



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá

FELIPE OLIVEIRA LIMA

**CARACTERIZAÇÃO DE PAINÉIS MDP COM ADIÇÃO DE
NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE ZINCO**

Guaratinguetá - SP
2018

FELIPE OLIVEIRA LIMA

**CARACTERIZAÇÃO DE PAINÉIS MDP COM ADIÇÃO DE
NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE ZINCO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica na área de Materiais.

Orientador: Prof.^a Dr^a Cristiane Inácio de Campos
Coorientador: Prof. Dr. Higor Rogério Favarim

Guaratinguetá - SP
2018

L732c Lima, Felipe Oliveira
Caracterização de painéis MDP com adição de nanopartículas de óxido de zinco / Felipe Oliveira Lima – Guaratinguetá, 2018.
80 f : il.
Bibliografia: f. 74-80

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2018.
Orientadora: Profª. Drª. Cristiane Inácio de Campos
Co-Orientador: Prof. Dr. Higor Rogério Favarim

1. Madeira engenheirada. 2. Nanotecnologia. 3. Óxido de zinco.
I. Título.

CDU 620.1(043)

FELIPE OLIVEIRA LIMA

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA”

PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA: MATERIAIS

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO


Prof.ª. Dr.ª. Ana Paula Rosifini Alves Claro
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA:


Prof.ª. Dr.ª. CRISTIANE INACIO DE CAMPOS
Orientadora / UNESP/ITAPEVA


Prof. Dr. JULIO CESAR MOLINA
UNESP/ITAPEVA


Prof. Dr. ANDRÉ LUIS CHRISTOFORO
UFSCAR/SÃO CARLOS

RESUMO

Tendo em vista a grande potencialidade do mercado de painéis à base de madeira no Brasil, em constante crescimento nos últimos anos, busca-se cada vez mais encontrar novos métodos mais eficientes e melhorias nas diversas etapas de fabricação desses produtos engenheirados de madeira. Diante desta perspectiva, este trabalho teve como objetivo produzir e avaliar as principais propriedades físicas e mecânicas, conforme as especificações normativas da ABNT NBR 14810:2013 de chapas de madeira particulada de três camadas (MDP – *Medium Density Particleboard*), produzidas com Eucalipto em quatro diferentes granulometrias e com a adição de nanopartículas de óxido de zinco (ZnO), em duas diferentes proporções. A partir do proposto pretendeu-se aperfeiçoar as propriedades higroscópicas, bem como a condução térmica dos painéis, aprimorando suas propriedades como um todo. As propriedades mecânicas avaliadas foram o módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE) na flexão estática, a adesão interna através de ensaio de tração perpendicular e a resistência ao arrancamento de parafuso. As propriedades físicas foram a densidade, umidade, inchamento e absorção (2 e 24 horas). Todos os resultados obtidos foram submetidos a análise estatística e, devidamente comparados com outros estudos encontrados na literatura, além de especificações normativas. Com base nos resultados obtidos nos testes físicos e mecânicos observou-se que a adição de nanopartículas proporcionou melhoras significativas nas propriedades dos painéis, especialmente com 0,5% de nanopartículas. Além disso, tanto testes físicos como mecânicos atenderam aos documentos normativos nacionais e internacionais. Destaca-se os painéis MDP fabricados com resina UF e 0,5% de nanopartículas de ZnO, por apresentarem bons resultados, melhora em algumas propriedades e ainda, o menor custo de produção.

Palavras-chave: Painel particulado. Nanotecnologia. Propriedades físicas. Propriedades mecânicas.

ABSTRACT

Based on the great potential of the market for wood-based panels in Brazil, in constant growth in recent years, it is increasingly sought to find new and more efficient methods and improvements in the various stages of manufacture of these engineered wood products. With this, this work aimed to produce and evaluate the main physical and mechanical properties according to the normative specifications of NBR 14810: 2013, for medium density particleboards, with eucalyptus in four different particle sizes and with the addition of zinc oxide (ZnO) nanoparticles, in different proportions. From the proposed is intended to improve the hygroscopic properties, as well the thermal conduction of the panels, improving its properties as a whole. The mechanical properties evaluated are the modulus of rupture (MOR) and the module of elasticity (MOE) in bending, the internal adhesion of perpendicular traction test and screw holding test. The physical properties were density, humidity, swelling and absorption (2 and 24 hours). All the results were submitted to statistical analysis and, properly, compared with other studies found in the literature, besides normative specifications. Based on the results obtained in the physical and mechanical tests it was observed that the addition of nanoparticles resulted significant improvements in the properties of the panels, especially with 0.5% nanoparticles. In addition, both physical and mechanical tests covered in national and international normative documents. It is worth mentioning the MDP manufactured with UF resin and 0.5% of ZnO nanoparticles, in order of results, improvement in some properties and also lower production cost.

Keywords: Particleboard. Nanotechnology. Physical properties. Mechanical properties.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Partículas para camadas externa e interna de um painel MDP.....	14
Figura 2: a) Camadas de um painel MDP; b) Disposição das partículas no painel MDP	15
Figura 3: Produção de painéis MDP no mundo	17
Figura 4: Relação entre resistência dos painéis e densidade da madeira e das chapas.	19
Figura 5: Processo produtivo do painel MDP.....	23
Figura 6: Variação do consumo MDP.	26
Figura 7: Evolução do consumo aparente de painéis.....	27
Figura 8: Exemplificação do cenário de painéis.	28
Figura 9: Fábricas de painéis no Brasil.....	28
Figura 10: Rotas de síntese de nanomateriais pelo método sol-gel.	31
Figura 11: Publicações sobre ZnO nanoestruturado entre 2004 e 2013.....	33
Figura 12: Agitação em temperatura constante.....	38
Figura 13: Secagem e trituração do material.	38
Figura 14: Formação de cinzas e calcinação.....	39
Figura 15: Mistura dos aditivos.	40
Figura 16: Pré-prensagem e Colchão formado.	41
Figura 17: Etapa de prensagem à quente.	42
Figura 18: Painéis prensados para cura e esquadrejamento.....	42
Figura 19: Plano de corte das chapas fabricadas.....	43
Figura 20: Coleta da massa para o teste de densidade.	44
Figura 21: Teste de Inchamento e Absorção.....	45
Figura 22: Testes de Flexão estática.	47
Figura 23: Teste de adesão Interna.	49
Figura 24: Arrancamento de parafuso tipo face (superfície).	50
Figura 25: Gráfico de tendência do efeito da adição de nano ZnO na densidade dos painéis com UF e MF.....	52
Figura 26: Gráfico de tendência do efeito da adição de nano ZnO na umidade dos painéis com UF e MF.....	54
Figura 27: Gráfico de tendência do efeito da adição de nano ZnO no inchamento 2h dos painéis com UF e MF.....	56

Figura 28: Gráfico de tendência do efeito da adição de nano ZnO no inchamento 24h dos painéis com UF e MF.	58
Figura 29: Gráfico de tendência do efeito da adição de nano ZnO na absorção 2h dos painéis com UF e MF.	60
Figura 30: Gráfico de tendência do efeito da adição de nano ZnO na absorção 24h dos painéis com UF e MF.	61
Figura 31: Gráfico de tendência do efeito da adição de nano ZnO no Módulo de Ruptura dos painéis com UF e MF.	63
Figura 32: Gráfico de tendência do efeito da adição de nano ZnO no Módulo de Elasticidade dos painéis UF e MF.	65
Figura 33: Gráfico de tendência do efeito da adição de nano ZnO na Adesão Interna dos painéis com UF e MF.	67
Figura 34: Gráfico de tendência do efeito da adição de nano ZnO no Arrancamento Topo dos painéis com UF e MF.	69
Figura 35: Gráfico de tendência efeito da adição de nano ZnO no Arrancamento tipo Topo dos painéis UF e MF.	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores médios e normativos para a densidade.....	51
Tabela 2: Valores médios e normativos para o teor de umidade.....	53
Tabela 3: Valores médios e normativos para inchamento após 2 horas de imersão.	55
Tabela 4: Valores médios e normativos para inchamento após 24 horas de imersão.	57
Tabela 5: Valores médios e normativos para absorção de água após 2 horas de imersão.	59
Tabela 6: Valores médios e normativos para absorção de água após 24 horas de imersão.	60
Tabela 7: Valores médios e normativos para módulo de ruptura.....	62
Tabela 8: Valores médios e normativos para o módulo de elasticidade.	64
Tabela 9: Valores médios e normativos para adesão interna.	66
Tabela 10: Valores médios e normativos para arrancamento de parafuso tipo topo.....	68
Tabela 11: Valores médios e normativos para arrancamento de parafuso tipo face.	70

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	10
2.	OBJETIVOS.....	12
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1	PAINÉIS MDP	14
3.2	HISTÓRICO	15
3.3	MATÉRIAS-PRIMAS USADAS NA PRODUÇÃO	17
3.3.1	Madeira.....	18
3.3.2	Adesivos.....	20
3.3.2.1	Ureia-formaldeído (UF)	21
3.3.2.2	Melamina-formaldeído (MF)	22
3.3.3	Demais aditivos.....	22
3.4	PROCESSO PRODUTIVO DOS PAINÉIS	23
3.5	PRINCIPAIS VARIÁVEIS ENVOLVIDAS.....	24
3.6	PANORAMA DO MERCADO ATUAL.....	26
3.7	TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS.....	29
3.8	NANOPARTÍCULAS.....	30
3.9	CONSIDERAÇÕES SOBRE A REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	36
4.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	37
4.1	PREPARO DAS NANOPARTÍCULAS DE ZNO	37
4.2	PRODUÇÃO DAS CHAPAS DE PAINEL MDP	39
4.3	CARACTERIZAÇÃO FÍSICA	44
4.3.1	Densidade aparente.....	44
4.3.2	Inchamento e absorção de água	45
4.3.3	Teor de umidade.....	46
4.4	CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA.....	47
4.4.1	Flexão Estática.....	47

