47-52, 2014.

SANTOS, C. **Novas alternativas de testes de agrupamentos avaliadas por meio de simulação Monte Carlo**. 2000. 85 p. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

SANTOS, R. C. et al. Aproveitamento de resíduos da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus*) para a produção de painéis cimento-madeira. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 3, p. 241-250, jul./set. 2008.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, v. 30, n. 3, p. 507-512, sept. 1974.

TRIANOSKI, R. et al. Avaliação das propriedades de painéis compensados de *Melia azedarach* L. produzidos com diferentes gramaturas e tempos de prensagem. **Revista Árvore**, Viçosa, v.39, n.4, p.759-768, 2015.

VENSON, I. **Estudio de las propiedades de la madera de *Melia azedarach* Linn.** 2003. 119 p. Disertación (Maestro en Ciencia de Productos Forestales)-Universidad de Guadalajara, Guadalajara, 2003.

VIVAN, M. P. **Uso do cinamomo (*Melia azedarach*) como alternativa aos agroquímicos no controle do carrapato bovino (*Boophilus microplus*).** 2005. 72 p. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas)-Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

6 CONCLUSÃO GERAL

Os resultados obtidos neste estudo sobre o desempenho da madeira de *Melia azedarach* L. sob diferentes tratamentos de partículas, proporções de cimento e aditivos, na fabricação de painéis cimento-madeira, permitem concluir que:

O uso de tratamento de partículas de cinamomo com imersão em solução de NaOH não é recomendado para fabricação de painéis cimento-madeira, visto que afeta negativamente todas as propriedades físicas e mecânicas dos mesmos.

O aumento da quantidade de partículas de cinamomo em relação ao cimento presentes nas formulações dos painéis, dentro dos limites utilizados neste estudo, gera incremento das propriedades mecânicas dos mesmos. Contudo, maiores quantidades de madeira resultam em perdas no que se refere às propriedades físicas dos painéis e à resistência ao ataque de *Pycnopus sanguineus*.

O uso de aditivos (CaCl_2 e MgCl_2) na composição de painéis cimento-madeira com partículas de cinamomo representa aumento das propriedades físico-mecânicas e da resistência ao ataque de *Pycnopus sanguineus*.

7 RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados obtidos neste trabalho e nas perspectivas de estudos futuros, recomenda-se:

Qualificar os extrativos presentes na madeira de cinamomo in natura e nas partículas tratadas para fabricação de painéis cimento-madeira. Definindo assim quais os grupos de extrativos se encontrarão presentes nos diferentes tipos de partículas e analisando sua interação com o cimento;

Avaliar de forma criteriosa e individual a relação dos métodos de preparo das partículas em relação ao incremento das propriedades dos painéis;

Estudar novas proporções de madeira:cimento na composição de painéis cimento-madeira de cinamomo, com a finalidade de atingir a maior quantidade de madeira possível de ser adicionada às formulações sem afetar negativamente as propriedades dos compósitos;

Investigar novos aditivos em combinação com o cimento e a madeira de cinamomo, com a finalidade de definir o melhor aditivo para este uso;

Averiguar a taxa de inibição da madeira de cinamomo em relação ao cimento nas formulações dos painéis, identificando assim, quais as melhores composições.

ANEXOS

Anexo 3.1 - Valores verificados no ensaio de apodrecimento acelerado.

Método	Prop	Aditivo	Rep	Perda de massa (%)
Testemunha	a	Testemunha	I	2,62
Testemunha	a	Testemunha	II	3,45
Testemunha	a	Testemunha	III	3,13
Testemunha	a	Testemunha	IV	3,15
Testemunha	a	Testemunha	V	3,14
Testemunha	a	Testemunha	VI	3,48
Testemunha	a	Testemunha	VII	3,03
Testemunha	a	Testemunha	VIII	2,65
Testemunha	a	Testemunha	IX	3,35
Testemunha	a	Testemunha	X	2,55
Testemunha	a	Testemunha	XI	2,43
Testemunha	a	Testemunha	XII	2,67
Testemunha	a	Testemunha	XIII	2,9
Testemunha	a	Testemunha	XIV	3,39
Testemunha	a	Testemunha	XV	3,27
Testemunha	a	Testemunha	XVI	2,93
Testemunha	a	Testemunha	XVII	4,13
Testemunha	a	Testemunha	XVIII	2,97
Testemunha	a	Testemunha	XIX	2,46
Testemunha	a	Testemunha	XX	2,76
Testemunha	a	CaCl ₂	I	2,57
Testemunha	a	CaCl ₂	II	2,85
Testemunha	a	CaCl ₂	III	2,98
Testemunha	a	CaCl ₂	IV	2,74
Testemunha	a	CaCl ₂	V	2,55
Testemunha	a	CaCl ₂	VI	2,48
Testemunha	a	CaCl ₂	VII	2,57
Testemunha	a	CaCl ₂	VIII	2,61
Testemunha	a	CaCl ₂	IX	2,63
Testemunha	a	CaCl ₂	X	2,76
Testemunha	a	CaCl ₂	XI	2,72
Testemunha	a	CaCl ₂	XII	2,52
Testemunha	a	CaCl ₂	XIII	2,93
Testemunha	a	CaCl ₂	XIV	2,79
Testemunha	a	CaCl ₂	XV	2,45
Testemunha	a	CaCl ₂	XVI	3
Testemunha	a	CaCl ₂	XVII	2,83
Testemunha	a	CaCl ₂	XVIII	3,03
Testemunha	a	CaCl ₂	XIX	3,19
Testemunha	a	CaCl ₂	XX	3,28
Testemunha	a	MgCl ₂	I	3,3
Testemunha	a	MgCl ₂	II	3,27

Contin...				
Testemunha	A	MgCl2	III	4,08
Testemunha	A	MgCl2	IV	2,34
Testemunha	A	MgCl2	V	2,47
Testemunha	A	MgCl2	VI	2,59
Testemunha	A	MgCl2	VII	2,55
Testemunha	a	MgCl2	VIII	3,73
Testemunha	a	MgCl2	IX	2,7
Testemunha	a	MgCl2	X	3,14
Testemunha	a	MgCl2	XI	2,76
Testemunha	a	MgCl2	XII	2,89
Testemunha	a	MgCl2	XIII	2,82
Testemunha	a	MgCl2	XIV	2,6
Testemunha	a	MgCl2	XV	2,74
Testemunha	a	MgCl2	XVI	2,79
Testemunha	a	MgCl2	XVII	2,62
Testemunha	a	MgCl2	XVIII	2,53
Testemunha	a	MgCl2	XIX	3,23
Testemunha	a	MgCl2	XX	2,87
Testemunha	b	Testemunha	I	1,91
Testemunha	b	Testemunha	II	3,15
Testemunha	b	Testemunha	III	2,59
Testemunha	b	Testemunha	IV	2,42
Testemunha	b	Testemunha	V	2,66
Testemunha	b	Testemunha	VI	2,74
Testemunha	b	Testemunha	VII	2,73
Testemunha	b	Testemunha	VIII	2,88
Testemunha	b	Testemunha	IX	2,82
Testemunha	b	Testemunha	X	2,55
Testemunha	b	Testemunha	XI	2,87
Testemunha	b	Testemunha	XII	2,63
Testemunha	b	Testemunha	XIII	2,86
Testemunha	b	Testemunha	XIV	1,94
Testemunha	b	Testemunha	XV	3,56
Testemunha	b	Testemunha	XVI	2,43
Testemunha	b	Testemunha	XVII	3,26
Testemunha	b	Testemunha	XVIII	2,83
Testemunha	b	Testemunha	XIX	3,15
Testemunha	b	Testemunha	XX	3,59
Testemunha	b	CaCl2	I	2,57
Testemunha	b	CaCl2	II	2,14
Testemunha	b	CaCl2	III	2,17
Testemunha	b	CaCl2	IV	2,12
Testemunha	b	CaCl2	V	2,81
Testemunha	b	CaCl2	VI	2,56
Testemunha	b	CaCl2	VII	2,91

Contin...				
Testemunha	b	CaCl ₂	VIII	1,89
Testemunha	b	CaCl ₂	IX	2,18
Testemunha	b	CaCl ₂	X	2,72
Testemunha	b	CaCl ₂	XI	2,16
Testemunha	b	CaCl ₂	XII	3,24
Testemunha	b	CaCl ₂	XIII	2,2
Testemunha	b	CaCl ₂	XIV	2,12
Testemunha	b	CaCl ₂	XV	2,07
Testemunha	b	CaCl ₂	XVI	2,14
Testemunha	b	CaCl ₂	XVII	1,05
Testemunha	b	CaCl ₂	XVIII	1,82
Testemunha	b	CaCl ₂	XIX	2,72
Testemunha	b	CaCl ₂	XX	3,41
Testemunha	b	MgCl ₂	I	1,94
Testemunha	b	MgCl ₂	II	2,5
Testemunha	b	MgCl ₂	III	2,72
Testemunha	b	MgCl ₂	IV	2,63
Testemunha	b	MgCl ₂	V	1,96
Testemunha	b	MgCl ₂	VI	2,17
Testemunha	b	MgCl ₂	VII	2,04
Testemunha	b	MgCl ₂	VIII	2,02
Testemunha	b	MgCl ₂	IX	2,11
Testemunha	b	MgCl ₂	X	2,81
Testemunha	b	MgCl ₂	XI	2,67
Testemunha	b	MgCl ₂	XII	3,12
Testemunha	b	MgCl ₂	XIII	2,89
Testemunha	b	MgCl ₂	XIV	2,78
Testemunha	b	MgCl ₂	XV	2,44
Testemunha	b	MgCl ₂	XVI	2,14
Testemunha	b	MgCl ₂	XVII	2,14
Testemunha	b	MgCl ₂	XVIII	3,07
Testemunha	b	MgCl ₂	XIX	3,18
Testemunha	b	MgCl ₂	XX	2,3
Banho	a	Testemunha	I	1,65
Banho	a	Testemunha	II	1,64
Banho	a	Testemunha	III	1,81
Banho	a	Testemunha	IV	2,1
Banho	a	Testemunha	V	1,71
Banho	a	Testemunha	VI	2,7
Banho	a	Testemunha	VII	1,24
Banho	a	Testemunha	VIII	1,26
Banho	a	Testemunha	IX	2,31
Banho	a	Testemunha	X	2,05
Banho	a	Testemunha	XI	2,92
Banho	a	Testemunha	XII	2,82

Contin...

Banho	a	Testemunha	XIII	2,14
Banho	a	Testemunha	XIV	2,29
Banho	a	Testemunha	XV	2,37
Banho	a	Testemunha	XVI	2,53
Banho	a	Testemunha	XVII	1,82
Banho	a	Testemunha	XVIII	2,79
Banho	a	Testemunha	XIX	2,05
Banho	a	Testemunha	XX	2,55
Banho	a	CaCl ₂	I	2,04
Banho	a	CaCl ₂	II	2,13
Banho	a	CaCl ₂	III	1,09
Banho	a	CaCl ₂	IV	2,47
Banho	a	CaCl ₂	V	1,96
Banho	a	CaCl ₂	VI	1,41
Banho	a	CaCl ₂	VII	1,63
Banho	a	CaCl ₂	VIII	2,02
Banho	a	CaCl ₂	IX	2,54
Banho	a	CaCl ₂	X	1,28
Banho	a	CaCl ₂	XI	2,53
Banho	a	CaCl ₂	XII	2,15
Banho	a	CaCl ₂	XIII	1,5
Banho	a	CaCl ₂	XIV	2,37
Banho	a	CaCl ₂	XV	1,65
Banho	a	CaCl ₂	XVI	2,66
Banho	a	CaCl ₂	XVII	1,62
Banho	a	CaCl ₂	XVIII	1,57
Banho	a	CaCl ₂	XIX	2,62
Banho	a	CaCl ₂	XX	1,21
Banho	a	MgCl ₂	I	2,99
Banho	a	MgCl ₂	II	1,51
Banho	a	MgCl ₂	III	1,26
Banho	a	MgCl ₂	IV	1,36
Banho	a	MgCl ₂	V	1,8
Banho	a	MgCl ₂	VI	2,44
Banho	a	MgCl ₂	VII	2,24
Banho	a	MgCl ₂	VIII	1,94
Banho	a	MgCl ₂	IX	1,68
Banho	a	MgCl ₂	X	2
Banho	a	MgCl ₂	XI	2,51
Banho	a	MgCl ₂	XII	1,86
Banho	a	MgCl ₂	XIII	2,88
Banho	a	MgCl ₂	XIV	2,57
Banho	a	MgCl ₂	XV	2,37
Banho	a	MgCl ₂	XVI	1,98
Banho	a	MgCl ₂	XVII	1,98

Contin...

Banho	a	MgCl ₂	XVIII	1,74
Banho	a	MgCl ₂	XIX	2,85
Banho	a	MgCl ₂	XX	1,52
Banho	b	Testemunha	I	1,7
Banho	b	Testemunha	II	1,21
Banho	b	Testemunha	III	2,54
Banho	b	Testemunha	IV	1,41
Banho	b	Testemunha	V	1,91
Banho	b	Testemunha	VI	2,1
Banho	b	Testemunha	VII	2,27
Banho	b	Testemunha	VIII	2,63
Banho	b	Testemunha	IX	1,84
Banho	b	Testemunha	X	1,95
Banho	b	Testemunha	XI	1,81
Banho	b	Testemunha	XII	2,16
Banho	b	Testemunha	XIII	1,98
Banho	b	Testemunha	XIV	2,1
Banho	b	Testemunha	XV	2,56
Banho	b	Testemunha	XVI	2,72
Banho	b	Testemunha	XVII	2,04
Banho	b	Testemunha	XVIII	1,89
Banho	b	Testemunha	XIX	2,71
Banho	b	Testemunha	XX	2,43
Banho	b	CaCl ₂	I	2,16
Banho	b	CaCl ₂	II	2,35
Banho	b	CaCl ₂	III	1,36
Banho	b	CaCl ₂	IV	2,92
Banho	b	CaCl ₂	V	2,52
Banho	b	CaCl ₂	VI	1,24
Banho	b	CaCl ₂	VII	1,25
Banho	b	CaCl ₂	VIII	1,36
Banho	b	CaCl ₂	IX	1,47
Banho	b	CaCl ₂	X	1,19
Banho	b	CaCl ₂	XI	1,38
Banho	b	CaCl ₂	XII	2,11
Banho	b	CaCl ₂	XIII	2,78
Banho	b	CaCl ₂	XIV	1,03
Banho	b	CaCl ₂	XV	2,31
Banho	b	CaCl ₂	XVI	1,56
Banho	b	CaCl ₂	XVII	1,58
Banho	b	CaCl ₂	XVIII	1,9
Banho	b	CaCl ₂	XIX	2,58
Banho	b	CaCl ₂	XX	2,03
Banho	b	MgCl ₂	I	2,27
Banho	b	MgCl ₂	II	1,4

Contin...				
Banho	b	MgCl ₂	III	1,75
Banho	b	MgCl ₂	IV	1,67
Banho	b	MgCl ₂	V	1,6
Banho	b	MgCl ₂	VI	2,26
Banho	b	MgCl ₂	VII	2,28
Banho	b	MgCl ₂	VIII	1,46
Banho	b	MgCl ₂	IX	2,07
Banho	b	MgCl ₂	X	2,3
Banho	b	MgCl ₂	XI	2,04
Banho	b	MgCl ₂	XII	1,63
Banho	b	MgCl ₂	XIII	2,54
Banho	b	MgCl ₂	XIV	1,4
Banho	b	MgCl ₂	XV	2,64
Banho	b	MgCl ₂	XVI	2,73
Banho	b	MgCl ₂	XVII	1,45
Banho	b	MgCl ₂	XVIII	2,13
Banho	b	MgCl ₂	XIX	1,61
Banho	b	MgCl ₂	XX	2,53
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	Testemunha	I	2,49
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	Testemunha	II	1,62
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	Testemunha	III	2,38
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	Testemunha	IV	3,06
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	Testemunha	V	2,74
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	Testemunha	VI	2,28
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	Testemunha	VII	2,52
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	Testemunha	VIII	2,86
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	Testemunha	IX	3,04
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	Testemunha	X	1,95
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	Testemunha	XI	1,9
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	Testemunha	XII	2,23
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	Testemunha	XIII	2,56
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	Testemunha	XIV	1,68
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	Testemunha	XV	2,35
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	Testemunha	XVI	2,92
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	Testemunha	XVII	1,89
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	Testemunha	XVIII	3,25
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	Testemunha	XIX	2,62
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	Testemunha	XX	2,68
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	CaCl ₂	I	1,93
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	CaCl ₂	II	2,16
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	CaCl ₂	III	2,46
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	CaCl ₂	IV	2,96
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	CaCl ₂	V	2,41
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	CaCl ₂	VI	1,81
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	CaCl ₂	VII	1,82

Contin...

Al ₂ (SO ₄) ₃	a	CaCl ₂	VIII	1,65
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	CaCl ₂	IX	1,37
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	CaCl ₂	X	1,5
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	CaCl ₂	XI	2,13
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	CaCl ₂	XII	2,1
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	CaCl ₂	XIII	1,69
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	CaCl ₂	XIV	1,91
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	CaCl ₂	XV	2,68
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	CaCl ₂	XVI	2,58
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	CaCl ₂	XVII	1,54
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	CaCl ₂	XVIII	2,17
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	CaCl ₂	XIX	1,95
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	CaCl ₂	XX	1,97
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	MgCl ₂	I	2,34
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	MgCl ₂	II	2,61
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	MgCl ₂	III	1,59
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	MgCl ₂	IV	2,54
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	MgCl ₂	V	1,87
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	MgCl ₂	VI	2,43
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	MgCl ₂	VII	1,91
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	MgCl ₂	VIII	1,8
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	MgCl ₂	IX	1,66
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	MgCl ₂	X	2,24
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	MgCl ₂	XI	2,1
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	MgCl ₂	XII	2,16
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	MgCl ₂	XIII	2,13
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	MgCl ₂	XIV	2,4
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	MgCl ₂	XV	2,24
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	MgCl ₂	XVI	2,92
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	MgCl ₂	XVII	2,66
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	MgCl ₂	XVIII	2,4
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	MgCl ₂	XIX	2,56
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	MgCl ₂	XX	1,88
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	Testemunha	I	4
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	Testemunha	II	2,02
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	Testemunha	III	2,09
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	Testemunha	IV	2,36
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	Testemunha	V	2,12
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	Testemunha	VI	1,39
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	Testemunha	VII	2,27
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	Testemunha	VIII	1,72
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	Testemunha	IX	2,85
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	Testemunha	X	1,69
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	Testemunha	XI	3,07
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	Testemunha	XII	2,42

Contin...

Al ₂ (SO ₄) ₃	b	Testemunha	XIII	1,46
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	Testemunha	XIV	2,36
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	Testemunha	XV	2,02
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	Testemunha	XVI	1,5
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	Testemunha	XVII	2,12
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	Testemunha	XVIII	2,46
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	Testemunha	XIX	2,31
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	Testemunha	XX	3,14
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	CaCl ₂	I	2,18
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	CaCl ₂	II	1,76
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	CaCl ₂	III	2,61
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	CaCl ₂	IV	1,62
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	CaCl ₂	V	1,1
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	CaCl ₂	VI	1,63
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	CaCl ₂	VII	1,41
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	CaCl ₂	VIII	2,15
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	CaCl ₂	IX	1,22
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	CaCl ₂	X	1,71
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	CaCl ₂	XI	1,91
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	CaCl ₂	XII	2,31
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	CaCl ₂	XIII	2,07
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	CaCl ₂	XIV	1,26
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	CaCl ₂	XV	2,4
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	CaCl ₂	XVI	1,62
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	CaCl ₂	XVII	2,36
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	CaCl ₂	XVIII	1,67
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	CaCl ₂	XIX	2,34
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	CaCl ₂	XX	2,58
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	MgCl ₂	I	1,9
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	MgCl ₂	II	2,33
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	MgCl ₂	III	1,54
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	MgCl ₂	IV	2,47
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	MgCl ₂	V	1,89
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	MgCl ₂	VI	2,08
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	MgCl ₂	VII	2,58
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	MgCl ₂	VIII	1,95
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	MgCl ₂	IX	2,68
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	MgCl ₂	X	1,76
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	MgCl ₂	XI	2,47
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	MgCl ₂	XII	1,74
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	MgCl ₂	XIII	1,59
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	MgCl ₂	XIV	2,43
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	MgCl ₂	XV	2,25
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	MgCl ₂	XVI	2,74
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	MgCl ₂	XVII	2,4

Contin...				
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	MgCl ₂	XVIII	2,55
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	MgCl ₂	XIX	1,88
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	MgCl ₂	XX	1,98
NaOH	a	Testemunha	I	3,28
NaOH	a	Testemunha	II	2,68
NaOH	a	Testemunha	III	2,32
NaOH	a	Testemunha	IV	3,07
NaOH	a	Testemunha	V	2,6
NaOH	a	Testemunha	VI	2,76
NaOH	a	Testemunha	VII	3,09
NaOH	a	Testemunha	VIII	3,15
NaOH	a	Testemunha	IX	2,59
NaOH	a	Testemunha	X	2,57
NaOH	a	Testemunha	XI	3,29
NaOH	a	Testemunha	XII	3,23
NaOH	a	Testemunha	XIII	2,5
NaOH	a	Testemunha	XIV	3,21
NaOH	a	Testemunha	XV	3,14
NaOH	a	Testemunha	XVI	3,09
NaOH	a	Testemunha	XVII	2,59
NaOH	a	Testemunha	XVIII	3
NaOH	a	Testemunha	XIX	3,11
NaOH	a	Testemunha	XX	3,2
NaOH	a	CaCl ₂	I	2,44
NaOH	a	CaCl ₂	II	2,16
NaOH	a	CaCl ₂	III	3,01
NaOH	a	CaCl ₂	IV	2,77
NaOH	a	CaCl ₂	V	2,59
NaOH	a	CaCl ₂	VI	2,2
NaOH	a	CaCl ₂	VII	2,49
NaOH	a	CaCl ₂	VIII	2,17
NaOH	a	CaCl ₂	IX	2,35
NaOH	a	CaCl ₂	X	2,2
NaOH	a	CaCl ₂	XI	3,09
NaOH	a	CaCl ₂	XII	2,91
NaOH	a	CaCl ₂	XIII	2,34
NaOH	a	CaCl ₂	XIV	3,14
NaOH	a	CaCl ₂	XV	2,74
NaOH	a	CaCl ₂	XVI	3,18
NaOH	a	CaCl ₂	XVII	2,96
NaOH	a	CaCl ₂	XVIII	2,16
NaOH	a	CaCl ₂	XIX	2,58
NaOH	a	CaCl ₂	XX	3,11
NaOH	a	MgCl ₂	I	2,39
NaOH	a	MgCl ₂	II	2,64

Contin...

NaOH	a	MgCl ₂	III	3,49
NaOH	a	MgCl ₂	IV	2,76
NaOH	a	MgCl ₂	V	2,35
NaOH	a	MgCl ₂	VI	2,58
NaOH	a	MgCl ₂	VII	3,34
NaOH	a	MgCl ₂	VIII	3,06
NaOH	a	MgCl ₂	IX	3,29
NaOH	a	MgCl ₂	X	2,47
NaOH	a	MgCl ₂	XI	3,08
NaOH	a	MgCl ₂	XII	3,14
NaOH	a	MgCl ₂	XIII	2,41
NaOH	a	MgCl ₂	XIV	2,76
NaOH	a	MgCl ₂	XV	2,52
NaOH	a	MgCl ₂	XVI	2,91
NaOH	a	MgCl ₂	XVII	3,28
NaOH	a	MgCl ₂	XVIII	2,64
NaOH	a	MgCl ₂	XIX	2,77
NaOH	a	MgCl ₂	XX	2,95
NaOH	b	Testemunha	I	2,98
NaOH	b	Testemunha	II	2,26
NaOH	b	Testemunha	III	2,37
NaOH	b	Testemunha	IV	2,25
NaOH	b	Testemunha	V	2,62
NaOH	b	Testemunha	VI	2,55
NaOH	b	Testemunha	VII	2,27
NaOH	b	Testemunha	VIII	2,74
NaOH	b	Testemunha	IX	3,01
NaOH	b	Testemunha	X	2,47
NaOH	b	Testemunha	XI	2,44
NaOH	b	Testemunha	XII	3,02
NaOH	b	Testemunha	XIII	2,48
NaOH	b	Testemunha	XIV	2,72
NaOH	b	Testemunha	XV	2,95
NaOH	b	Testemunha	XVI	2,64
NaOH	b	Testemunha	XVII	2,84
NaOH	b	Testemunha	XVIII	2,94
NaOH	b	Testemunha	XIX	2,69
NaOH	b	Testemunha	XX	2,82
NaOH	b	CaCl ₂	I	2,58
NaOH	b	CaCl ₂	II	2,03
NaOH	b	CaCl ₂	III	2,48
NaOH	b	CaCl ₂	IV	2,21
NaOH	b	CaCl ₂	V	2,37
NaOH	b	CaCl ₂	VI	2,3
NaOH	b	CaCl ₂	VII	2,26

Contin...				
NaOH	b	CaCl ₂	VIII	2,47
NaOH	b	CaCl ₂	IX	1,82
NaOH	b	CaCl ₂	X	1,83
NaOH	b	CaCl ₂	XI	1,99
NaOH	b	CaCl ₂	XII	2,35
NaOH	b	CaCl ₂	XIII	2,56
NaOH	b	CaCl ₂	XIV	2,09
NaOH	b	CaCl ₂	XV	2,69
NaOH	b	CaCl ₂	XVI	1,72
NaOH	b	CaCl ₂	XVII	2,38
NaOH	b	CaCl ₂	XVIII	2,55
NaOH	b	CaCl ₂	XIX	2,06
NaOH	b	CaCl ₂	XX	1,85
NaOH	b	MgCl ₂	I	2,65
NaOH	b	MgCl ₂	II	2,1
NaOH	b	MgCl ₂	III	1,8
NaOH	b	MgCl ₂	IV	2,34
NaOH	b	MgCl ₂	V	1,94
NaOH	b	MgCl ₂	VI	2,55
NaOH	b	MgCl ₂	VII	2,37
NaOH	b	MgCl ₂	VIII	2,2
NaOH	b	MgCl ₂	IX	2,52
NaOH	b	MgCl ₂	X	1,89
NaOH	b	MgCl ₂	XI	2,14
NaOH	b	MgCl ₂	XII	2,7
NaOH	b	MgCl ₂	XIII	2,38
NaOH	b	MgCl ₂	XIV	2,14
NaOH	b	MgCl ₂	XV	3,08
NaOH	b	MgCl ₂	XVI	2,17
NaOH	b	MgCl ₂	XVII	2,04
NaOH	b	MgCl ₂	XVIII	1,99
NaOH	b	MgCl ₂	XIX	3,02
NaOH	b	MgCl ₂	XX	2,57

Onde: Método = método de preparo das partículas; Prop = proporção madeira:cimento; Rep = repetições, a = 1:2,5; b = 1:3,0.