4.4.2.	Tração Perpendicular - Adesão Interna (AI)	49
4.4.3.	Arrancamento de Parafuso	49
4.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA	50
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
5.1	TESTES FÍSICOS	51
5.1.1	Densidade	51
5.1.2	Umidade	53
5.1.3	Inchamento em espessura e Absorção de água	54
5.1.3.1	Inchamento 2 horas	55
5.1.3.2	Inchamento em espessura após 24 horas	57
5.1.3.3	Absorção de água 2 horas	58
5.1.3.4	Absorção de água 24 horas	60
5.2	TESTES MECÂNICOS	62
6.	CONCLUSÃO	71
6.1	INFLUÊNCIA DAS NANOPARTÍCULAS	71
6.2	QUANTIDADE DE NANOPARTÍCULAS	72
6.3	DESEMPENHO DA RESINA	72
6.4	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	73
	REFERÊNCIAS	78

1 INTRODUÇÃO

Os constantes avanços industriais e o aumento cada vez mais significativo do número de empresas do setor madeireiro no Brasil fazem com que os estudos de novos produtos e procedimentos envolvendo a madeira se tornem extremamente importantes. Independente dos indicadores econômicos atuais do país, estudos como Ibá (2016), FNBFI (2017), ABIMCI (2017) entre outros, apontam que o setor madeireiro ainda vem apresentando bons resultados, possuindo inclusive uma tendência de crescimento.

Lima (2014) menciona que o setor apresenta um franco crescimento desde o final do século XX, possuindo diversas aplicações e grande potencial, principalmente, devido ao vasto território plantado, com florestas de crescimento rápido, e da grande variedade das características, espécies e localização da matéria-prima, a madeira.

O setor de indústrias madeireiras reúne uma gama de empresas, investidores e empreendedores que atuam desde o fornecimento de insumos e máquinas específicas para a atividade florestal, passando pela prestação de serviços especializados como a produção e plantio de mudas, colheita de árvores e transporte de madeira até a transformação da madeira em bens intermediários e finais (IBÁ, 2015).

Dentre os produtos de considerável destaque estão os painéis à base de madeira, produtos engenheirados em evolução constante e com histórico potencial de mercado no mundo todo. Os painéis de madeira são estruturas fabricadas com madeiras em lâminas ou em diferentes estágios de desagregação, que são aglutinadas através de adesivo sintético sob ação de temperatura e pressão. Substituem a madeira maciça em diferentes usos, como na fabricação de móveis e pisos (GONÇALVES, R. M.; MATTOS, R. L. G.; CHAGAS F. B. 2008).

Segundo Lima (2014) existe uma variada gama de painéis comercializados, dentre eles: as chapas de lâmina (compensados e painéis de lâminas paralelas), as chapas de partículas (MDP, OSB, *waferboard*) e as chapas de fibras de madeira (chapa dura, MDF e HDF). Os painéis de madeira industrializada, ou reconstituídos (PMR), são os painéis cuja demanda vem crescendo a taxas mais elevadas no país, sobretudo o MDF e o MDP (Vidal, A.C.F.; Hora, A.B., 2014).

Conforme dados da ABIPA (2015), o Brasil é um dos países mais avançados em fabricação de painéis à base de madeira, possuindo inclusive grande número de fábricas de

elevada tecnologia. Ressalta-se também que os principais fatores que afetam as propriedades dos painéis de partículas estão relacionados, principalmente, com a matéria-prima e as etapas do processo de fabricação; reforçando assim a necessidade cada vez maior do desenvolvimento de pesquisas em novas tecnologias de produção.

Em relação a matéria-prima, a utilização de madeira reconstituída traz consigo inúmeras vantagens, como: pré-fabricação, industrialização, homogeneidade, redução de anisotropia e utilização de espécies de rápido crescimento proveniente de florestas plantadas (LIMA *et al.*, 2004). Dentre as espécies de destaque industrial, para produção de painel MDP usa-se o *Pinus spp* e o *Eucalyptus spp*, nas mais variadas espécies, e em atualmente, clones e híbridos com propriedades específicas.

Já no que concerne ao processo, com base nessa busca indispensável por inovações tecnológicas, as nanopartículas surgem de forma promissora e podem facilmente ser implantadas nesse setor, visto que uma revolução vem acontecendo na ciência e tecnologia dos materiais, mostrando que os mesmos, em escala nanométrica, podem apresentar novos comportamentos e propriedades comparadas as de escala macroscópica (DURÁN *et al.*, 2006).

Dentre os mais variados materiais utilizados em escala nanométrica, atualmente o óxido de Zinco (ZnO) vêm apresentando grande destaque, tanto no meio industrial como em pesquisas. Entre os principais motivos para esse interesse, destaca-se sua diversidade de aplicação, propriedades físico-químicas e a variedade de estruturas.

Alguns estudos já realizados com o uso de diferentes tipos de nanopartículas aplicadas em produtos madeireiros, inclusive painéis de partículas MDP, mostraram uma importante tendência de melhora em propriedades intermediárias e finais das chapas, como resistência a umidade, transferência de calor, facilidade de beneficiamento, ataque de agentes xilófagos, entre outros.

A partir do exposto, o presente trabalho visou estudar a viabilidade do uso de nanopartículas de óxido de zinco (ZnO) na produção de painéis particulados de média densidade (MDP) analisando a influência das mesmas em suas diferentes propriedades físicas e mecânicas, apresentando uma proposta inovadora para a indústria de painéis, tendo em vista que até hoje tal assunto é apenas objeto de pesquisa.

2 OBJETIVOS

O objetivo principal do presente estudo foi avaliar as propriedades físico-mecânicas com base na norma brasileira ANBT NBR 14.810:2013 de painéis particulados de madeira produzidos com madeira de eucalipto, acrescidos de duas diferentes proporções de nanopartículas de óxido de Zinco (ZnO) para duas diferentes resinas usadas comercialmente.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar as propriedades físicas dos painéis a partir da adição de 0,5% e 1% de nanopartículas de óxido de zinco;
- Avaliar as propriedades mecânicas dos painéis a partir da adição de 0,5% e 1% de nanopartículas de óxido de zinco;
- Avaliar o desempenho dos painéis MDP produzidos com resina melamina-formaldeído e ureia-formaldeído;
- Comparar os resultados físico-mecânicos dos painéis testemunha e com adição de nanopartículas com especificações normativas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Um país de grandes dimensões e com uma enorme diversidade de biomassa e espécies vegetais como o Brasil tem por essência o segmento madeireiro como destaque. A disponibilidade de florestas plantadas e de rápido crescimento, aliado ao progresso tecnológico colocam os painéis de madeira em evidência. Segundo Mendes (2001) é possível gerar novos produtos pela reconstituição da madeira desde que utilizando métodos e processos adequados. Com isso a madeira torna-se importante como insumo, pois se caracteriza como matéria-prima renovável e com baixo consumo de energia de processamento.

A utilização de madeira reconstituída é uma tendência atual que traz consigo inúmeras vantagens, como: pré-fabricação, industrialização, homogeneidade, redução de anisotropia e utilização de espécies de rápido crescimento proveniente de florestas plantadas (LIMA *et al.*, 2004)

No mercado atual, os painéis à base de madeira em destaque são: as chapas de lâmina de madeira (compensados e painéis de lâminas paralelas), as chapas de partículas (MDP, OSB e *waferboard*) e as chapas de fibras de madeira (chapa dura, MDF e HDF), dos quais, entre a classe de particulados, destaque-se os painéis MDP (BERTOLINI, 2014). Eles estão consolidando posições de destaque no setor florestal e na economia brasileira, em decorrência do grande crescimento da produção na última década (EISFELD, 2009).

Segundo relatório BNDES (2003), as chapas de madeira reconstituída são fabricadas com base no processamento químico e mecânico da madeira, que passa por diferentes processos de desagregação, destacando-se os formados por partículas de madeira e os compostos por madeira em estágio mais avançado de desagregação, que são as fibras.

Ainda segundo BNDES (2003), os painéis de madeira reconstituída (PMR) apresentam várias vantagens em relação à madeira maciça e até mesmo outros painéis como o compensado, dentre elas: o aproveitamento quase integral das toras, possibilidade do uso de toras de pequeno diâmetro ou até mesmo de resíduos (não limitando-se as dimensões das árvores), minimização do fator anisotrópico da madeira devido à disposição aleatória das partículas, maior facilidade de impregnação com produtos repelentes a insetos (como cupins ou vespas), umidade e retardantes de fogo (os chamados aditivos).

3.1 PAINÉIS MDP

Os painéis MDP (*Medium Density Particleboard*) são painéis particulados de madeira aglomerada de média densidade, com valores entre 550 e 750 kg/m³ de acordo com a ABNT NBR 14810-2:2013. Segundo Iwakiri (2005) são painéis produzidos com partículas de madeira incorporados de um adesivo sintético, reconstituídos e consolidados através da aplicação de calor e pressão por meio de uma prensa mecânica.