Fonte: Autora.

Anexo 4.1 - Valores verificados nos ensaios físicos dos painéis.

Método	Prop	Aditivo	Rep	Abs 2 hs	Abs 24 hs	Inch 2 hs	Inch 24 hs	Igniç
Testem	a	Testem	I	18,73	23,63	1,62	2,35	14
Testem	a	Testem	II	17,68	22,09	2,30	3,54	12
Testem	a	Testem	III	18,77	23,75	1,93	2,48	13
Testem	a	Testem	IV	19,64	24,41	2,22	3,01	14
Testem	a	Testem	V	18,92	24,09	2,64	3,64	14
Testem	a	Testem	VI	18,33	23,39	2,08	3,82	15
Testem	a	Testem	VII	21,02	26,61	2,56	3,98	12
Testem	a	Testem	VIII	21,43	26,61	2,80	4,06	13
Testem	a	Testem	IX	21,08	26,22	2,28	3,89	12
Testem	a	Testem	X	20,42	25,63	2,19	3,55	15
Testem	a	CaCl2	I	11,65	16,33	1,65	2,09	28
Testem	a	CaCl2	II	10,50	16,55	1,26	1,31	23
Testem	a	CaCl2	III	11,82	16,71	0,83	2,05	22
Testem	a	CaCl2	IV	11,91	16,94	0,60	1,00	23
Testem	a	CaCl2	V	12,33	18,77	0,20	0,60	20
Testem	a	CaCl2	VI	10,72	16,70	0,57	1,34	27
Testem	a	CaCl2	VII	13,23	18,41	0,85	1,56	30
Testem	a	CaCl2	VIII	11,04	17,16	1,11	1,32	16
Testem	a	CaCl2	IX	14,42	19,00	0,44	0,88	16
Testem	a	CaCl2	X	14,63	19,54	1,63	1,98	17
Testem	a	MgCl2	I	15,32	19,74	2,13	3,24	16
Testem	a	MgCl2	II	14,01	20,20	1,41	2,27	15
Testem	a	MgCl2	III	11,80	17,11	1,87	2,54	15
Testem	a	MgCl2	IV	13,31	18,26	1,91	2,11	18
Testem	a	MgCl2	V	13,97	18,27	1,27	2,74	16
Testem	a	MgCl2	VI	13,83	18,30	2,23	3,55	18
Testem	a	MgCl2	VII	14,12	18,67	2,44	3,38	15
Testem	a	MgCl2	VIII	13,46	17,98	2,33	3,09	18
Testem	a	MgCl2	IX	13,79	18,34	2,70	3,30	14
Testem	a	MgCl2	X	14,41	19,35	1,55	2,38	17
Testem	b	Testem	I	15,29	18,11	1,70	2,68	14
Testem	b	Testem	II	15,45	18,57	2,89	3,80	14
Testem	b	Testem	III	18,40	21,25	1,43	2,73	13
Testem	b	Testem	IV	15,28	18,35	2,58	3,87	13
Testem	b	Testem	V	18,84	21,46	1,83	2,48	17
Testem	b	Testem	VI	19,25	22,55	2,01	3,19	16
Testem	b	Testem	VII	16,65	19,88	1,50	2,27	17
Testem	b	Testem	VIII	16,32	19,46	2,20	2,54	15
Testem	b	Testem	IX	17,54	20,88	2,91	3,08	17
Testem	b	Testem	X	16,42	19,14	3,12	3,94	13
Testem	b	CaCl2	I	11,54	15,27	0,03	0,77	35
Testem	b	CaCl2	II	10,51	14,31	0,16	0,60	24

Contin...								
Testem	b	CaCl ₂	III	13,71	17,22	0,32	0,47	33
Testem	b	CaCl ₂	IV	13,95	17,76	0,63	0,79	23
Testem	b	CaCl ₂	V	11,93	15,79	0,42	0,88	30
Testem	b	CaCl ₂	VI	11,10	15,47	0,47	0,59	23
Testem	b	CaCl ₂	VII	10,63	15,49	0,15	0,53	39
Testem	b	CaCl ₂	VIII	13,10	16,93	0,05	1,02	38
Testem	b	CaCl ₂	IX	11,99	15,62	0,17	0,88	35
Testem	b	CaCl ₂	X	11,72	15,40	0,15	0,62	22
Testem	b	MgCl ₂	I	12,60	15,92	1,60	2,13	30
Testem	b	MgCl ₂	II	13,61	16,77	1,05	2,01	25
Testem	b	MgCl ₂	III	13,78	17,32	1,36	1,75	20
Testem	b	MgCl ₂	IV	12,78	16,62	1,94	2,85	26
Testem	b	MgCl ₂	V	12,11	15,99	1,04	1,56	25
Testem	b	MgCl ₂	VI	13,52	17,47	1,71	2,34	24
Testem	b	MgCl ₂	VII	12,45	16,75	1,33	3,09	23
Testem	b	MgCl ₂	VIII	9,80	14,91	1,13	1,86	16
Testem	b	MgCl ₂	IX	10,50	13,84	2,01	2,25	25
Testem	b	MgCl ₂	X	13,91	18,10	1,85	2,03	21
Banho	a	Testem	I	17,32	21,96	2,21	3,55	26
Banho	a	Testem	II	17,50	22,34	5,21	5,71	25
Banho	a	Testem	III	17,24	22,01	5,18	5,67	23
Banho	a	Testem	IV	14,72	20,63	3,41	4,17	26
Banho	a	Testem	V	16,82	20,03	2,90	4,07	26
Banho	a	Testem	VI	17,94	21,33	3,24	4,33	23
Banho	a	Testem	VII	14,46	18,75	2,94	4,28	24
Banho	a	Testem	VIII	19,23	23,92	3,11	3,13	24
Banho	a	Testem	IX	17,64	22,22	3,16	3,57	26
Banho	a	Testem	X	18,99	22,61	3,42	3,64	26
Banho	a	CaCl ₂	I	13,09	17,90	0,07	0,76	33
Banho	a	CaCl ₂	II	12,50	17,49	1,28	1,35	22
Banho	a	CaCl ₂	III	13,31	18,50	0,41	0,78	24
Banho	a	CaCl ₂	IV	14,20	18,94	0,13	1,01	25
Banho	a	CaCl ₂	V	12,98	18,14	0,24	1,32	19
Banho	a	CaCl ₂	VI	12,45	17,31	0,83	1,50	25
Banho	a	CaCl ₂	VII	11,67	16,99	0,71	1,50	24
Banho	a	CaCl ₂	VIII	11,95	16,79	0,17	0,52	30
Banho	a	CaCl ₂	IX	14,57	20,41	0,20	1,23	23
Banho	a	CaCl ₂	X	14,90	20,61	0,13	1,18	32
Banho	a	MgCl ₂	I	13,37	18,54	1,27	1,62	29
Banho	a	MgCl ₂	II	14,55	19,60	1,24	2,54	32
Banho	a	MgCl ₂	III	13,55	18,87	1,59	2,32	33
Banho	a	MgCl ₂	IV	15,89	20,85	2,01	2,20	25
Banho	a	MgCl ₂	V	13,65	18,70	2,62	3,62	25
Banho	a	MgCl ₂	VI	14,38	19,64	1,53	1,55	19
Banho	a	MgCl ₂	VII	14,21	19,67	1,82	2,82	17

Contin...								
Banho	a	MgCl ₂	VIII	11,79	17,18	2,24	2,72	35
Banho	a	MgCl ₂	IX	15,17	20,42	1,67	2,05	22
Banho	a	MgCl ₂	X	12,51	17,86	1,19	1,52	18
Banho	b	Testem	I	16,70	20,78	1,21	2,84	28
Banho	b	Testem	II	17,96	22,09	2,05	2,41	29
Banho	b	Testem	III	17,53	21,37	1,64	1,90	24
Banho	b	Testem	IV	17,27	21,11	1,44	2,92	25
Banho	b	Testem	V	15,35	18,88	2,46	3,97	26
Banho	b	Testem	VI	15,48	18,87	1,49	3,21	33
Banho	b	Testem	VII	15,92	19,76	2,36	2,64	30
Banho	b	Testem	VIII	15,33	18,99	2,42	2,66	28
Banho	b	Testem	IX	17,05	20,74	1,83	2,91	26
Banho	b	Testem	X	16,23	19,85	1,38	2,09	31
Banho	b	CaCl ₂	I	11,50	16,07	0,55	1,73	28
Banho	b	CaCl ₂	II	10,46	15,52	0,36	0,79	30
Banho	b	CaCl ₂	III	11,34	15,43	0,44	1,25	35
Banho	b	CaCl ₂	IV	12,85	16,66	0,35	1,00	28
Banho	b	CaCl ₂	V	11,97	15,24	0,54	1,19	37
Banho	b	CaCl ₂	VI	12,63	15,21	0,24	1,94	37
Banho	b	CaCl ₂	VII	14,79	18,42	0,41	1,05	27
Banho	b	CaCl ₂	VIII	13,03	17,05	0,93	1,16	34
Banho	b	CaCl ₂	IX	14,33	18,77	0,62	1,11	27
Banho	b	CaCl ₂	X	13,20	17,36	0,47	1,00	35
Banho	b	MgCl ₂	I	13,08	16,89	1,04	1,61	33
Banho	b	MgCl ₂	II	11,67	15,85	1,20	2,72	28
Banho	b	MgCl ₂	III	13,48	17,36	0,88	1,90	27
Banho	b	MgCl ₂	IV	14,30	18,09	1,98	2,34	32
Banho	b	MgCl ₂	V	14,87	18,95	1,93	3,37	27
Banho	b	MgCl ₂	VI	13,40	17,11	1,54	2,55	28
Banho	b	MgCl ₂	VII	14,57	19,12	0,82	1,12	27
Banho	b	MgCl ₂	VIII	15,45	19,75	0,91	2,61	30
Banho	b	MgCl ₂	IX	15,86	20,17	0,89	1,29	31
Banho	b	MgCl ₂	X	13,35	17,57	0,56	1,33	28
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	Testem	I	16,39	20,94	2,27	4,09	17
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	Testem	II	18,04	22,79	2,82	4,64	10
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	Testem	III	17,50	22,61	2,22	3,21	10
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	Testem	IV	19,24	24,37	3,33	5,46	15
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	Testem	V	20,02	26,15	3,67	4,19	11
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	Testem	VI	19,38	25,61	2,36	3,59	12
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	Testem	VII	18,52	24,58	2,25	3,68	13
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	Testem	VIII	16,93	22,20	2,71	3,56	17
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	Testem	IX	20,03	25,56	2,69	3,13	10
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	Testem	X	17,50	22,97	2,21	2,92	12
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	CaCl ₂	I	12,03	15,76	0,66	1,41	24
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	CaCl ₂	II	11,32	14,72	1,44	2,60	16

Contin...

Al ₂ (SO ₄) ₃	A	CaCl ₂	III	11,79	15,48	1,14	2,36	28
Al ₂ (SO ₄) ₃	A	CaCl ₂	IV	10,17	14,30	0,27	1,71	25
Al ₂ (SO ₄) ₃	A	CaCl ₂	V	13,24	17,85	1,05	2,36	17
Al ₂ (SO ₄) ₃	A	CaCl ₂	VI	11,51	15,99	0,39	1,70	20
Al ₂ (SO ₄) ₃	A	CaCl ₂	VII	11,40	15,91	1,13	2,81	20
Al ₂ (SO ₄) ₃	A	CaCl ₂	VIII	10,10	15,35	0,21	1,56	18
Al ₂ (SO ₄) ₃	A	CaCl ₂	IX	12,69	17,66	0,92	1,68	16
Al ₂ (SO ₄) ₃	A	CaCl ₂	X	13,32	18,18	0,83	1,95	21
Al ₂ (SO ₄) ₃	A	MgCl ₂	I	13,27	17,18	2,55	2,60	30
Al ₂ (SO ₄) ₃	A	MgCl ₂	II	14,02	18,03	2,86	3,77	19
Al ₂ (SO ₄) ₃	A	MgCl ₂	III	13,05	17,18	3,11	3,64	18
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	MgCl ₂	IV	13,31	17,27	3,54	4,23	30
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	MgCl ₂	V	14,14	18,22	2,36	4,92	21
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	MgCl ₂	VI	14,26	18,66	1,09	2,34	20
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	MgCl ₂	VII	13,83	18,21	1,36	2,61	17
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	MgCl ₂	VIII	14,13	18,18	1,87	3,36	14
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	MgCl ₂	IX	14,75	19,22	1,91	2,81	22
Al ₂ (SO ₄) ₃	a	MgCl ₂	X	14,47	19,07	2,89	2,99	14
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	Testem	I	13,45	18,36	2,31	3,02	11
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	Testem	II	19,39	22,24	2,78	3,54	11
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	Testem	III	14,32	18,90	2,51	3,95	10
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	Testem	IV	15,39	19,90	3,24	4,46	15
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	Testem	V	16,04	20,60	1,67	2,15	11
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	Testem	VI	17,42	21,07	1,46	2,69	10
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	Testem	VII	14,63	18,82	2,13	3,21	16
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	Testem	VIII	13,94	17,97	1,45	2,72	18
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	Testem	IX	14,60	18,68	1,68	2,48	12
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	Testem	X	13,01	17,11	2,87	3,87	11
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	CaCl ₂	I	11,49	15,06	0,63	1,85	10
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	CaCl ₂	II	11,16	15,20	1,08	2,40	11
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	CaCl ₂	III	10,38	13,71	0,42	1,25	11
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	CaCl ₂	IV	12,27	15,20	0,38	1,12	12
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	CaCl ₂	V	11,08	15,26	1,74	2,48	9
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	CaCl ₂	VI	9,80	14,04	1,07	2,75	11
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	CaCl ₂	VII	10,85	14,28	1,08	2,62	15
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	CaCl ₂	VIII	9,11	14,20	0,31	1,48	18
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	CaCl ₂	IX	12,22	16,74	0,93	1,23	15
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	CaCl ₂	X	10,15	14,92	1,78	2,29	9
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	MgCl ₂	I	14,88	17,61	1,06	2,00	13
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	MgCl ₂	II	14,64	17,52	1,91	2,69	11
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	MgCl ₂	III	11,76	15,59	0,85	1,00	12
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	MgCl ₂	IV	13,63	16,99	0,28	1,80	12
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	MgCl ₂	V	13,47	16,44	1,62	2,96	14
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	MgCl ₂	VI	12,58	15,90	1,54	2,23	12
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	MgCl ₂	VII	14,28	17,73	1,77	2,74	19

Contin...