O MDP é um painel considerado uma evolução do aglomerado, devido as características da sua produção e, principalmente, qualidade final do produto. Com relação às partículas, essas são posicionadas de maneira diferenciada, sendo as partículas maiores arranjadas na parte central do painel e as menores nas duas superfícies externas configurando assim três camadas. (MACIEL *et al.*, 2004).

As camadas externas são geralmente formadas por partículas de granulometrias entre 30 e 150 *mesh*, enquanto que a camada interna com madeira particulada na faixa aproximada de 8 a 16 *mesh*, obtidas pelo processamento mecânico da madeira. A aparência das partículas de cada camada e o painel final comercialmente utilizados podem ser vistos na Figura 1.

Figura 1: Partículas para camadas externa e interna de um painel MDP.



Fonte: Autor.

Para melhor compreensão da disposição das partículas mencionadas, a Figura 2 apresentada a seguir ilustra esquematicamente como deve ser a distribuição das mesmas. Dessa forma, devido às novas características de processamento, a interligação e iteração das mesmas conferem às chapas uma melhor qualidade final para as futuras etapas de processamento, beneficiamento e até mesmo revestimento dos painéis. Segundo Vidal e Da Hora (2014), esse revestimento pode ser feito com lâminas de madeira natural, papel FF (*Finish Foil*) ou papel BP (Baixa Pressão).

Figura 2: a) Camadas de um painel MDP; **b)** Disposição das partículas no painel MDP



Fonte: Iwakiri (2005).

Esses produtos são alternativas interessantes à madeira maciça, pois suas propriedades mecânicas apresentarem valores bastante elevados. Além disso, podem minimizar os defeitos decorrentes de secagem, defeitos da madeira como nós, medulas e desvio de grã, assim como as limitações consequentes das dimensões das peças de madeira serrada (SILVA, 2016).

Sendo assim, pode-se dizer que os painéis MDP e seu processo de produção proporcionam um uso mais integral da matéria-prima sem comprometer a qualidade final do produto desenvolvido.

De acordo com Vidal e Da Hora (2014), o consumo de painéis de madeira tem mundialmente uma forte ligação com a construção civil, desde a construção direta de escritórios e residências até com acabamento e mobiliário. Assim, os painéis MDP apresentam elevadas taxas de crescimento de produção, principalmente, devido a ampla variedade de possíveis produtos a serem fabricados a partir dos mesmos, como móveis e utensílios domésticos variados, pisos engenheirados, revestimentos, divisórias, e segundo Surdi (2015), até mesmo em casas pré-fabricadas.

3.2 HISTÓRICO

O início da produção de painéis à base de madeira reconstituída comparado a outros produtos da engenharia pode ser considerado recente, tendo em vista que o início da utilização do mesmo data do começo do século XIX, por volta do ano de 1818 na Alemanha, vinculada praticamente a invenção do torno. Foi especialmente no século XX, que segundo Iwakiri (2005), iniciou-se à industrialização dos painéis, ainda como compensados, nos Estados Unidos.

Com a dificuldade de obtenção de madeira de boa qualidade, novamente na Alemanha iniciou-se a produção do painel de madeira aglomerada, em 1940. Após a Segunda Guerra

Mundial, a indústria de painéis aglomerados se desenvolveu extraordinariamente em diversas partes do mundo, utilizando não apenas partículas de madeira, mas também materiais lignocelulósicos, como o bagaço de cana (IWAKIRI, 2005).

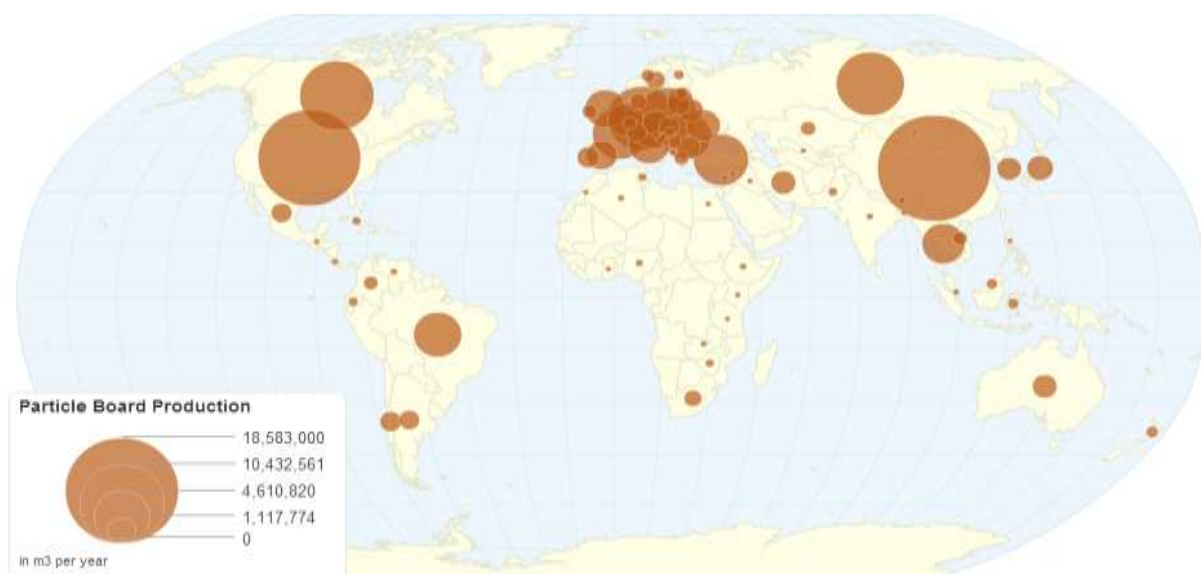
Em 1967, segundo Nascimento *et al.* (2015), a indústria de chapa de partículas já havia se expandido por toda a Europa, América do Norte, União Soviética, Japão, América Latina e África, principalmente, devido a busca constante de aperfeiçoamento na fabricação das chapas, focando tanto na qualidade final dos produtos como na máxima mecanização e automatização do processo produtivo.

Já no Brasil, Mattos, Gonçalves e Chagas (2008), descrevem que foi somente a partir da segunda metade da década de 1960, que o aglomerado passou a ser fabricado com a construção da primeira fábrica de painéis, a Placas do Paraná, em Curitiba. Posteriormente, surgiram também as fábricas da Satipel, em 1970, em Taquari (RS), e as fábricas da Madeplan e Alplan que, em 1984, foram compradas pela Duratex.

De acordo com BNDES (2003), a expansão do segmento no Brasil teve como principais estímulos as boas expectativas sobre a demanda, juntamente com os incentivos concedidos pelo Conselho de Desenvolvimento Industrial do Ministério da Indústria e do Comércio (CDI). Assim, a partir de 1991 houve um crescimento tão expressivo da demanda de chapas de partículas que foi necessário importar o produto principalmente pelo crescente uso no setor de móveis populares.

Atualmente, a produção de chapas de partículas abrange praticamente toda a Europa (destacando-se a Alemanha), Estados Unidos e América do Sul, incluindo o Brasil (FIGURA 3). No âmbito nacional a relação econômica já se encontra equilibrada, com grande parte do consumo no próprio mercado nacional, mas considerável crescimento nas exportações por indústrias conceituadas do setor.

Figura 3: Produção de painéis MDP no mundo



Fonte: Relatório Ibá (2015).

Diagnósticos realizados sobre fatores de competitividade do setor moveleiro induzem para a necessidade de modernização e aumento da concorrência na indústria fornecedora de matéria-prima. A instalação de novas unidades produtoras de painéis, tecnologicamente atualizadas, especialmente no que diz respeito à indústria moveleira, já representa o aumento da oferta de chapas a preços mais adequados (COELHO, 2003).

3.3 MATÉRIAS-PRIMAS USADAS NA PRODUÇÃO

Os painéis MDP produzidos industrialmente no Brasil são constituídos basicamente de partículas de madeira, adesivo termofixo e aditivos químicos como parafina e catalisador, que tem a função de aumentar a resistência à umidade e acelerar o processo de cura do adesivo, respectivamente. Dentre as espécies de destaque na indústria estão o *Pinus ssp*, o *Eucalyptus ssp* e suas diversas variedades de clones e híbridos criados especialmente para o setor.

3.3.1 Madeira

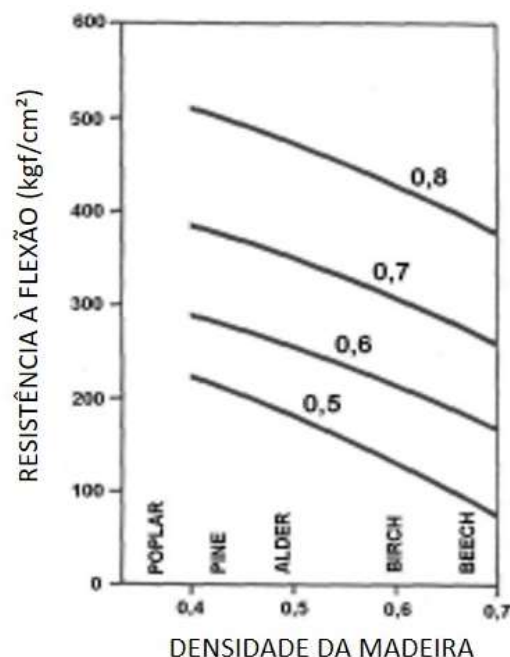
A madeira pode ser considerada como um material extremamente heterogêneo. Segundo Lima (2014) suas propriedades físicas, químicas e mecânicas variam entre espécies diferentes, entre árvores de uma mesma espécie e até mesmo em uma mesma árvore. Além disso, a madeira como um material natural pode apresentar defeitos difíceis de se prever ou controlar, caso dos nós, madeira de reação, tipo de grã, densidade dos anéis, entre outros.

Devido a essas certas limitações existentes na madeira, e também visando um maior aproveitamento, constantemente são realizadas pesquisas buscando uma alternativa para o uso da madeira sólida e os resíduos gerados em seu processamento, geralmente caracterizado por apresentar baixo rendimento. Uma das opções desenvolvidas é a produção de painéis à base de madeira, os quais possibilitam inclusive o aproveitamento de resíduos da indústria madeireira, fato que se encontra em constante evidência atualmente (MADEIRA TOTAL, 2008).

A escolha da madeira empregada na produção dos painéis MDP são de suma importância. Utilizar a espécie mais adequada pode proporcionar maiores resistências tanto em relação as propriedades físicas como mecânicas. Para Matos (1988) as espécies influenciam também sobre os parâmetros de prensagem, onde as características anatômicas particulares estão presentes nas partículas submetidas à compressão, o que influi na resistência oferecida à compactação sob as condições de pressão e temperatura.

Maloney (1993) considera a densidade da madeira utilizada como a variável de maior importância quando se trata da sua influência nas propriedades finais do painel, visto que a mesma interfere diretamente na densidade do próprio painel produzido. A Figura 4 apresenta um gráfico onde se evidencia essa relação e interferência em relação a resistência a flexão das chapas.

Figura 4: Relação entre resistência dos painéis e densidade da madeira e das chapas.



Fonte: Iwakiri (2005).

Observa-se que, independente da densidade média dos painéis, apresentados nas curvas (de 0,5 a 0,8), há uma relação direta entre a densidade da espécie de madeira utilizada e a resistência à flexão, quanto maior a densidade da madeira, menor a resistência do painel.

As partículas de madeira de menor densidade podem ser comprimidas em painéis de média densidade com a garantia de promover um contato suficiente entre as partículas, o qual acarretará em uma boa colagem do painel. Já madeiras com alta densidade não possuem esta mesma característica, pois necessitam de uma maior pressão para atingirem um bom contato entre as partículas, produzindo assim painéis de alta densidade, os quais possuem um custo maior para a produção e são mais pesados.

Portanto, partículas de madeira de menor densidade podem produzir painéis de média densidade com as propriedades físicas e mecânicas desejadas. Mas isto pode ser solucionado através da mistura de madeiras de baixa e alta densidade, possibilitando produzir painéis de média densidade com boas propriedades. (MALONEY, 1993).

No Brasil, a madeira de florestas plantadas, em especial de eucalipto e de pinus, constitui a principal fonte de matéria-prima (EISFELD, 2009). Porém, segundo Iwakiri (2000) há mais de 10 anos, pesquisas têm demonstrado a viabilidade de utilização de resíduos, e ressaltam a

necessidade do melhor aproveitamento da matéria-prima e uso racional dos recursos florestais, criando-se assim uma gama enorme de novas possibilidades para o melhor uso da matéria-prima principal.

Mas, embora o propósito inicial das primeiras indústrias de painéis aglomerados no mundo tenha sido o aproveitamento dos resíduos florestais, no Brasil essa prática ainda é incipiente em nível industrial, restringindo-se a trabalhos acadêmicos, realizados em escala laboratorial (PIERRE *et al.*, 2014)

3.3.2 Adesivos

Ribeiro (2008) afirma que vários tipos de adesivos podem ser empregados na colagem de componentes de madeira, sendo importante levar em conta o seu desempenho, e, para que o mesmo seja satisfatório, deve-se analisar alguns fatores como: os requisitos de processo, a compatibilidade físico-química entre o substrato e o adesivo, a durabilidade, suas propriedades mecânicas, a facilidade de uso e seu custo.

Ribeiro (2008) considera importante realizar uma boa seleção do adesivo considerando a capacidade de modificação da forma do adesivo, as características do adesivo durante o processo de colagem como a fluidez e sua facilidade de transferência, além das características e propriedades da madeira utilizada como a densidade, porosidade, pH, permeabilidade e umidade.

De acordo com Iwakiri (2005), os principais tipos de adesivos utilizados na produção de painéis aglomerados são: ureia-formaldeído, para painéis de uso interno; fenol-formaldeído, utilizado em menor escala, e destinada a produção de painéis estruturais que requerem alta resistência à umidade; e melamina-formaldeído, utilizada geralmente em mistura com a ureia-formaldeído, a fim de conferir aos painéis uma maior resistência à água.

Esses adesivos utilizados podem ser classificados de acordo com sua origem, sendo todos eles adesivos sintéticos, que segundo Iwakiri *et al.* (2005), subdividem-se em termoplásticos e termo endurecedores. Destacam-se os adesivos termo endurecedores pela possibilidade de imunidade ao ataque de microrganismos e, principalmente, pelo fato da cura ser irreversível.

Utilizar corretamente os adesivos e otimizar todo o processo de colagem são essenciais para a boa formação do painel MDP, tanto em relação a influência nas propriedades pelos principais parâmetros de prensagem (temperatura, tempo e pressão), como por questões

econômicas, visto que Mendes *et al.*(2000) afirma que o adesivo representa em torno de 35% do custo total das chapas, o que é considerado um alto custo na produção dos painéis de partículas.

Segundo Iwakiri (2005) a quantidade de adesivo utilizado num painel é determinada, de acordo com o teor de sólidos da resina, ou seja, quantidade de material colante sólido presente (resina de fato), em relação a massa das partículas de madeira, podendo variar de 5% a 10%.

Na prática o resultado do desenvolvimento de uma resina ocorre de acordo com as necessidades específicas de cada processo. Essas resinas, também conhecidas como “especialidades químicas”, são produzidas a partir de testes e simulações realizadas em laboratório e no próprio processo de aplicação, validadas geralmente pelo desempenho apresentado (KATSUKAKE,2009).

3.3.2.1 Ureia-formaldeído (UF)

As resinas ureia-formaldeído são amplamente utilizadas na confecção de painéis de madeira. Esta classe de resina é formada pela condensação de moléculas de ureia e formaldeído (formol), e possuem vantagens como: rapidez, controle, capacidade de concentração, entre outras. Porém entre as desvantagens está a vulnerabilidade à hidrólise fora do pH neutro e a consequente emissão de formol, por desprendimento de uma molécula deste composto (SAKS,2012)

De acordo com Lessmann (2008), a resina ureia-formaldeído é a mais utilizada na fabricação tanto dos painéis MDP como MDF. Isso se dá, principalmente, pelo fato de utilizar a água como veículo de síntese, possuir uma maior velocidade de cura e um baixo desenvolvimento de cor em comparação com outras resinas, boa resistência a chama devido a presença de nitrogênio, e principalmente, um menor custo.

Atualmente, o Brasil possui um número relativamente alto de empresas que produzem a resina ureia-formaldeído. Entretanto, apenas três empresas se destacam no fornecimento dessas resinas às fabricantes de painéis de madeira reconstituída (GPC, Royalplas e Hexion) (KATSUKAKE,2009)

Essas resinas são, geralmente, fabricadas em solução aquosa com teor de sólidos em torno de 60 a 70%, podendo também ser produzida na forma de pó; pH na faixa de 7,4 a 7,8; viscosidade Brookfield (25°C) na faixa de 300 – 1.000 cp; e densidade entre 1,25 e 1,30 g/cm³.

A ureia-formaldeído apresenta coloração clara e é caracterizada por seu uso interno, sendo ideal para temperaturas de prensagem geralmente compreendido entre 95 e 120°C, dependendo do composto usado para a cura da cola.

3.3.2.2 Melamina-formaldeído (MF)

A resina melamina-formaldeído pode ser classificada como de uso intermediário, visto que possui uma maior resistência à umidade comparada à ureia-formaldeído. Com uma coloração branco leitosa, a resina melamínica pode ser utilizada independentemente, como único componente de ligação, ou como fortificante na mistura com ureia-formaldeído.

Com teor de sólidos entre 65 e 67%, pH em torno de 7,5/9, viscosidade Brookfield (25°C) entre 150 e 210cp e densidade aproximada de 1,29 g/cm³, tem uma temperatura de prensagem, temperatura de cura próximo de 65 a 130°C, e durabilidade baixa, cerca de um mês.

Apesar de possuir um custo mais alto em relação as outras resinas, a resina melamínica proporciona propriedades e resistências mais elevadas. Com isso, um uso comum da mesma é através da mistura de resinas, MUF, melamina-ureia-formaldeído.

3.3.3 Demais aditivos

Segundo Iwakiri *et al.* (2005) aditivos químicos são produtos incorporados às partículas de madeira durante o processo de aplicação do adesivo, com a finalidade de melhorar algumas propriedades específicas do painel.

Lima (2014) destaca que entre os aditivos mais utilizados para a fabricação do MDP estão o catalisador ou endurecedor, cuja função é reativar a pré-condensação e aumentar a velocidade de polimerização e cura da resina, e a emulsão de parafina, a fim de reduzir a higroscopicidade das partículas de madeira e melhorar a estabilidade dimensional dos painéis.