Al ₂ (SO ₄) ₃	b	MgCl ₂	VIII	13,35	16,44	1,78	2,94	11
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	MgCl ₂	IX	14,56	17,49	1,80	2,64	10
Al ₂ (SO ₄) ₃	b	MgCl ₂	X	15,46	19,04	1,34	2,60	16
NaOH	a	Testem	I	41,80	45,48	4,45	6,22	11
NaOH	a	Testem	II	38,11	41,43	4,34	6,83	13
NaOH	a	Testem	III	36,62	39,90	3,23	5,50	12
NaOH	a	Testem	IV	35,32	38,48	4,70	6,13	5
NaOH	a	Testem	V	32,44	35,56	4,24	5,58	8
NaOH	a	Testem	VI	32,75	36,42	4,99	6,14	10
NaOH	a	Testem	VII	33,47	36,31	3,89	5,58	7
NaOH	a	Testem	VIII	32,04	34,58	4,04	6,53	8
NaOH	a	Testem	IX	38,57	41,50	4,58	6,30	5
NaOH	a	Testem	X	40,97	44,63	4,60	5,38	5
NaOH	a	CaCl ₂	I	18,27	20,59	4,23	5,25	8
NaOH	a	CaCl ₂	II	18,33	20,94	3,75	4,29	7
NaOH	a	CaCl ₂	III	18,55	20,95	2,60	3,94	6
NaOH	a	CaCl ₂	IV	12,62	16,14	2,37	3,92	7
NaOH	a	CaCl ₂	V	16,38	19,63	2,14	4,07	9
NaOH	a	CaCl ₂	VI	19,13	21,87	2,74	3,33	12
NaOH	a	CaCl ₂	VII	18,94	21,74	2,95	3,02	8
NaOH	a	CaCl ₂	VIII	14,35	17,36	2,62	4,21	7
NaOH	a	CaCl ₂	IX	18,48	21,56	3,25	4,05	13
NaOH	a	CaCl ₂	X	12,94	16,33	3,04	4,79	10
NaOH	a	MgCl ₂	I	19,99	22,23	2,81	3,48	6
NaOH	a	MgCl ₂	II	21,11	23,72	3,47	3,90	9
NaOH	a	MgCl ₂	III	19,01	21,13	3,80	4,14	9
NaOH	a	MgCl ₂	IV	19,13	21,39	3,57	3,92	15
NaOH	a	MgCl ₂	V	18,38	20,43	2,07	2,20	14
NaOH	a	MgCl ₂	VI	20,26	22,49	2,76	3,03	11
NaOH	a	MgCl ₂	VII	23,22	25,72	2,98	4,59	10
NaOH	a	MgCl ₂	VIII	23,38	25,97	3,42	4,32	9
NaOH	a	MgCl ₂	IX	23,41	25,82	3,99	4,99	7
NaOH	a	MgCl ₂	X	22,78	24,60	3,19	4,95	8
NaOH	b	Testem	I	32,78	36,00	4,36	5,07	8
NaOH	b	Testem	II	30,89	33,50	5,67	6,93	7
NaOH	b	Testem	III	31,98	33,45	4,66	5,34	6
NaOH	b	Testem	IV	31,19	32,87	4,14	5,01	16
NaOH	b	Testem	V	31,59	33,84	4,83	5,34	17
NaOH	b	Testem	VI	26,52	29,04	4,81	5,36	8
NaOH	b	Testem	VII	30,57	33,21	5,30	6,09	7
NaOH	b	Testem	VIII	28,68	30,54	4,97	5,47	10
NaOH	b	Testem	IX	31,32	34,20	4,13	5,60	6
NaOH	b	Testem	X	32,90	36,38	4,66	6,07	18
NaOH	b	CaCl ₂	I	14,46	16,17	2,90	3,30	11
NaOH	b	CaCl ₂	II	14,75	16,49	1,00	2,96	12

Contin...

NaOH	B	CaCl ₂	III	17,47	18,92	2,02	3,40	15
NaOH	B	CaCl ₂	IV	17,21	19,45	2,22	3,04	9
NaOH	B	CaCl ₂	V	17,47	20,41	1,21	2,34	10
NaOH	B	CaCl ₂	VI	18,60	20,84	1,14	2,18	13
NaOH	B	CaCl ₂	VII	15,16	17,41	1,30	2,36	7
NaOH	B	CaCl ₂	VIII	16,65	18,53	1,33	2,54	10
NaOH	B	CaCl ₂	IX	16,53	19,03	3,15	4,32	9
NaOH	B	CaCl ₂	X	18,49	21,75	2,09	3,50	14
NaOH	B	MgCl ₂	I	18,19	20,38	3,48	4,33	15
NaOH	b	MgCl ₂	II	19,08	21,54	2,16	3,02	13
NaOH	b	MgCl ₂	III	15,62	17,71	2,23	3,98	8
NaOH	b	MgCl ₂	IV	15,13	17,17	2,75	3,65	14
NaOH	b	MgCl ₂	V	21,42	24,43	2,49	3,26	9
NaOH	b	MgCl ₂	VI	19,46	22,11	2,39	3,67	11
NaOH	b	MgCl ₂	VII	18,96	21,42	4,52	5,11	15
NaOH	b	MgCl ₂	VIII	21,41	24,42	3,09	4,76	9
NaOH	b	MgCl ₂	IX	18,92	21,30	4,07	5,41	9
NaOH	b	MgCl ₂	X	22,70	24,87	4,29	5,54	8

Onde: Método = método de preparo das partículas; Prop = proporção de madeira:cimento; Aditivo = tipo de aditivo; Rep = repetição; Abs 2 hs = absorção de água em 2 hs (%); Abs 24 hs = absorção de água em 24 horas (%); Inch 2 hs = inchamento em 2 hs (%); Inch 24 hs = inchamento em 24 horas (%); Igniç = tempo de ignição (s); Testem = testemunha; a = 1:2,5; b = 1:3,0.

Fonte: Autora.

Anexo 4.2 - Desdobramento 1 da interação dupla da análise de variância de absorção de água (2 hs) dos painéis: método de preparo das partículas em relação aos aditivos.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Método*Aditivo (CaCl₂)	3	1,73788	0,57929	62,948	0
Método*Aditivo (MgCl₂)	3	2,23121	0,74374	80,817	0
Método* Aditivo (testemunha)	3	6,66700	2,22233	2,414864	0
Resíduo	216	1,98779	0,00920		

Onde: método = método de preparo das partículas; aditivo = tipo de aditivo.

Fonte: Autora.

Anexo 4.3 - Desdobramento 2 da interação dupla da análise de variância de absorção de água (2 hs) dos painéis: aditivo em relação aos métodos de preparo das partículas.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Aditivo*Método (Banho)	2	0,76048	0,38024	41,3182	0
Aditivo*Método (NaOH)	2	5,20577	2,60289	282,8388	0
Aditivo*Método (Al₂(SO₄)₃)	2	1,53411	0,76705	83,3506	0
Aditivo*Método (Testemunha)	2	1,88717	0,94358	102,5332	0
Resíduo	216	1,98779	0,00920		

Onde: aditivo = tipo de aditivo; método = método de preparo das partículas.

Fonte: Autora.

Anexo 4.4 - Desdobramento 3 da interação dupla da análise de variância de absorção de água (2 hs) dos painéis: proporção de madeira:cimento em relação aos aditivos.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Proporção*Aditivo (CaCl₂)	1	0,02440	0,02440	2,6511	0,1049
Proporção*Aditivo (MgCl₂)	1	0,05246	0,05246	5,7008	0,0178
Proporção* Aditivo (testemunha)	1	0,35989	0,35989	39,1067	0
Resíduo	216	1,98779	0,00920		

Onde: aditivo = tipo de aditivo; proporção = proporção madeira:cimento; aditivo: tipo de aditivo.

Fonte: Autora.

Anexo 4.5 - Desdobramento 4 da interação dupla da análise de variância de absorção de água (2 hs) dos painéis: aditivo em relação às proporções de madeira:cimento.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Aditivo*Proporção (1:2,5)	2	5,08586	2,54293	276,3236	0
Aditivo*Proporção (1:3,0)	2	3,18725	1,59362	173,1688	0
Resíduo	216	1,98779	0,00920		

Onde: aditivo: tipo de aditivo; proporção = proporção madeira:cimento; aditivo: tipo de aditivo.

Fonte: Autora.

Anexo 4.6 - Desdobramento 1 da interação dupla da análise de variância da absorção de água (24 hs) dos painéis: método de preparo em relação às proporções de madeira:cimento.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Método*Proporção (1:2,5)	3	0,00293	0,00098	68,3333	0
Método*Proporção (1:3,0)	3	0,00431	0,00144	100,5767	0
Resíduo	216	0,00309	0,00001		

Onde: método = método de preparo das partículas; 1:2,5 e 1:3,0 = proporções de madeira:cimento.

Fonte: Autora.

Anexo 4.7 - Desdobramento 2 da interação dupla da análise de variância da absorção de água (24 hs) dos painéis: proporção de madeira:cimento em relação aos métodos de preparo das partículas.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Proporção*Método (Banho)	1	0,00021	0,00021	14,9507	1e-04
Proporção*Método (NaOH)	1	0,00017	0,00017	11,9716	7e-04
Proporção*Método (Al₂(SO₄)₃)	1	0,00050	0,00050	34,9222	0
Proporção*Método (Testemunha)	1	0,00081	0,00081	56,8082	0
Resíduo	216	0,00309	0,00001		

Onde: proporção = proporção de madeira:cimento; método = método de preparo das partículas.

Fonte: Autora.

Anexo 4.8 - Desdobramento 3 da interação dupla da análise de variância da absorção de água (24 hs) dos painéis: método de preparo das partículas em relação aos aditivos.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Método*Aditivo (CaCl₂)	3	0,00146	0,00049	33,9732	0
Método*Aditivo (MgCl₂)	3	0,00181	0,00060	42,0896	0
Método*Aditivo (testemunha)	3	0,00510	0,00170	118,9233	0
Resíduo	216	0,00309	0,0001		

Onde: método = método de preparo das partículas; aditivo = tipo de aditivo.

Fonte: Autora.

Anexo 4.9 - Desdobramento 4 da interação dupla da análise de variância da absorção de água (24 hs) dos painéis: aditivo em relação aos métodos de preparo das partículas.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Aditivo*Método (Banho)	2	0,00087	0,00043	30,3561	0
Aditivo*Método (NaOH)	2	0,00587	0,00293	205,196	0
Aditivo*Método (Al₂(SO₄)₃)	2	0,00287	0,00144	100,4581	0
Aditivo*Método (Testemunha)	2	0,00218	0,00109	76,226	0
Resíduo	216	0,00309	0,00001		

Onde: aditivo = tipo de aditivo; método = método de preparo das partículas.

Fonte: Autora.

Anexo 4.10 - Desdobramento 1 da interação tripla da análise de variância do inchamento em espessura (2hs) dos painéis: método de preparo das partículas em relação às proporções de madeira:cimento e aos aditivos.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Método*1:2,5*Aditivo (CaCl₂)	3	5,19137	1,7304563	51,70059	0
Método*1:2,5*Aditivo (MgCl₂)	3	1,12367	0,3745564	11,190569	1e-06
Método*1:2,5*Aditivo (testemunha)	3	1,71269	0,5708953	17,056556	0
Método*1:3,0*Aditivo (CaCl₂)	3	2,44252	0,8141748	24,324981	0
Método*1:3,0*Aditivo (MgCl₂)	3	2,63077	0,8769225	26,199686	0
Método*1:3,0*Aditivo (testemunha)	3	3,82125	1,2737513	38,055683	0
Resíduo	216	7,22968	0,0334707		

Onde: 1:2,5 e 1:3,0 = proporções de madeira:cimento; método = método de preparo das partículas; aditivo = tipo de aditivo.