A parafina é adicionada na forma de emulsão em teores de aproximadamente 0,2% a 0,5% em relação ao peso seco das partículas (LARA PALMA, 2009). Os catalisadores mais utilizados, para trabalho em temperaturas altas, são o sulfato de amônia e o cloreto de amônia.

3.4 PROCESSO PRODUTIVO DOS PAINÉIS

Simplificadamente, o processo produtivo constitui-se em reduzir a madeira a pequenos pedaços, mesclá-los com resinas e, depois, com a ação de pressão e temperatura, formar os colchões de madeira em chapas de partículas aglomeradas, que são então, cortados e processados.

A Figura 5 mostra de forma esquemática as principais etapas da produção do painel MDP.

Figura 5: Processo produtivo do painel MDP.



Fonte: LIMA (2014).

As toras provenientes de áreas de reflorestamento são primeiramente secas ao ar em pátios de armazenagem, podendo ou não ser seccionadas em toretes menores para facilitar os procedimentos seguintes: descascamento e picagem. As cascas são retiradas devida a grande quantidade de impurezas presente e a possível absorção prejudicial de resina e outros aditivos líquidos.

A etapa para picar a madeira é o seccionamento das toras em chips ou cavacos que após transformação são devidamente classificadas para seguir para geração das partículas ou serem retrabalhadas. As partículas de tamanho adequado para cada camada são geradas por meio de moinhos de facas ajustadas conforme a granulometria desejada.

Em seguida, as partículas passam por um controle de umidade e de dimensões através de uma secagem forçada e uso de classificadores. Assim, inicia-se a formação do colchão e encolagem das camadas com maior controle das variáveis e fatores que influenciam as propriedades finais. Outras etapas e equipamentos podem ser usados na etapa de formação conforme a indústria produtora, sendo etapas imutáveis a pré-prensagem e a prensagem a quente.

Com as chapas já formadas conforme especificações solicitadas, as mesmas são resfriadas e seguem para beneficiamento e processamento que consistem em etapas de lixamento, aplicação de revestimento, envernizamento etc.

3.5 PRINCIPAIS VARIÁVEIS ENVOLVIDAS

Segundo Matos (2006), entre as principais variáveis que influenciam na consolidação do painel estão: o teor de umidade das partículas, o tempo de fechamento dos pratos da prensa (processo descontínuo), além do tempo, pressão e temperatura de prensagem. Destacando-se que é na etapa de prensagem, com todas as variáveis do ciclo, que são definidas a maioria das propriedades e formas de uso final dos painéis.

Segundo Ranita *et al.* (2005), os parâmetros do processo de prensagem influenciam efetivamente o ambiente interno do colchão de partículas e, conseqüentemente, as propriedades finais do painel. Considera-se que os parâmetros que mais influenciam todo o processo são a temperatura dos pratos da prensa, a pressão hidráulica e a duração do ciclo de prensagem.

O processo de prensagem pode ser considerado como a etapa mais crítica da produção dos painéis MDP (CAI *et al.*, 2009). A consolidação do painel particulado é realizada durante este processo, onde com aplicação de elevada pressão e temperatura, o colchão de partículas adquire as condições finais desejadas em determinado período de tempo, seja quanto à espessura final assim como suas propriedades físico-mecânicas (RANITA *et al.*, 2005).

A temperatura de prensagem na produção de painéis particulados de madeira é simplesmente a temperatura em que se aquecem os pratos da prensa. Esta, é responsável basicamente pela aceleração da polimerização do adesivo distribuído entre as partículas e a plasticização da madeira (MATOS, 1988). Iwakiri (2005) afirma que o valor da temperatura é definida de acordo com o tipo de resina utilizada, porém geralmente, utiliza-se temperaturas entre 120° a 200°C, conformes as especificações requisitadas.

Nesta etapa ocorre a densificação do material por um processo mecânico de deformação, além do aquecimento do material e cura da resina. Essa transferência de calor ocorre das camadas mais externas para o centro do painel, que inicialmente encontra-se frio, porém ao atingir certa temperatura sofre compactação até o painel atingir a espessura desejada (ELEOTÉRIO, 2000).

De acordo com Iwakiri (2005), salvo exceções, quanto maior a temperatura de prensagem, menor é o tempo de prensagem, e conseqüentemente, maior é a produtividade da unidade fabril.

O tempo de prensagem nada mais é do que o período de tempo entre o momento da consolidação do colchão de partículas, onde se inicia a aplicação de força e temperatura até o momento de abertura dos pratos da prensa. O tempo ideal é aquele suficiente para que em toda a chapa haja a cura do adesivo e união das partículas, tendo o centro da chapa também atingido temperatura suficiente para isto (LEHMANN *et al.*, 1973).

Segundo Marra (1992), com o tempo de prensagem ideal ocorre a polimerização da resina por toda a chapa, das camadas mais externas à interna, proporcionando influências significativas sobre as propriedades dos painéis, controle de espessura e a qualidade de superfície.

O tempo de prensagem, segundo Iwakiri (2005), depende principalmente da eficiência da transferência de calor, da espessura final desejada, da temperatura de prensagem utilizada e da distribuição da umidade pelo colchão.

Ranita *et al.* (2005) concluíram que painéis produzidos com tempos de prensagem entre 130 e 150 segundos, atingiram bons valores para as propriedades físico-mecânicas, tendo sido observada uma tendência de melhora tanto do MOE como da resistência interna com o acréscimo do tempo. Já Iwakiri (2005) define que industrialmente, esse tempo deve ser definido em torno de 6 a 12 segundos por mm de espessura do painel.

Segundo Matos (1988) e Lima (2014), embora estudos analisando a interferência das variáveis do ciclo de prensagem sejam raros na literatura, um dos grandes focos de reduções no processo produtivo dos painéis é o tempo de prensagem, visto que implicam em uma maior produção por unidade de tempo, afeta efetivamente as propriedades físico-mecânicas, bem como provocam uma redução no consumo de energia e, conseqüentemente, menores custos de produção.

Em relação a pressão, deve-se levar em conta a força mínima necessária para a densificação do colchão até a espessura final do painel e também para assegurar um contato superficial adequado entre as partículas de madeira (KELLY, 1977).

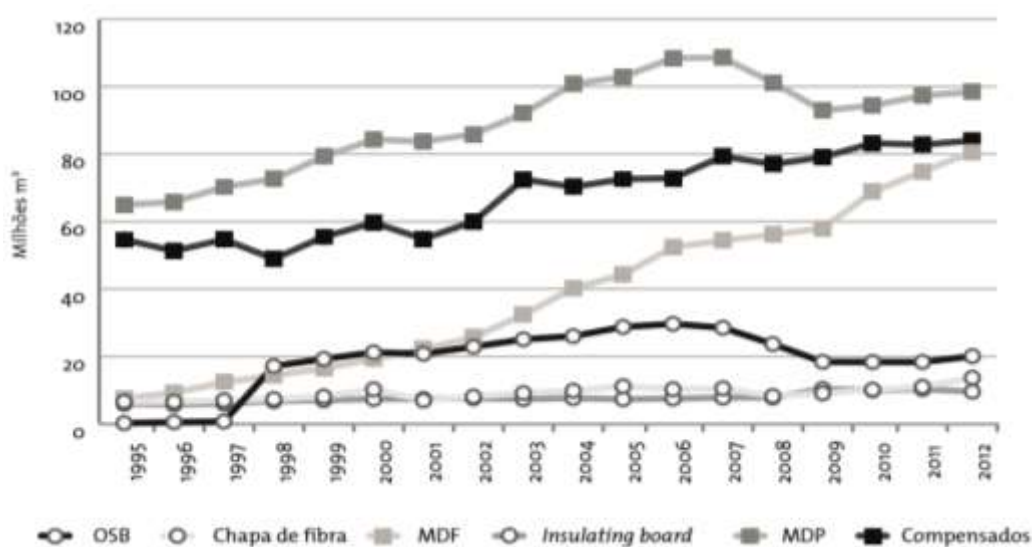
Eleotério (2000) relata que a pressão afeta diretamente a densidade dos painéis, descrevendo ainda que é possível reduzir a pressão com o aumento da umidade do colchão, já que assim aumenta-se o tempo de prensagem.

A operação de prensagem é uma das etapas com maior custo operacional no processo de fabricação do painel. A prensagem exige um controle rigoroso de todos os parâmetros operacionais de forma a garantir a qualidade do produto final. (RANITA *et al.*, 2005)

3.6 PANORAMA DO MERCADO ATUAL

Em relação ao desempenho por produtos, pode-se observar segundo Vidal e Da Hora (2014) que os grandes destaques globais são os painéis MDF e o MDP. Embora o MDF tenha apresentado maior variação, tanto em termos absolutos quanto relativos entre todos os tipos de painéis, passando de 5% do consumo mundial em 1995 para 26% em 2012, o MDP, mesmo perdendo participação no total (de 46% em 1995 para 32% em 2012) manteve a liderança como o principal painel de madeira consumido no mundo. A Figura 6 mostra a variação do consumo dos variados tipos de painéis.

Figura 6: Variação do consumo MDP.