Fonte: Autora.

Anexo 4.11 - Desdobramento 2 da interação tripla da análise de variância do inchamento em espessura (2hs) dos painéis: proporção de madeira:cimento em relação aos métodos de preparo das partículas e aos aditivos.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Proporção*Método (banho)*Aditivo (CaCl₂)	1	0,01672074	0,01672074	0,499563	0,48045
Proporção*Método (banho)*Aditivo (MgCl₂)	1	0,21428014	0,21428014	6,402017	0,01211
Proporção*Método (banho)*Aditivo (testemunha)	1	1,11988203	1,11988203	33,45855	0
Proporção*Método (NaOH)*Aditivo (CaCl₂)	1	0,62560534	0,62560534	18,69112	2,3e-05
Proporção*Método (NaOH)*Aditivo (MgCl₂)	1	0,00267883	0,00267883	0,080035	0,77752

Contin...

Proporção*Método					
(NaOH)*Aditivo (testemunha)	1	0,05157698	0,05157698	1,540958	0,21582
Proporção*Método					
(Al₂(SO₄)₃)*Aditivo (CaCl₂)	1	0,01656747	0,01656747	0,494984	0,48247
Proporção*Método					
(Al₂(SO₄)₃)*Aditivo (MgCl₂)	1	0,51638805	0,51638805	15,42805	0,00012
Proporção*Método					
(Al₂(SO₄)₃)*Aditivo (testemunha)	1	0,09546326	0,09546326	2,852142	0,09270
Proporção*Método					
(Testemunha)*Aditivo (CaCl₂)	1	0,54689021	0,54689021	16,33936	7,4e-05
Proporção*Método					
(Testemunha)*Aditivo (MgCl₂)	1	0,13595652	0,13595652	4,061953	0,04510
Proporção*Método					
(Testemunha)*Aditivo					
(testemunha)	1	0,00223048	0,00223048	0,06664	0,79654
Resíduo	216	7,22967676	0,03347073		

Onde: proporção = proporção de madeira:cimento; método = método de preparo das partículas; aditivo = tipo de aditivo.

Fonte: Autora.

Anexo 4.12 - Desdobramento 3 da interação tripla da análise de variância do inchamento em espessura (2hs) dos painéis: aditivo em relação aos métodos de preparo das partículas e às proporções madeira:cimento.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Aditivo*Método (banho)*1:2,5	2	5,8588583	2,92942914	87,52213	0
Aditivo*Método (banho)*1:3,0	2	1,5233927	0,76169636	22,75709	0
Aditivo*Método (NaOH)*1:2,5	2	0,6478514	0,32392571	9,677881	9,4e-05
Aditivo*Método (NaOH)*1:3,0	2	3,1556341	1,57781703	47,14021	0
Aditivo*Método (Al₂(SO₄)₃)*1:2,5	2	2,5768258	1,28841288	38,49372	0
Aditivo*Método (Al₂(SO₄)₃)*1:3,0	2	1,1189210	0,55946051	16,71492	0
Aditivo*Método					
(Testemunha)*1:2,5	2	1,4442918	0,72214590	21,57545	0
Aditivo*Método					
(Testemunha)*1:3,0	2	3,5098904	1,75494520	52,43224	0
Resíduo	216	7,2296768	0,03347073		

Onde: 1:2,5 e 1:3,0 = proporção de madeira:cimento; método = método de preparo das partículas; aditivo = tipo de aditivo.

Fonte: Autora.

Anexo 4.13 - Desdobramento 1 da interação tripla da análise de variância do inchamento em espessura (24hs) dos painéis: método de preparo das partículas em relação às proporções de madeira:cimento e aos aditivos.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Método*1:2,5*Aditivo (CaCl₂)	3	5,59203	1,8640107	52,395659	0
Método*1:2,5*Aditivo (MgCl₂)	3	1,20753	0,4025098	11,314186	1e-06
Método*1:2,5*Aditivo (testemunha)	3	2,10470	0,7015667	19,720407	0
Método*1:3,0*Aditivo (CaCl₂)	3	4,29931	1,4331047	4028328	0
Método*1:3,0*Aditivo (MgCl₂)	3	2,61622	0,8720749	24,513239	0
Método*1:3,0*Aditivo (testemunha)	3	3,20982	1,0699395	30,075033	0
Resíduo	216	7,68434	0,0355757		

Onde: 1:2,5 e 1:3,0 = proporção de madeira:cimento; método = método de preparo das partículas; aditivo = tipo de aditivo.

Fonte: Autora.

Anexo 4.14 - Desdobramento 2 da interação tripla da análise de variância do inchamento em espessura (24hs) dos painéis: proporção de madeira:cimento em relação aos métodos de preparo das partículas e aos aditivos.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Proporção*Método					
(banho)*Aditivo (CaCl ₂)	1	0,01375338	0,01375338	0,386595	0,53475
Proporção*Método					
(banho)*Aditivo (MgCl ₂)	1	0,03136400	0,03136400	0,881614	0,34881
Proporção*Método					
(banho)*Aditivo (testemunha)	1	0,76606677	0,76606677	21,53344	06e-06
Proporção*Método					
(NaOH)*Aditivo (CaCl ₂)	1	0,43523041	0,43523041	12,23393	0,00057
Proporção*Método					
(NaOH)*Aditivo (MgCl ₂)	1	0,03272019	0,03272019	0,919735	0,33862
Proporção*Método					
(NaOH)*Aditivo (testemunha)	1	0,03358633	0,03358633	0,944081	0,33232
Proporção*Método					
(Al ₂ (SO ₄) ₃)*Aditivo (CaCl ₂)	1	0,00529492	0,00529492	0,148835	0,70003
Proporção*Método					
(Al ₂ (SO ₄) ₃)*Aditivo (MgCl ₂)	1	0,42153847	0,42153847	11,84907	0,00069
Proporção*Método					
(Al ₂ (SO ₄) ₃)*Aditivo (testemunha)	1	0,14819071	0,14819071	4,165507	0,04247
Proporção*Método					
(Testemunha)*Aditivo (CaCl ₂)	1	0,54489504	0,54489504	15,31651	0,00012
Proporção*Método					
(Testemunha)*Aditivo (MgCl ₂)	1	0,22783317	0,22783317	6,404185	0,01210
Proporção*Método					
(Testemunha)*Aditivo					
(testemunha)	1	0,05468810	0,05468810	1,537233	0,21638
Resíduo	216	7,68434496	0,03557567		

Onde: proporção = proporção de madeira:cimento; método = método de preparo das partículas; aditivo = tipo de aditivo.

Fonte: Autora.

Anexo 4.15 - Desdobramento 3 da interação tripla da análise de variância do inchamento em espessura (24hs) dos painéis: aditivo em relação aos métodos de preparo das partículas e às proporções de madeira:cimento.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Aditivo*Método (banho)*1:2,5	2	5,0056201	2,50281007	70,35173	0
Aditivo*Método (banho)*1:3,0	2	1,5585364	0,77926819	21,90452	0
Aditivo*Método (NaOH)*1:2,5	2	1,3920629	0,69603144	19,56482	0
Aditivo*Método (NaOH)*1:3,0	2	2,1043528	1,05217640	29,57573	0
Aditivo*Método (Al₂(SO₄)₃)*1:2,5	2	1,5865732	0,79328662	22,29857	0
Aditivo*Método (Al₂(SO₄)₃)*1:3,0	2	0,8347685	0,41738427	11,73230	1,5e-05
Aditivo*Método					
(Testemunha)*1:2,5	2	2,4914743	1,24573713	35,01655	0

Contin...

Aditivo*Método (Testemunha)*1:3,0	2	4,2787413	2,13937064	60,13578	0
Resíduo	216	7,6843450	0,03557567		

Onde: método = método de preparo das partículas; aditivo = tipo de aditivo; 1:2,5 e 1:3,0 = proporções de madeira:cimento.

Fonte: Autora.

Anexo 4.16 - Desdobramento 1 da interação tripla da análise de variância da resistência ao fogo dos painéis: método de preparo das partículas em relação às proporções de madeira:cimento e aos aditivos.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Método*1:2,5*Aditivo (CaCl₂)	3	7,338000	2,4459998	50,042548	0
Método*1:2,5*Aditivo (MgCl₂)	3	5,094767	1,6982555	34,744497	0
Método*1:2,5*Aditivo (testemunha)	3	6,654443	2,2181476	45,380935	0
Método*1:3,0*Aditivo (CaCl₂)	3	10,00995	3,3366513	68,264328	0
Método*1:3,0*Aditivo (MgCl₂)	3	6,701452	2,2338173	45,70152	0
Método*1:3,0*Aditivo (testemunha)	3	6,402640	2,1342133	43,663728	0
Resíduo	216	10,55774	0,0488784		

Onde: 1:2,5 e 1:3,0 = proporção de madeira:cimento; método = método de preparo das partículas; aditivo = tipo de aditivo.

Fonte: Autora.

Anexo 4.17 - Desdobramento 2 da interação tripla da análise de resistência ao fogo dos painéis: proporção de madeira:cimento em relação aos métodos de preparo das partículas e aos aditivos.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Proporção*Método (banho)*Aditivo (CaCl₂)	1	0,23934462	0,23934462	4,896736	0,02795
Proporção*Método (banho)*Aditivo (MgCl₂)	1	0,12797546	0,12797546	2,618242	0,10710
Proporção*Método (banho)*Aditivo (testemunha)	1	0,06498742	0,06498742	1,329573	0,25016
Proporção*Método (NaOH)*Aditivo (CaCl₂)	1	0,28856419	0,28856419	5,903716	0,01593
Proporção*Método (NaOH)*Aditivo (MgCl₂)	1	0,08609166	0,08609166	1,761343	0,18586
Proporção*Método (NaOH)*Aditivo (testemunha)	1	0,15304414	0,15304414	3,13112	0,07822
Proporção*Método (Al₂(SO₄)₃)*Aditivo (CaCl₂)	1	1,43208004	1,43208004	29,29883	0
Proporção*Método (Al₂(SO₄)₃)*Aditivo (MgCl₂)	1	0,97050993	0,97050993	19,85560	1,3e-05
Proporção*Método (Al₂(SO₄)₃)*Aditivo (testemunha)	1	0,00131579	0,00131579	0,02692	0,86983

Contin...

Proporção*Método (Testemunha)*Aditivo (CaCl₂)	1	0,47562709	0,47562709	9,730823	0,00206
Proporção*Método (Testemunha)*Aditivo (MgCl₂)	1	0,65869940	0,65869940	13,47629	0,00304
Proporção*Método (testemunha)	1	0,05359755	0,05359755	1,096549	0,29620
Resíduo	216	10,5577350	0,04887840		

Onde: proporção = proporção de madeira:cimento; método = método de preparo das partículas; aditivo = tipo de aditivo.

Fonte: Autora.

Anexo 4.18 - Desdobramento 3 da interação tripla da análise de variância da resistência ao fogo dos painéis: aditivo em relação aos métodos de preparo das partículas e às proporções de madeira:cimento.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Aditivo*Método (banho)*1:2,5	2	0,00335299	0,00167650	0,034299	0,966288
Aditivo*Método (banho)*1:3,0	2	0,07991273	0,03995636	0,817465	0,442911
Aditivo*Método (NaOH)*1:2,5	2	0,16074817	0,08037408	1,644368	0,195543
Aditivo*Método (NaOH)*1:3,0	2	0,11646251	0,05823125	1,191349	0,305799
Aditivo*Método (Al₂(SO₄)₃)*1:2,5	2	1,50027007	0,75013504	15,34696	1e-06
Aditivo*Método (Al₂(SO₄)₃)*1:3,0	2	0,03140883	0,01570442	0,321296	0,725555
Aditivo*Método (Testemunha)*1:2,5	2	1,19356459	0,59678230	2,209529	9e-06
Aditivo*Método (Testemunha)*1:3,0	2	2,45023915	1,22511957	25,06464	0
Resíduo	216	10,5577350	0,04887840		

Onde: aditivo = tipos de aditivo; método = método de preparo das partículas; 1:2,5 e 1:3,0 = proporções de madeira:cimento.

Fonte: Autora.

Anexo 5.1 - Valores verificados nos ensaios mecânicos dos painéis.

Método	Prop	Aditivo	Rep	MOE	MOR	Tração	Arranc
Testemunha	a	Testemunha	I	27454,26	126,23	10,56	48,00
Testemunha	a	Testemunha	II	21833,95	98,27	11,54	64,60
Testemunha	a	Testemunha	III	24502,66	131,45	11,12	40,00
Testemunha	a	Testemunha	IV	25058,66	91,98	12,40	48,10
Testemunha	a	Testemunha	V	20696,17	97,73	10,05	45,00
Testemunha	a	Testemunha	VI	27401,21	117,26	9,78	41,00
Testemunha	a	Testemunha	VII	24142,25	87,75	10,25	58,50
Testemunha	a	Testemunha	VIII	25703,10	96,50	9,14	56,90
Testemunha	a	Testemunha	IX	25946,82	94,21	9,03	64,20
Testemunha	a	Testemunha	X	22020,72	79,75	8,75	66,50
Testemunha	a	Testemunha	XI	21475,50	114,06	10,50	
Testemunha	a	Testemunha	XII	27729,08	116,21	9,63	
Testemunha	a	Testemunha	XIII	26551,81	97,66	10,98	
Testemunha	a	Testemunha	XIV	24923,52	64,14	9,50	
Testemunha	a	Testemunha	XV	26214,57	100,40	9,00	
Testemunha	a	CaCl2	I	26634,42	162,01	12,50	92,90
Testemunha	a	CaCl2	II	40044,15	140,67	12,94	109,80
Testemunha	a	CaCl2	III	25782,96	127,32	13,90	55,00
Testemunha	a	CaCl2	IV	38895,31	148,86	14,78	87,00
Testemunha	a	CaCl2	V	39765,58	173,84	14,50	41,50
Testemunha	a	CaCl2	VI	36500,25	159,01	13,45	60,50
Testemunha	a	CaCl2	VII	26090,52	161,69	14,87	55,50
Testemunha	a	CaCl2	VIII	36917,61	145,32	14,73	78,50
Testemunha	a	CaCl2	IX	34346,50	135,83	15,96	56,50
Testemunha	a	CaCl2	X	39804,68	124,51	15,55	89,20
Testemunha	a	CaCl2	XI	38902,02	154,24	15,00	
Testemunha	a	CaCl2	XII	27696,37	143,30	14,63	
Testemunha	a	CaCl2	XIII	28987,72	192,64	14,44	
Testemunha	a	CaCl2	XIV	29046,42	122,46	16,02	
Testemunha	a	CaCl2	XV	30129,24	143,75	15,66	
Testemunha	a	MgCl2	I	28277,90	119,04	12,00	74,50
Testemunha	a	MgCl2	II	31453,64	107,25	14,79	63,00
Testemunha	a	MgCl2	III	36043,81	111,84	13,00	84,00
Testemunha	a	MgCl2	IV	26872,58	107,16	11,63	81,20
Testemunha	a	MgCl2	V	30078,91	119,69	11,47	83,50
Testemunha	a	MgCl2	VI	26762,37	110,49	10,55	72,50
Testemunha	a	MgCl2	VII	33208,52	158,78	10,91	60,00
Testemunha	a	MgCl2	VIII	33655,42	159,69	12,93	50,00
Testemunha	a	MgCl2	IX	32337,70	100,93	12,17	73,00
Testemunha	a	MgCl2	X	37721,24	172,38	14,11	87,50
Testemunha	a	MgCl2	XI	29662,84	119,29	10,34	
Testemunha	a	MgCl2	XII	35330,91	156,07	13,79	
Testemunha	a	MgCl2	XIII	32896,19	133,30	14,65	
Testemunha	a	MgCl2	XIV	28959,60	115,86	13,00	
Testemunha	a	MgCl2	XV	27235,20	123,59	12,05	
Testemunha	b	Testemunha	I	18568,57	89,87	9,02	22,00
Testemunha	b	Testemunha	II	17349,57	85,12	7,56	54,00
Testemunha	b	Testemunha	III	19556,60	87,01	12,45	21,00
Testemunha	b	Testemunha	IV	17157,23	71,93	11,89	35,00
Testemunha	b	Testemunha	V	18390,68	72,91	9,50	59,00

Contin...							
Testemunha	b	Testemunha	VI	17025,29	75,79	13,64	50,50
Testemunha	b	Testemunha	VII	24492,59	78,65	8,66	21,00
Testemunha	b	Testemunha	VIII	18384,56	87,05	8,03	54,50
Testemunha	b	Testemunha	IX	16578,48	76,65	9,47	65,50
Testemunha	b	Testemunha	X	17256,13	87,16	8,49	74,00
Testemunha	b	Testemunha	XI	20486,60	133,65	9,50	
Testemunha	b	Testemunha	XII	20976,83	111,31	8,00	
Testemunha	b	Testemunha	XIII	20055,68	83,55	10,54	
Testemunha	b	Testemunha	XIV	18900,70	85,55	9,30	
Testemunha	b	Testemunha	XV	18264,59	87,35	9,09	
Testemunha	b	CaCl2	I	34393,19	98,34	14,50	80,50
Testemunha	b	CaCl2	II	38662,08	147,02	15,96	45,50
Testemunha	b	CaCl2	III	34541,91	121,16	14,17	84,50
Testemunha	b	CaCl2	IV	36110,60	115,85	13,98	92,50
Testemunha	b	CaCl2	V	28882,59	98,67	13,41	76,00
Testemunha	b	CaCl2	VI	35389,16	166,79	11,33	70,00
Testemunha	b	CaCl2	VII	34909,05	109,28	12,00	63,50
Testemunha	b	CaCl2	VIII	31841,09	134,19	11,28	49,40
Testemunha	b	CaCl2	IX	27994,72	110,41	12,05	54,00
Testemunha	b	CaCl2	X	32585,43	93,48	13,00	71,00
Testemunha	b	CaCl2	XI	26469,34	98,93	13,59	
Testemunha	b	CaCl2	XII	27753,33	122,87	15,00	
Testemunha	b	CaCl2	XIII	29995,52	94,88	13,29	
Testemunha	b	CaCl2	XIV	28520,10	118,69	12,87	
Testemunha	b	CaCl2	XV	27715,26	113,44	13,00	
Testemunha	b	MgCl2	I	27622,94	101,82	9,98	61,00
Testemunha	b	MgCl2	II	34025,86	149,79	10,11	93,00
Testemunha	b	MgCl2	III	30026,76	129,06	11,69	55,00
Testemunha	b	MgCl2	IV	27141,53	134,36	11,57	21,00
Testemunha	b	MgCl2	V	35013,71	144,76	13,99	31,00
Testemunha	b	MgCl2	VI	25502,60	112,75	9,05	58,00
Testemunha	b	MgCl2	VII	33364,43	232,30	12,36	60,00
Testemunha	b	MgCl2	VIII	32740,05	153,56	12,00	93,00
Testemunha	b	MgCl2	IX	31837,01	145,65	11,55	85,00
Testemunha	b	MgCl2	X	26916,27	105,03	10,98	64,00
Testemunha	b	MgCl2	XI	30596,27	142,83	11,00	
Testemunha	b	MgCl2	XII	23044,01	115,97	12,87	
Testemunha	b	MgCl2	XIII	23493,42	73,72	11,79	
Testemunha	b	MgCl2	XIV	26292,14	100,85	10,99	
Testemunha	b	MgCl2	XV	27707,56	137,71	12,89	
Banho	a	Testemunha	I	32348,59	158,62	19,25	68,00
Banho	a	Testemunha	II	25361,09	138,36	13,79	81,50
Banho	a	Testemunha	III	33806,30	158,32	16,55	57,00
Banho	a	Testemunha	IV	32411,50	133,24	15,78	55,00
Banho	a	Testemunha	V	31070,22	141,07	14,63	49,00
Banho	a	Testemunha	VI	24300,01	153,20	14,74	51,50
Banho	a	Testemunha	VII	27105,90	166,80	17,87	36,00
Banho	a	Testemunha	VIII	24565,39	119,25	17,02	53,00
Banho	a	Testemunha	IX	26717,87	97,47	18,63	74,00
Banho	a	Testemunha	X	27712,25	111,09	16,99	43,00
Banho	a	Testemunha	XI	33926,37	159,68	16,00	
Banho	a	Testemunha	XII	28427,15	127,12	15,47	
Banho	a	Testemunha	XIII	32523,17	120,10	17,33	

Contin...

Banho	a	Testemunha	XIV	31172,18	100,60	16,45	
Banho	a	Testemunha	XV	25657,34	87,94	16,41	
Banho	a	CaCl2	I	27162,91	129,16	19,45	45,00
Banho	a	CaCl2	II	36366,89	75,70	17,01	45,00
Banho	a	CaCl2	III	29883,26	142,24	21,44	80,00
Banho	a	CaCl2	IV	34175,44	114,42	20,39	82,00
Banho	a	CaCl2	V	33866,59	117,38	20,73	67,00
Banho	a	CaCl2	VI	29176,96	122,39	19,11	55,00
Banho	a	CaCl2	VII	39313,21	113,23	19,87	56,00
Banho	a	CaCl2	VIII	31825,15	122,30	18,00	93,00
Banho	a	CaCl2	IX	27045,82	140,29	18,54	60,00
Banho	a	CaCl2	X	37594,94	87,83	19,86	52,00
Banho	a	CaCl2	XI	27849,46	137,45	21,69	
Banho	a	CaCl2	XII	39920,86	112,88	17,61	
Banho	a	CaCl2	XIII	31551,01	135,62	19,55	
Banho	a	CaCl2	XIV	29511,90	113,62	19,47	
Banho	a	CaCl2	XV	29634,55	116,75	18,06	
Banho	a	MgCl2	I	28521,78	154,84	18,00	36,00
Banho	a	MgCl2	II	30190,17	154,39	18,69	62,00
Banho	a	MgCl2	III	32692,01	109,31	18,63	56,00
Banho	a	MgCl2	IV	38249,63	143,40	18,55	95,00
Banho	a	MgCl2	V	28509,94	183,66	16,00	111,00
Banho	a	MgCl2	VI	31198,73	127,16	17,55	45,00
Banho	a	MgCl2	VII	35681,03	164,16	18,99	47,00
Banho	a	MgCl2	VIII	32418,38	171,22	21,04	36,00
Banho	a	MgCl2	IX	27232,21	77,52	20,99	84,00
Banho	a	MgCl2	X	28762,19	166,21	20,47	64,00
Banho	a	MgCl2	XI	35649,52	122,88	19,66	
Banho	a	MgCl2	XII	39066,09	166,51	19,00	
Banho	a	MgCl2	XIII	31647,00	127,73	19,41	
Banho	a	MgCl2	XIV	26966,93	94,16	17,41	
Banho	a	MgCl2	XV	25940,18	151,57	18,11	
Banho	b	Testemunha	I	17384,65	76,48	11,52	59,00
Banho	b	Testemunha	II	30931,51	101,88	12,99	42,00
Banho	b	Testemunha	III	21146,35	95,85	13,47	76,00
Banho	b	Testemunha	IV	17686,62	117,34	13,00	46,00
Banho	b	Testemunha	V	24216,74	85,40	14,00	49,00
Banho	b	Testemunha	VI	16114,73	66,21	12,25	84,00
Banho	b	Testemunha	VII	16359,10	64,23	14,55	55,00
Banho	b	Testemunha	VIII	33719,90	103,83	15,96	43,00
Banho	b	Testemunha	IX	22348,21	74,51	15,77	58,00
Banho	b	Testemunha	X	17818,44	93,16	14,32	33,00
Banho	b	Testemunha	XI	31032,03	117,88	14,98	
Banho	b	Testemunha	XII	21222,06	95,35	14,73	
Banho	b	Testemunha	XIII	18031,90	82,33	16,79	
Banho	b	Testemunha	XIV	31033,81	116,17	15,78	
Banho	b	Testemunha	XV	27827,00	125,42	14,09	
Banho	b	CaCl2	I	26638,40	137,82	17,00	36,00
Banho	b	CaCl2	II	32588,21	142,93	19,69	45,00
Banho	b	CaCl2	III	23968,02	108,29	18,47	53,00
Banho	b	CaCl2	IV	35475,78	91,50	18,03	63,00
Banho	b	CaCl2	V	29915,25	124,61	15,01	55,00
Banho	b	CaCl2	VI	21349,24	134,94	19,45	74,00