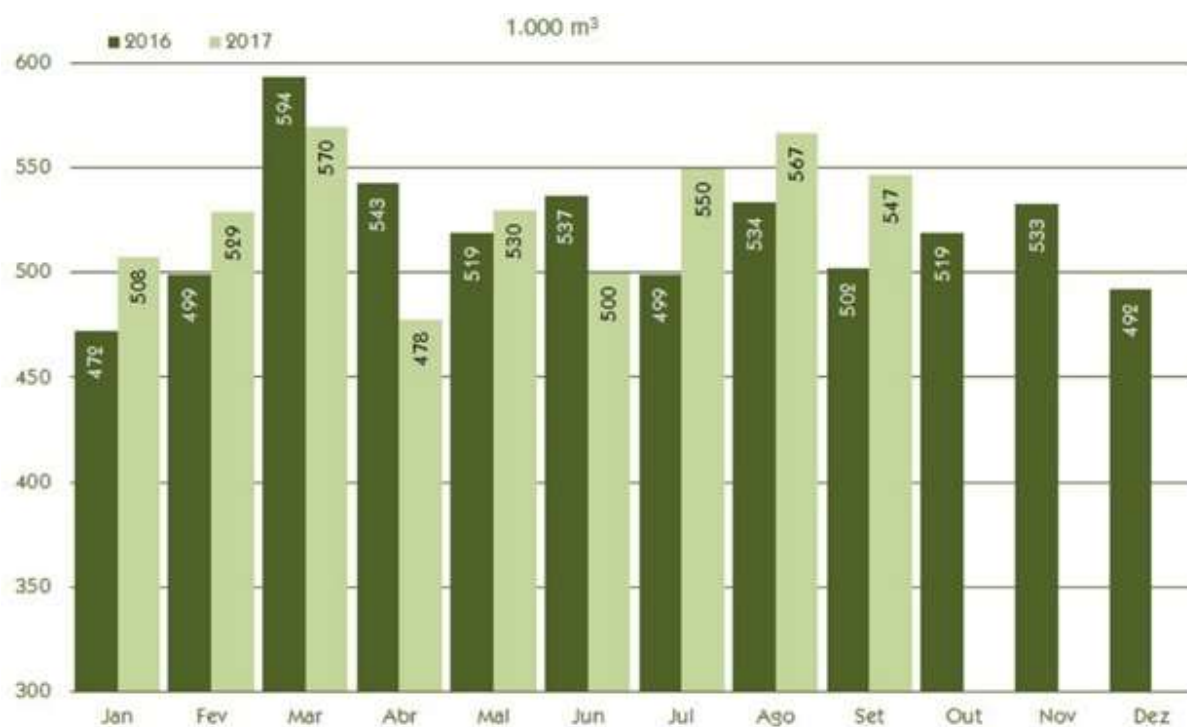
Fonte: Vidal (2014).

Observa-se que dentre os principais painéis produzidos, o destaque maior é o painel MDP, tanto por sua popularidade, como diversidade de uso, de características de produção e principalmente, valor econômico.

Atualmente, o MDP ainda é o painel de madeira mais produzido e mais consumido no mundo, representando no Brasil aproximadamente 50,0% da produção de painéis reconstituídos. Porém, praticamente toda essa produção é consumida no mercado interno, e para os casos de exportação do MDP, grande parte se concentra nos países sul-americanos, como Argentina, Colômbia, Bolívia, Paraguai e Peru, que em 2009, corresponderam por 94,0% do total das exportações do MDP brasileiro (ABRAF, 2010).

Com o gráfico da evolução do consumo de painéis no Brasil referente aos anos de 2016 e 2017, segundo a Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ), vemos que mesmo com o período de recessão e dificuldades econômicas enfrentadas pelo país, os painéis a base de madeira continuam com sua produção em alta, muito devido a produção e comercialização dos painéis particulados, MDP. O gráfico dessa evolução pode ser visto na Figura 7.

Figura 7: Evolução do consumo aparente de painéis.



Fonte: Relatório Mensal IBÁ (2017).

Segundo dados da organização, um período de baixa demanda no mercado interno de painéis começou em 2015, tendo como alternativa a ampliação do mercado externo. De janeiro a novembro de 2016, mais de 932 mil m³ foram vendidos para outros países, enquanto em 2015 haviam sido comercializados 564 mil m³, correspondendo a um aumento de 65% e gerando um saldo positivo de 170 mil m³. A Figura 8 exemplifica esse cenário.

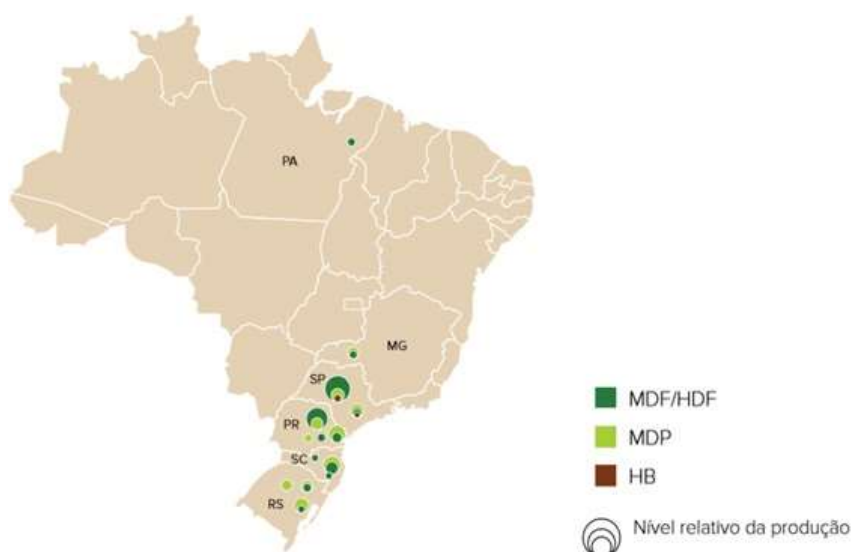
Figura 8: Exemplificação do cenário de painéis.

Painéis de Madeira	Maio			Janeiro - Maio		
	2016	2017	Var. %	2016	2017	Var. %
Vendas Domésticas	519	530	2,1	2626	2615	-0,4
Exportações	91	114	25,3	359	490	36,5
Importações	0	0	-	1	1	0,0
Consumo aparente	519	530	2,1	2627	26616	-0,4

Fonte: Relatório Mensal IBÁ (2017).

Existem atualmente no Brasil 18 unidades produtoras de painéis de madeira reconstituída. Com cerca de 7,5 milhões de m³, o segmento brasileiro de painéis de madeira ocupa o 8º lugar no *ranking* mundial dos maiores produtores (IBÁ,2016).

Figura 9: Fábricas de painéis no Brasil.



Fonte: IBÁ (2016).

De 2011 a 2015, foram inseridos 500 mil m³ de painéis brasileiros em outros países, aumento de aproximadamente 404%. De janeiro a novembro de 2016, as exportações do setor de painéis de madeira cresceram 65,2% na comparação com o mesmo período de 2015. Esses resultados comprovam a qualidade e a competitividade dos painéis de madeira reconstituída Brasileiro no mercado interno e externo.

3.7 TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS

Com o comprovado potencial e disponibilidade de mercado para os painéis de madeira reconstituída, o interesse sobre as pesquisas com painéis MDP se tornaram um tema cada vez mais frequente. Vários materiais vêm sendo estudados para a produção de painéis de partículas, seja na substituição total ou na substituição parcial da madeira.

Estes materiais normalmente são obtidos a partir de resíduos de processos industriais, florestais ou agrários, sendo, portanto, uma boa alternativa para um melhor aproveitamento de resíduos, que muitas vezes são descartados de forma incorreta ou não possuem um destino adequado e nenhum valor agregado (FERREIRA, 2013).

Conseguir agregar novos materiais tecnológicos respeitando as condições ambientais, sociais e econômicas, com base na sustentabilidade, é um desafio mundial e primordial. Buscar otimizar as propriedades e as variáveis de produção dos painéis MDP são alguns dos exemplos de linhas de estudos internacionais.

Como exemplo de destaque, pode-se citar a adição de nano materiais aos produtos do setor madeireiro, e dentre eles os painéis à base de madeira. Poubel (2014) testou a estabilidade da cor da madeira de *Pinus* tratada com nanopartículas, tendo a mesma melhorado; Akhtari *et al.* (2013) encontraram um potencial fungicida das nanopartículas com a madeira de *Paulownia fortunei*; Blanchard & Blanchet (2011) testou a madeira tratada com nanopartículas de TiO₂ quanto a resistência aos raios UV; Salari *et al.* (2013) aplicaram nano-SiO₂ em painéis OSB; Taghiyari *et al.* (2013) verificaram a influência da nano-prata em painéis aglomerados de *Poplar spp*; entre diversos outros estudos.

3.8 NANOPARTÍCULAS

Uma nanopartícula se caracteriza por possuir tamanho de 1 a 100 nm (nanômetros), havendo grande diversidade devido à sua forma e tamanho, ao estado e meio de dispersão, superfície e natureza química. Assim, todas as propriedades do material estão diretamente ligadas a essas características. (MIGUEL, 2012)

Segundo Clausen *et al.* (2010), entre as principais vantagens das partículas em escalas nanométricas está a maior área de superfície quando dispersos uniformemente em uma camada. As nanopartículas têm grande área superficial e podem melhorar as propriedades dos materiais com o qual interagem (ARAFA, 2004).