Contin...							
Banho	b	CaCl2	VII	17919,37	114,15	15,74	40,00
Banho	b	CaCl2	VIII	34620,74	98,59	17,56	96,00
Banho	b	CaCl2	IX	36434,28	116,33	16,65	65,00
Banho	b	CaCl2	X	26490,22	102,45	17,93	81,00
Banho	b	CaCl2	XI	30403,02	92,63	16,10	
Banho	b	CaCl2	XII	25664,26	124,44	17,46	
Banho	b	CaCl2	XIII	29106,28	114,65	20,01	
Banho	b	CaCl2	XIV	23166,20	95,22	16,54	
Banho	b	CaCl2	XV	26601,24	122,01	17,41	
Banho	b	MgCl2	I	31234,23	101,28	16,42	46,00
Banho	b	MgCl2	II	30537,72	114,01	14,00	63,00
Banho	b	MgCl2	III	23403,60	99,44	14,15	72,00
Banho	b	MgCl2	IV	22867,65	114,71	15,99	76,00
Banho	b	MgCl2	V	29706,07	139,23	15,50	70,00
Banho	b	MgCl2	VI	25560,21	83,04	16,90	83,00
Banho	b	MgCl2	VII	22785,55	87,41	16,79	85,00
Banho	b	MgCl2	VIII	24211,74	118,35	14,58	76,00
Banho	b	MgCl2	IX	23418,34	163,76	15,86	49,00
Banho	b	MgCl2	X	22577,61	130,08	17,46	93,50
Banho	b	MgCl2	XI	24655,87	110,50	18,48	
Banho	b	MgCl2	XII	28162,98	120,43	16,55	
Banho	b	MgCl2	XIII	26536,75	114,95	16,00	
Banho	b	MgCl2	XIV	26935,96	97,54	19,00	
Banho	b	MgCl2	XV	23800,87	129,89	16,02	
Al2(SO4)3	a	Testemunha	I	25253,52	128,34	15,00	32,00
Al2(SO4)3	a	Testemunha	II	27253,16	147,31	15,79	79,00
Al2(SO4)3	a	Testemunha	III	24664,48	110,19	15,03	88,00
Al2(SO4)3	a	Testemunha	IV	28600,92	133,25	16,78	48,00
Al2(SO4)3	a	Testemunha	V	28871,89	141,45	17,90	80,00
Al2(SO4)3	a	Testemunha	VI	19290,31	120,52	16,99	45,00
Al2(SO4)3	a	Testemunha	VII	26313,41	141,10	14,33	45,00
Al2(SO4)3	a	Testemunha	VIII	19438,17	60,55	14,56	88,00
Al2(SO4)3	a	Testemunha	IX	25876,09	104,26	12,43	30,00
Al2(SO4)3	a	Testemunha	X	17295,22	91,90	13,89	86,00
Al2(SO4)3	a	Testemunha	XI	19533,35	88,99	15,96	
Al2(SO4)3	a	Testemunha	XII	20980,59	86,83	15,03	
Al2(SO4)3	a	Testemunha	XIII	21024,06	93,83	15,71	
Al2(SO4)3	a	Testemunha	XIV	18764,54	92,67	14,33	
Al2(SO4)3	a	Testemunha	XV	23984,37	104,86	16,22	
Al2(SO4)3	a	CaCl2	I	23884,60	128,55	20,14	76,00
Al2(SO4)3	a	CaCl2	II	24735,29	126,86	20,36	69,00
Al2(SO4)3	a	CaCl2	III	32592,53	156,12	20,99	80,00
Al2(SO4)3	a	CaCl2	IV	36320,20	162,45	19,01	88,00
Al2(SO4)3	a	CaCl2	V	25549,21	176,19	18,77	76,00
Al2(SO4)3	a	CaCl2	VI	34050,59	119,81	21,46	50,00
Al2(SO4)3	a	CaCl2	VII	32858,87	129,72	19,00	92,00
Al2(SO4)3	a	CaCl2	VIII	42656,55	178,92	21,55	106,00
Al2(SO4)3	a	CaCl2	IX	25166,79	114,89	20,45	138,00
Al2(SO4)3	a	CaCl2	X	36094,34	136,25	21,95	35,00
Al2(SO4)3	a	CaCl2	XI	42495,87	199,68	22,99	
Al2(SO4)3	a	CaCl2	XII	35155,91	138,84	20,00	
Al2(SO4)3	a	CaCl2	XIII	29776,78	139,34	23,02	
Al2(SO4)3	a	CaCl2	XIV	29422,70	143,13	19,02	

Contin...							
Al2(SO4)3	a	CaCl2	XV	34111,44	132,87	18,74	
Al2(SO4)3	a	MgCl2	I	30182,85	134,44	19,00	88,00
Al2(SO4)3	a	MgCl2	II	29710,44	124,51	18,00	97,00
Al2(SO4)3	a	MgCl2	III	31117,36	110,46	17,42	84,00
Al2(SO4)3	a	MgCl2	IV	34592,08	181,38	18,95	53,00
Al2(SO4)3	a	MgCl2	V	28583,29	124,92	19,55	90,00
Al2(SO4)3	a	MgCl2	VI	23459,42	85,04	19,63	79,00
Al2(SO4)3	a	MgCl2	VII	26659,38	94,19	19,54	61,00
Al2(SO4)3	a	MgCl2	VIII	30559,93	144,75	20,17	100,00
Al2(SO4)3	a	MgCl2	IX	33328,71	156,34	20,55	55,00
Al2(SO4)3	a	MgCl2	X	37660,05	118,07	19,50	102,00
Al2(SO4)3	a	MgCl2	XI	31146,69	151,66	20,47	
Al2(SO4)3	a	MgCl2	XII	23268,34	109,90	21,56	
Al2(SO4)3	a	MgCl2	XIII	31185,73	131,15	18,98	
Al2(SO4)3	a	MgCl2	XIV	32927,12	155,01	19,01	
Al2(SO4)3	a	MgCl2	XV	25175,03	121,81	20,05	
Al2(SO4)3	b	Testemunha	I	23462,89	102,97	12,04	49,00
Al2(SO4)3	b	Testemunha	II	21628,00	90,53	12,78	54,00
Al2(SO4)3	b	Testemunha	III	24657,95	98,24	13,01	88,00
Al2(SO4)3	b	Testemunha	IV	25444,60	111,97	11,45	77,00
Al2(SO4)3	b	Testemunha	V	24452,41	124,20	11,55	37,00
Al2(SO4)3	b	Testemunha	VI	20473,00	83,03	13,89	40,00
Al2(SO4)3	b	Testemunha	VII	21132,62	119,04	13,03	22,00
Al2(SO4)3	b	Testemunha	VIII	25845,57	128,69	13,07	88,00
Al2(SO4)3	b	Testemunha	IX	22283,26	94,71	14,99	82,00
Al2(SO4)3	b	Testemunha	X	20389,67	57,29	14,31	72,00
Al2(SO4)3	b	Testemunha	XI	23727,48	116,35	13,78	
Al2(SO4)3	b	Testemunha	XII	25887,65	107,36	15,97	
Al2(SO4)3	b	Testemunha	XIII	20898,18	89,64	14,00	
Al2(SO4)3	b	Testemunha	XIV	22159,77	102,30	10,54	
Al2(SO4)3	b	Testemunha	XV	23983,29	104,50	12,77	
Al2(SO4)3	b	CaCl2	I	30944,94	135,70	15,45	60,00
Al2(SO4)3	b	CaCl2	II	30142,35	141,63	15,90	51,00
Al2(SO4)3	b	CaCl2	III	35380,61	117,39	16,74	82,50
Al2(SO4)3	b	CaCl2	IV	25868,98	103,62	19,89	85,20
Al2(SO4)3	b	CaCl2	V	35668,64	152,64	16,31	50,00
Al2(SO4)3	b	CaCl2	VI	26793,11	125,89	17,96	59,00
Al2(SO4)3	b	CaCl2	VII	23267,76	117,18	16,74	51,00
Al2(SO4)3	b	CaCl2	VIII	25221,48	125,75	17,45	85,50
Al2(SO4)3	b	CaCl2	IX	34889,35	160,00	17,00	75,00
Al2(SO4)3	b	CaCl2	X	23024,73	108,82	17,50	93,00
Al2(SO4)3	b	CaCl2	XI	27574,32	129,21	18,91	
Al2(SO4)3	b	CaCl2	XII	25674,48	99,03	18,00	
Al2(SO4)3	b	CaCl2	XIII	28372,83	113,70	17,72	
Al2(SO4)3	b	CaCl2	XIV	24751,17	95,50	17,28	
Al2(SO4)3	b	CaCl2	XV	35602,43	136,25	20,11	
Al2(SO4)3	b	MgCl2	I	28841,35	93,03	15,00	72,00
Al2(SO4)3	b	MgCl2	II	25690,53	92,32	13,47	33,00
Al2(SO4)3	b	MgCl2	III	24448,61	105,71	16,94	75,00
Al2(SO4)3	b	MgCl2	IV	25609,82	93,76	14,95	75,00
Al2(SO4)3	b	MgCl2	V	27137,99	132,42	15,74	74,00
Al2(SO4)3	b	MgCl2	VI	35719,46	122,63	15,50	75,00
Al2(SO4)3	b	MgCl2	VII	22134,99	110,66	16,22	75,00

Contin...							
Al2(SO4)3	b	MgCl2	VIII	25146,76	114,94	15,54	71,00
Al2(SO4)3	b	MgCl2	IX	30300,13	86,36	13,86	53,00
Al2(SO4)3	b	MgCl2	X	21660,10	96,14	12,11	93,00
Al2(SO4)3	b	MgCl2	XI	22855,33	101,92	15,42	
Al2(SO4)3	b	MgCl2	XII	24081,82	91,45	14,11	
Al2(SO4)3	b	MgCl2	XIII	24924,14	147,91	15,89	
Al2(SO4)3	b	MgCl2	XIV	31337,35	104,81	16,98	
Al2(SO4)3	b	MgCl2	XV	20032,32	91,50	15,84	
NaOH	a	Testemunha	I	12869,45	40,47	7,00	20,00
NaOH	a	Testemunha	II	12943,56	45,74	5,45	25,00
NaOH	a	Testemunha	III	13823,36	55,19	6,15	37,00
NaOH	a	Testemunha	IV	18519,00	78,86	8,45	45,00
NaOH	a	Testemunha	V	14554,71	59,36	9,75	42,00
NaOH	a	Testemunha	VI	18916,94	77,35	7,12	33,00
NaOH	a	Testemunha	VII	18516,69	95,64	7,43	34,00
NaOH	a	Testemunha	VIII	16317,63	50,23	6,12	47,00
NaOH	a	Testemunha	IX	18566,58	68,48	7,85	17,00
NaOH	a	Testemunha	X	16816,29	55,04	8,99	14,00
NaOH	a	Testemunha	XI	18194,59	69,87	10,00	
NaOH	a	Testemunha	XII	18271,78	70,03	7,30	
NaOH	a	Testemunha	XIII	11392,81	31,60	6,60	
NaOH	a	Testemunha	XIV	12598,07	48,54	7,14	
NaOH	a	Testemunha	XV	11716,72	39,80	7,88	
NaOH	a	CaCl2	I	32551,03	180,74	9,85	53,00
NaOH	a	CaCl2	II	31143,00	125,34	10,76	43,00
NaOH	a	CaCl2	III	31439,46	115,92	11,87	60,00
NaOH	a	CaCl2	IV	33998,50	135,62	11,45	96,00
NaOH	a	CaCl2	V	29970,69	137,26	13,87	63,00
NaOH	a	CaCl2	VI	32334,13	111,15	9,87	89,00
NaOH	a	CaCl2	VII	31698,24	138,09	12,63	81,00
NaOH	a	CaCl2	VIII	30194,40	157,72	12,12	54,00
NaOH	a	CaCl2	IX	32541,23	118,02	11,50	72,00
NaOH	a	CaCl2	X	27570,38	107,96	11,50	96,00
NaOH	a	CaCl2	XI	27029,31	102,91	9,02	
NaOH	a	CaCl2	XII	37669,29	155,06	10,01	
NaOH	a	CaCl2	XIII	28604,04	112,58	11,55	
NaOH	a	CaCl2	XIV	27138,44	80,57	12,98	
NaOH	a	CaCl2	XV	37448,70	145,84	13,41	
NaOH	a	MgCl2	I	31796,59	129,41	7,12	44,00
NaOH	a	MgCl2	II	27862,40	156,18	9,23	89,00
NaOH	a	MgCl2	III	30795,69	164,83	8,10	53,00
NaOH	a	MgCl2	IV	28449,41	102,64	10,54	81,00
NaOH	a	MgCl2	V	30101,13	135,39	10,33	102,00
NaOH	a	MgCl2	VI	31750,64	117,16	11,45	67,00
NaOH	a	MgCl2	VII	21488,19	108,20	9,00	79,00
NaOH	a	MgCl2	VIII	20742,89	79,87	9,50	37,50
NaOH	a	MgCl2	IX	28790,50	147,85	7,18	86,00
NaOH	a	MgCl2	X	28285,68	118,40	8,50	66,00
NaOH	a	MgCl2	XI	29387,67	160,38	9,50	
NaOH	a	MgCl2	XII	25486,63	124,34	10,16	
NaOH	a	MgCl2	XIII	23145,07	103,79	11,50	
NaOH	a	MgCl2	XIV	25578,66	138,68	10,00	
NaOH	a	MgCl2	XV	29859,10	138,46	9,48	

Contin...