Um nanomaterial artificial sintetizado pode ser utilizado para diferentes finalidades específicas e ser encontrado de várias formas diferentes. Pode ser subdividido em tipos orgânicos e inorgânicos: os orgânicos tem o carbono incluído em suas estruturas poliméricas específicas, já os inorgânicos incluem metais, óxidos de metais e metalóides, argilas e um subconjunto específico de compostos (SABDIN, 2010; PARK, 2007).

Os nanomateriais que possuem estruturas unidimensionais (1D) e tridimensionais (3D), em particular, proporcionam uma oportunidade fundamental para a investigação dos efeitos de tamanho e dimensionalidade das estruturas sobre suas propriedades óticas, elétricas, magnéticas e estruturais

Yu *et al.* (2007) classifica a produção de nanopartículas em duas categorias principais: processos físicos e processos químicos. Granqvist e Buhrman (1976) descrevem métodos físicos como aqueles que incluem trituração mecânica e técnicas de condensação em gás inerte, geralmente usa-se o argônio. Já os métodos químicos para a produção de nanopartículas, descritos por Hosokawa *et al.* (2007), incluem precipitação química, micro emulsões, deposição química de vapor e combinação de plasma.

De acordo Sass (2006), Akhtari *et al.* (2013) e Poubel (2014), existem diversos métodos de aplicação de nanopartículas, geralmente aplicadas em solução. Dentre elas pode-se citar: a aplicação com rolo mecânico, para soluções com média/alta viscosidade ou, no caso da madeira, quando a mesma é muito porosa; aplicação à vácuo, pela remoção do ar interno; aplicação à jato, através de aspersores; aplicação por imersão; e aplicação sob pressão.

Segundo Taghiyari (2014) mudanças incomuns nas propriedades de um sólido podem ocorrer quando o tamanho de uma partícula ou o tamanho dos grãos é reduzido para a escala

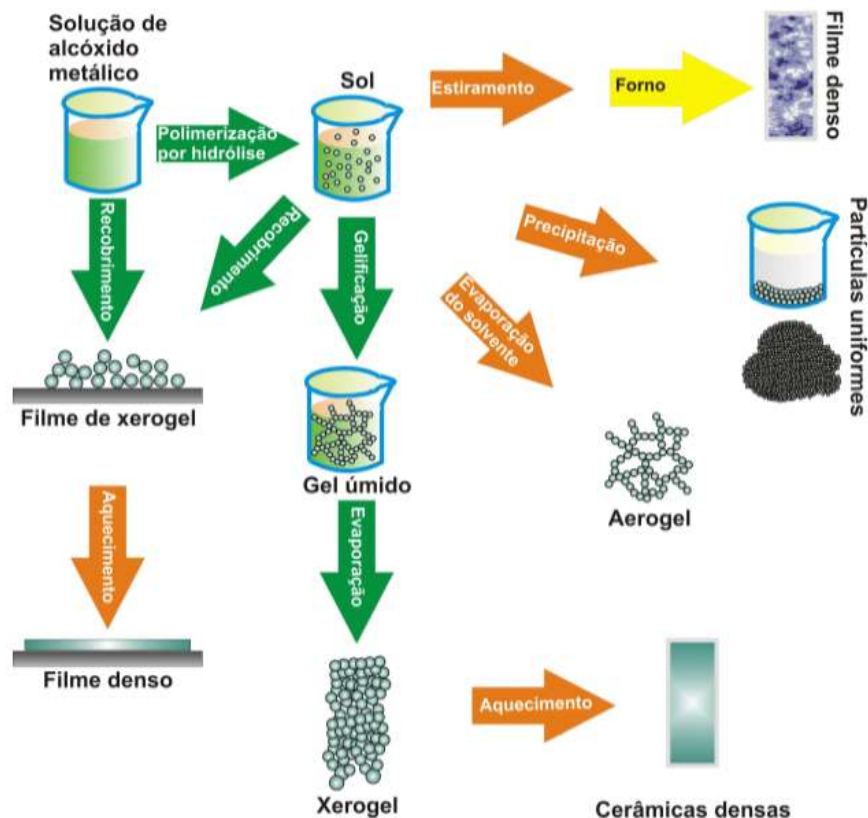
nanométrica. As nanopartículas possuem elevada proporção entre área superficial e seu volume, apresentando também uma porcentagem mais alta de átomos em sua superfície, quando comparadas com partículas maiores, o que pode torná-la mais reativas (ROUMELI *et al.*, 2012).

As nanopartículas em geral vêm sendo utilizadas em uma variada gama de produtos comuns, como: tintas, filtro solares, medicamentos e materiais esportivos e, até mesmo, como aditivos em adesivos (BERGNA; ROBERTS, 2006).

Uma outra forma de obtenção desse material nano particulado é através do processo sol-gel proteico. Segundo Maia (2005), esse método consiste numa variação do processo sol-gel utilizando um precursor proteico diferente do método convencional, no caso, a gelatina comestível. Com este composto, que de acordo com Porto (2007) possui elevada capacidade de biodegradabilidade e biocompatibilidade em ambientes fisiológicos, o método torna-se extremamente atrativo no âmbito científico para o preparo de algumas sínteses.

A Figura 10 traz algumas das formas da realização do processo sol-gel proteico e os produtos formados, destacando-se que existem desde de métodos sofisticados até os mais simples.

Figura 10: Rotas de síntese de nanomateriais pelo método sol-gel.



Fonte: Mamani (2009).

3.8.1 Nanopartículas de ZnO

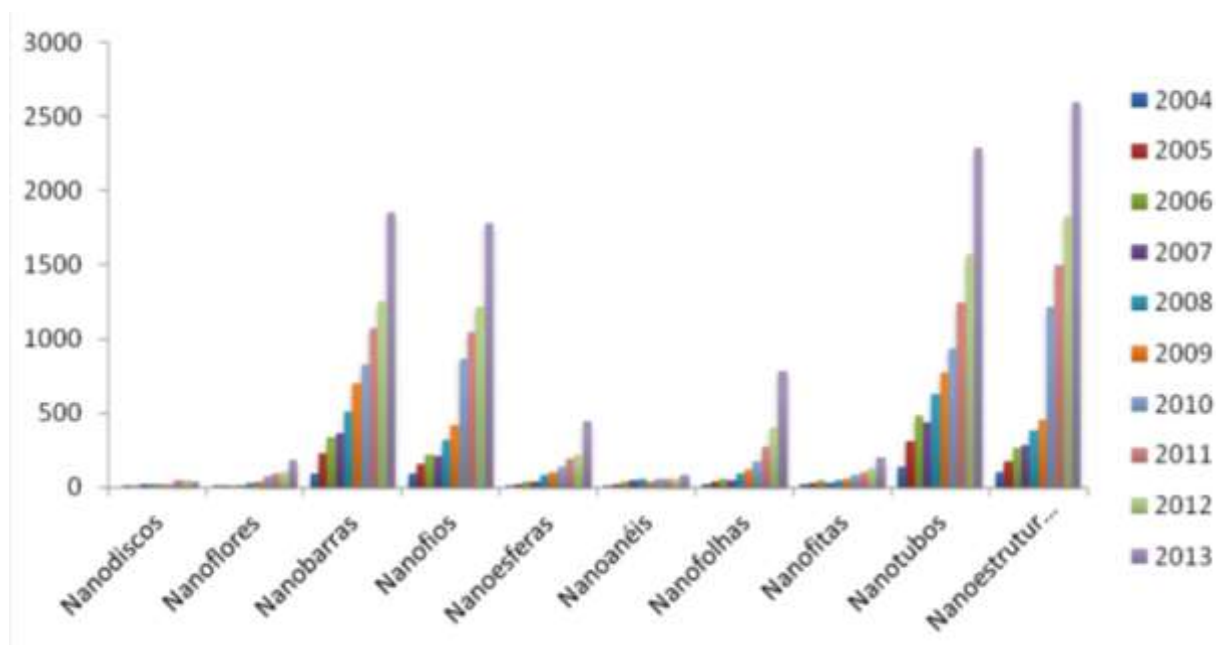
De acordo com Hong (2006), o óxido de zinco (ZnO) é considerado um material bastante promissor no setor de nanotecnologia, com destacado potencial quanto suas propriedades químicas, ópticas, mecânicas, elétricas e magnética. Oliveira (2009) destaca que a maioria, ou até mesmo todas as propriedades e aplicações dos nanomateriais, dependem do tamanho e da forma das partículas, além do método de obtenção das mesmas. Sendo assim, Menezes (2009) classifica o óxido de zinco como um semicondutor de grande emprego tecnológico.

Dentre os diversos óxidos metálicos, o ZnO é um dos materiais mais importantes de uso industrial e, atualmente, de interesse crescente em muitas aplicações por apresentarem uma série de propriedades físico-químicas que os materiais produzidos a partir dele possuem, entre elas, podem ser citadas: eletroluminescência, catodoluminescência, fotoluminescência, além de condutividade acústica e piezoeletricidade.

O ZnO nanoestruturado apresenta uma grande diversidade de morfologias, sendo com isso propício a atender as mais variadas aplicações (MORKOÇ, 2009). Kuo *et al.* (2010), Singh (2013) e Mosatafei (2014) usam como exemplos, a fabricação de cosméticos, cerâmicas, borrachas, tintas entre outros.