NaOH	b	Testemunha	I	15945,00	37,23	5,02	43,00
NaOH	b	Testemunha	II	15547,46	47,65	6,47	32,00
NaOH	b	Testemunha	III	16260,22	37,05	3,78	43,00
NaOH	b	Testemunha	IV	15812,73	60,60	5,43	34,00
NaOH	b	Testemunha	V	16060,43	59,12	3,82	18,00
NaOH	b	Testemunha	VI	13707,71	38,82	4,04	43,00
NaOH	b	Testemunha	VII	19511,43	50,08	3,63	34,00
NaOH	b	Testemunha	VIII	15106,33	36,13	6,50	43,00
NaOH	b	Testemunha	IX	13625,88	58,79	6,16	26,00
NaOH	b	Testemunha	X	20470,32	40,30	4,15	26,00
NaOH	b	Testemunha	XI	16312,82	52,57	4,78	
NaOH	b	Testemunha	XII	16189,62	64,96	5,12	
NaOH	b	Testemunha	XIII	12520,16	41,12	5,65	
NaOH	b	Testemunha	XIV	15241,33	45,52	5,89	
NaOH	b	Testemunha	XV	11568,46	47,12	5,45	
NaOH	b	CaCl ₂	I	24252,10	112,15	8,28	85,00
NaOH	b	CaCl ₂	II	16633,44	97,88	6,35	80,00
NaOH	b	CaCl ₂	III	27198,12	139,37	6,67	37,00
NaOH	b	CaCl ₂	IV	15939,15	98,66	8,34	55,00
NaOH	b	CaCl ₂	V	13529,77	80,43	7,92	50,00
NaOH	b	CaCl ₂	VI	18020,74	82,43	9,75	72,00
NaOH	b	CaCl ₂	VII	24596,85	87,68	7,50	51,00
NaOH	b	CaCl ₂	VIII	23923,95	74,58	10,63	67,00
NaOH	b	CaCl ₂	IX	22823,07	64,78	8,21	52,00
NaOH	b	CaCl ₂	X	22493,18	115,11	8,80	42,00
NaOH	b	CaCl ₂	XI	17104,04	90,93	7,12	
NaOH	b	CaCl ₂	XII	19017,95	102,55	9,89	
NaOH	b	CaCl ₂	XIII	18155,82	82,66	8,65	
NaOH	b	CaCl ₂	XIV	24955,73	84,90	9,96	
NaOH	b	CaCl ₂	XV	15386,77	45,27	8,59	
NaOH	b	MgCl ₂	I	14075,20	77,52	6,00	72,00
NaOH	b	MgCl ₂	II	22087,58	82,58	5,45	56,00
NaOH	b	MgCl ₂	III	15746,85	82,41	8,78	71,00
NaOH	b	MgCl ₂	IV	20175,86	108,80	6,11	44,00
NaOH	b	MgCl ₂	V	21428,66	77,16	6,35	60,00
NaOH	b	MgCl ₂	VI	18945,54	119,79	7,56	99,00
NaOH	b	MgCl ₂	VII	19211,07	85,75	7,89	47,00
NaOH	b	MgCl ₂	VIII	18260,05	102,27	5,48	46,00
NaOH	b	MgCl ₂	IX	15383,95	158,11	8,36	56,00
NaOH	b	MgCl ₂	X	19113,52	83,78	8,12	45,00
NaOH	b	MgCl ₂	XI	22438,13	123,55	9,86	
NaOH	b	MgCl ₂	XII	15570,34	84,57	7,50	
NaOH	b	MgCl ₂	XIII	23903,27	133,46	7,01	
NaOH	b	MgCl ₂	XIV	15492,22	84,57	7,12	
NaOH	b	MgCl ₂	XV	16061,44	93,36	10,90	

Onde: Método = método de preparo das partículas; Prop = proporção de madeira:cimento; Rep = repetição; MOE = módulo de elasticidade (kgf/cm²); MOR = módulo de ruptura (kgf/cm²); Tração = ligação interna (kgf/cm²); Arranc = arrancamento de parafusos = kgf; a = 1:2,5; b = 1:3,0.

Fonte: Autora.

Anexo 5.2 - Desdobramento 1 da interação tripla da análise de variância do módulo de elasticidade dos painéis: método de preparo das partículas em relação às proporções de madeira:cimento e aos aditivos.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Método*1:2,5*Aditivo (CaCl₂)	3	0,018838	0,0062792	0,269839	0,84714
Método*1:2,5*Aditivo (MgCl₂)	3	0,177390	0,0591299	2,540999	0,05631
Método*1:2,5*Aditivo (testemunha)	3	3,274005	1,0913350	46,898108	0
Método*1:3,0*Aditivo (CaCl₂)	3	1,807456	0,6024854	25,890701	0
Método*1:3,0*Aditivo (MgCl₂)	3	1,728842	0,5762808	24,764604	0
Método*1:3,0*Aditivo (testemunha)	3	1,532479	0,5108265	21,951825	0
Resíduo	336	7,818835	0,0232703		

Onde: método = método de preparo das partículas; 1:2,5 e 1:3,0 = proporção de madeira:cimento; aditivo = tipo de aditivo.

Fonte: Autora.

Anexo 5.3 - Desdobramento 2 da interação tripla da análise de variância do módulo de elasticidade dos painéis: proporção de madeira:cimento em relação aos métodos de preparo das partículas e aos aditivos.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Proporção*Método					
(banho)*Aditivo (CaCl ₂)	1	0,17438672	0,17438672	7,493948	0,00652
Proporção*Método					
(banho)*Aditivo (MgCl ₂)	1	0,29945326	0,29945326	12,86845	0,00038
Proporção*Método					
(banho)*Aditivo (testemunha)	1	0,49672016	0,49672016	21,34563	5e-06
Proporção*Método					
(NaOH)*Aditivo (CaCl ₂)	1	1,54926971	1,54926971	66,57701	0
Proporção*Método					
(NaOH)*Aditivo (MgCl ₂)	1	1,21114582	1,21114582	52,04676	0
Proporção*Método					
(NaOH)*Aditivo (testemunha)	1	0,00022783	0,00022783	0,009791	0,92124
Proporção*Método					
(Al ₂ (SO ₄) ₃)*Aditivo (CaCl ₂)	1	0,08806260	0,08806260	3,784328	0,05257
Proporção*Método					
(Al ₂ (SO ₄) ₃)*Aditivo (MgCl ₂)	1	0,15707302	0,15707302	6,749924	0,00979
Proporção*Método					
(Al ₂ (SO ₄) ₃)*Aditivo (testemunha)	1	0,00045732	0,00045732	0,019652	0,88860
Proporção*Método					
(Testemunha)*Aditivo (CaCl ₂)	1	0,01297760	0,01297760	0,557688	0,45572
Proporção*Método					
(Testemunha)*Aditivo (MgCl ₂)	1	0,04817990	0,04817990	2,070442	0,15111
Proporção*Método					
(Testemunha)*Aditivo (testemunha)	1	0,55390605	0,55390605	23,80309	2e-06
Resíduo	336	7,818835	0,0232703		

Onde: proporção = proporção de madeira:cimento; método = método de preparo das partículas; aditivo = tipo de aditivo.

Fonte: Autora.

Anexo 5.4 - Desdobramento 3 da interação tripla da análise de variância do módulo de elasticidade dos painéis: aditivo em relação aos métodos de preparo das partículas e às proporções de madeira:cimento.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Aditivo*Método (banho)*1:2,5	2	0,08523625	0,04261812	1,831435	0,161779
Aditivo*Método (banho)*1:3,0	2	0,33146120	0,16573060	7,121967	0,000935
Aditivo*Método (NaOH)*1:2,5	2	4,28653157	2,14326578	92,10290	0
Aditivo*Método (NaOH)*1:3,0	2	0,49353707	0,24676853	10,60442	3,4e-05
Aditivo*Método (Al₂(SO₄)₃)*1:2,5	2	0,91821452	0,45910726	19,72929	0
Aditivo*Método (Al₂(SO₄)₃)*1:3,0	2	0,34741792	0,17370896	7,464822	0,000673
Aditivo*Método (Testemunha)*1:2,5	2	0,69731506	0,34865753	14,98292	1e-06

Contin...

Aditivo*Método (Testemunha)*1:3,0	2	2,28073615	1,14036807	49,00522	0
Resíduo	336	7,818835	0,0232703		

Onde: aditivo = tipo de aditivo; método = método de preparo das partículas; 1:2,5 e 1:3,0 = proporções de madeira:cimento.

Fonte: Autora.

Anexo 5.5 - Desdobramento 1 da interação tripla da análise de variância do módulo de ruptura dos painéis: método de preparo das partículas em relação às proporções de madeira:cimento e aos aditivos.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Método*1:2,5*Aditivo (CaCl₂)	3	17,58455	5,861518	5,544995	0,00100
Método*1:2,5*Aditivo (MgCl₂)	3	2,974623	0,9915411	0,937998	0,42244
Método*1:2,5*Aditivo (testemunha)	3	117,3201	39,106693	36,994925	0
Método*1:3,0*Aditivo (CaCl₂)	3	23,59142	7,8638063	7,439159	7,8e-05
Método*1:3,0*Aditivo (MgCl₂)	3	18,13601	6,0453375	5,718888	0,00079
Método*1:3,0*Aditivo (testemunha)	3	92,42447	30,808157	29,144511	0
Resíduo	336	355,1798	1,057083		

Onde: método = método de preparo das partículas; 1:2,5 e 1:3,0 = proporções de madeira:cimento; aditivo = tipo de aditivo.

Fonte: Autora.

Anexo 5.6 - Desdobramento 2 da interação tripla da análise de variância do módulo de ruptura dos painéis: proporção de madeira:cimento em relação aos métodos de preparo das partículas e aos aditivos.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Proporção*Método (banho)*Aditivo (CaCl₂)	1	0,2434219	0,2434219	0,230277	0,63163
Proporção*Método (banho)*Aditivo (MgCl₂)	1	9,3867654	9,3867654	8,879878	0,00309
Proporção*Método (banho)*Aditivo (testemunha)	1	22,9905816	22,9905816	21,74909	4e-06
Proporção*Método (NaOH)*Aditivo (CaCl₂)	1	25,0085257	25,0085257	23,65806	2e-06
Proporção*Método (NaOH)*Aditivo (MgCl₂)	1	13,7031653	13,7031653	12,96319	0,00037
Proporção*Método (NaOH)*Aditivo (testemunha)	1	3,9502520	3,9502520	3,736938	0,05406
Proporção*Método (Al₂(SO₄)₃)*Aditivo (CaCl₂)	1	6,2945268	6,2945268	5,954621	0,0152
Proporção*Método (Al₂(SO₄)₃)*Aditivo (MgCl₂)	1	8,7603490	8,7603490	8,287289	0,00425
Proporção*Método (Al₂(SO₄)₃)*Aditivo (testemunha)	1	0,9081583	0,9081583	0,859118	0,35465

Contin...

Proporção*Método (Testemunha)*Aditivo (CaCl₂)	1	15,5313018	15,5313018	14,69261	0,00015
Proporção*Método (Testemunha)*Aditivo (MgCl₂)	1	0,1421082	0,1421082	0,134434	0,71411
Proporção*Método (Testemunha)*Aditivo (testemunha)	1	3,4822149	3,4822149	32,29418	0,07042
Resíduo	336	355,1798	1,057083		

Onde: proporção = proporção de madeira:cimento; método = método de preparo das partículas; aditivo = tipo de aditivo.

Fonte: Autora.

Anexo 5.7 - Desdobramento 3 da interação tripla da análise de variância do módulo de ruptura dos painéis: aditivo em relação aos métodos de preparo das partículas e às proporções de madeira:cimento.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Aditivo*Método (banho)*1:2,5	2	6,668067	3,334034	3,153995	0,043948
Aditivo*Método (banho)*1:3,0	2	10,338576	5,169288	4,890146	0,008064
Aditivo*Método (NaOH)*1:2,5	2	134,747580	67,373790	63,73559	0
Aditivo*Método (NaOH)*1:3,0	2	80,561986	40,280993	38,10581	0
Aditivo*Método (Al₂(SO₄)₃)*1:2,5	2	19,788263	9,894131	9,359846	0,000111
Aditivo*Método (Al₂(SO₄)₃)*1:3,0	2	9,413490	4,706745	4,45258	0,012344
Aditivo*Método (Testemunha)*1:2,5	2	35,823152	17,911576	16,94435	0
Aditivo*Método (Testemunha)*1:3,0	2	33,650926	16,825463	15,91688	0
Resíduo	336	355,1798	1,057083		

Onde: aditivo = tipo de aditivo; método = método de preparo das partículas; 1:2,5 e 1:3,0 = proporções de madeira:cimento.

Fonte: Autora.

Anexo 5.8 - Desdobramento 1 da interação dupla da análise de variância da ligação interna dos painéis: método de preparo das partículas em relação às proporções de madeira:cimento.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Método*Proporção (1:2,5)	2	344,9345	14,97815	440,0652	0
Método*Proporção (1:3,0)	2	348,6788	16,22626	476,7353	0
Resíduo	336	11,4362	0,03404		

Onde: método = método de preparo das partículas; proporção = proporção madeira:cimento.

Fonte: Autora.

Anexo 5.9 - Desdobramento 2 da interação dupla da análise de variância da ligação interna dos painéis: proporção de madeira:cimento em relação aos métodos de preparo das partículas.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Proporção*Método (Banho)	1	1,52859	1,52859	44,9107	0
Proporção*Método (NaOH)	1	3,87612	3,87612	113,8824	0
Proporção*Método (Al₂(SO₄)₃)	1	3,13707	3,13707	92,1685	0
Proporção*Método (Testemunha)	1	0,36424	0,36424	10,7014	0,0012
Resíduo	336	11,4362	0,03404		

Onde: proporção = proporção de madeira:cimento; método = método de preparo das partículas.

Fonte: Autora.

Anexo 5.10 - Desdobramento 3 da interação dupla da análise da ligação interna dos painéis: método de preparo das partículas em relação aos aditivos.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Método*Aditivo (CaCl₂)	3	26,89764	8,96588	263,4219	0
Método*Aditivo (MgCl₂)	3	31,58934	10,52978	309,3699	0
Método* Aditivo (testemunha)	3	34,59978	11,53326	338,8527	0
Resíduo	336	11,4362	0,03404		

Onde: método = método de preparo das partículas; aditivo = tipo de aditivo.

Fonte: Autora.

Anexo 5.11 - Desdobramento 4 da interação dupla da análise de variância da ligação interna dos painéis: aditivo em relação aos métodos de preparo das partículas.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Aditivo*Método (Banho)	2	2,14459	1,07230	31,5046	0
Aditivo*Método (NaOH)	2	5,74695	2,87347	84,424	0
Aditivo*Método (Al₂(SO₄)₃)	2	5,04869	2,52435	74,1665	0
Aditivo*Método (Testemunha)	2	4,80407	2,40203	70,5729	0
Resíduo	336	11,4362	0,03404		

Onde: aditivo = tipo de aditivo; método = método de preparo das partículas.

Fonte: Autora.