Mayrinck (2014) revela que pesquisas tratando de temas sobre ZnO, nas mais variadas estruturas em escala nanométrica, vêm crescendo constantemente nos últimos anos. Segundo o autor houve uma evolução do número de publicações indexadas na base de dados da *Web of Science*, entre os anos de 2004 a 2013, conforme Figura 11. Destacam-se os anos de 2012 e 2013, onde juntos apresentam mais de 4000 publicações relacionadas ao tema.

Figura 11: Publicações sobre ZnO nanoestruturado entre 2004 e 2013.



Fonte: Mayrinck (2014)

O óxido de zinco é considerado um importante semicondutor com boa mobilidade eletrônica. Chiang *et al.* (2011) o define como um material de fácil cristalização, apresentando mudanças em área superficial e estrutural quando na forma de nanopartículas.

O óxido de zinco nano estruturado é um composto químico de baixo dano ao meio ambiente, especialmente se comparado a outras nanopartículas (POUBEL,2014). O ZnO pode ser encontrado no mineral chamado zincita, insolúvel em água e solúvel em ácidos e bases, caracteriza-se por possuir sensibilidade à luz e alta estabilidade química.

Considerado um material cerâmico de grande versatilidade, a nanopartícula de ZnO possui um grande número de aplicações tecnológicas como: sensores, aditivos, catalisadores, materiais luminescentes, protetores solares entre outros. Possui além de propriedades fotocatalíticas, elétricas, e ópticas, propriedades dermatológicas e antibacterianas (COSTA *et al.*, 2007; ÇAKIR *et al.*, 2012; SHUPE *et al.*, 2012).

Com isso, pode-se também utilizar esse material para diferentes aplicações com a madeira e seus produtos derivados. Clausen *et al.* (2011) afirmam que as nanopartículas de ZnO oferecem alta proteção da madeira a fotodegradação, além de maior resistência à degradação biológica.

No estudo de Weichelt *et al.* (2010), foram desenvolvidos revestimentos UV com nanopartículas de óxido de zinco e aplicados em painéis de madeira para condições exteriores. Foram testadas propriedades ópticas, mecânicas e a permeabilidade à água das amostras, tendo-se obtido um aumento da elasticidade do revestimento e uma menor permeabilidade à água dos painéis.

Clausen *et al.* (2010) estudaram a aplicação de dois tipos de nano-Zn, o ZnO e o ZnSO_4 , em diferentes peças de madeira de *Pinus sp.* Ao analisar a lixiviação química dos compostos, constataram que enquanto as nanopartículas de ZnSO_4 foram facilmente lixiviadas, as nanopartículas de ZnO possuíram maior resistência.

Thaistaru *et al.* (2010) encontraram uma redução na absorção de água tratando a madeira de *Populus Tremula* com três concentrações de nano-ZnO (1, 2,5 e 5%), em relação a amostra não tratada, obtendo como menor valor a solução de 1% de nano-ZnO.

Segundo Mayrinck (2014) o ZnO apresenta superfícies polares muito estáveis, facilitando a formação dessas diferentes formas de nanoestruturas, com o simples controle ou ajuste dos parâmetros de síntese, como a temperatura, a pressão, a adição de dopantes e catalisadores entre outros.

Uma das formas de síntese utilizadas para o óxido de zinco é o processo sol-gel proteico, uma variação do processo sol-gel tradicional, formado por uma suspensão de partículas coloidais em um líquido e uma estrutura rígida de partículas coloidais, que utiliza um precursor proteico, como a água de coco e a gelatina comestível (MAIA, 2005).

3.8.2 Uso de Nanopartículas em painéis

Diversos pesquisadores dos mais variados países vêm estudando a aplicação de nanopartículas em painéis à base de madeira. Alguns estudos apresentam a adição de nanopartículas de sílica em resinas ureia-formaldeído, relatando melhoras nas propriedades mecânicas da resina, afetando diretamente o inchamento dos painéis quando em contato com água (ROUMELI *et al.* 2012).

De acordo com Mantanis & Papadopoulos (2010), o tamanho reduzido das nanopartículas utilizadas nos compostos faz com que estas penetrem profundamente na madeira, alterando assim, a química da superfície e, por consequência, elevando a proteção contra a umidade.

Taghiyari & Nouri (2015) estudaram a aplicação de nano-wollastonita (NW) na forma de gel em painéis MDF, e ao testar a relação da proteção contra umidade, conseguiram encontrar melhoras nas propriedades de absorção de água e inchamento em espessura.

Rangavar & Hoseiny (2015), trataram painéis aglomerados com nanopartículas de cobre e, notaram um aumento no valor do MOR e na adesão interna dos painéis tratados. Papadoulos (2010) estudando chapas de MDP, OBS e MDF com adição de um composto nanotecnológico denominado SurfaPoreTMW, cuja formulação contém três tamanhos diferentes de nanopartículas, encontrou resultados de inchamento melhores para painéis MDP tratados.

Kumar (2012) em sua pesquisa observou para painéis MDF a tendência de melhorar várias propriedades físicas e mecânicas das chapas com a adição de nanopartículas de óxido de alumínio. O autor destaca ainda que, devido ao tamanho nanométrico das partículas, ocorre uma maior facilidade nas operações de serrar e pregar o painel.

Cardoso *et al.* (2016) estudou o uso de 2% e 5% de nanocelulose como catalisador da resina ureia-formaldeído para produção de painéis aglomerados, conseguindo uma melhora nas propriedades físicas das chapas, especialmente com a primeira configuração, de menor porcentagem.

Salari *et al.* (2013) estudaram painéis de partículas orientadas (OSB – *Oriented Strand Board*) utilizando madeira de *Paulownia fortunei* e nanopartículas de SiO₂, encontrando alterações na cura da resina ureia-formaldeído para os painéis tratados com o nano material, com uma melhora no poder de adesão e indicando uma melhor condução do calor.

Lei *et al.* (2006) também estudaram nanopartículas de SiO₂, porém aplicadas em painéis aglomerados, obtendo melhora nas propriedades mecânicas, tanto em relação ao módulo de elasticidade (MOE) como o módulo de ruptura (MOR).

Yuthavisuthi *et al.* (2012) fizeram o uso de nano-TiO₂ em um tipo de compósito com palma e lodo de óleo, testando cinco concentrações (0,5, 1, 2, 4 e 8%) verificando um acréscimo do módulo de elasticidade para as concentrações de 0,5 e 1%, e uma redução da mesma propriedade para as outras concentrações. Os autores concluíram que quando aplicadas as nanopartículas, em baixas concentrações, as propriedades mecânicas podem ser melhoradas.

Taghiyari *et al.* (2013) pesquisou a influência da nano-prata na absorção de água e no inchamento de painéis aglomerados com madeira de *Poplar spp*, encontrando redução dos valores médios de absorção tanto após 2 como 24 horas. Porém, para o teste de inchamento 24 horas não houve diferença entre os resultados.

Valle (2014) fabricou painéis MDP com ureia-formaldeído, adicionando nanopartículas de sílica. No estudo não foram encontradas influência das nanopartículas no desempenho mecânico dos painéis, porém a mesma afetou as propriedades físicas, aumentando a densidade, mantendo a umidade e reduzindo cerca de 60% o inchamento em espessura, apesar dos valores ficarem acima do especificado pela norma utilizada.

Taghiyari *et al.* (2015) produzindo painéis MDF com nanopartículas líquida de organossilano (NOS) observaram uma redução significativa no inchamento em espessura, encontrando maior redução com o aumento da porcentagem de nano material utilizado.

Veigel *et al.* (2012) testaram as propriedades de painéis particulados com adição de nanocelulose nas resinas UF e MUF. Para o inchamento em espessura foi encontrado valores menores para as chapas com adição de 1%. Para a tração perpendicular, assim como o módulo de ruptura, houve uma melhora nos resultados tanto para os painéis MDP como painéis OSB.

3.9 CONSIDERAÇÕES SOBRE A REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Com base na revisão bibliográfica realizada pode-se concluir que os painéis à base de madeira vêm conquistando mercado tanto no âmbito nacional e internacional, por ser material renovável e que apresenta propriedades adequadas que garantem confiabilidade ao produto final. No entanto, alguns aspectos podem ser melhorados com a implementação de novas tecnologias e/ou novos materiais nas propriedades finais do painel.

A partir disto o uso das nanopartículas na fabricação dos painéis à base de madeira tem sinalizado uma alternativa viável e interessante para melhorar diversas características e desempenho desses painéis. O uso de nanopartículas metálicas tem melhorado as propriedades dos painéis durante o processo produtivo e mesmo durante o uso dos mesmos, especialmente quanto a transferência de calor, ataque de agentes xilófagos, melhora do desempenho em contato com água, entre outras.

A partir do exposto, foi definido o objeto de estudo desta pesquisa que são os painéis partículas de madeira de média densidade produzidos com partículas de madeira de eucalipto e resinas sintéticas à base de formaldeído com adição de nanopartícula metálica produzidas com óxido de zinco.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do presente estudo, foram utilizadas como matérias-primas: partículas processadas de *Eucalyptus urophila x grandis* doadas por uma empresa do setor (ECTX), sendo que essas já encontraram classificadas em 5, 9, 16, 35, 60 e 100 mesh, não se fazendo necessário, portanto, a etapa de classificação em laboratório.

Para a composição do adesivo foi utilizada resina ureia-formaldeído com teor de sólidos de 66,8% e melamina-formaldeído com teor de sólidos de 66,2%, ambas doadas pela empresa Hexion. Foi adicionado também sulfato de amônia com teor de sólidos de 20%, utilizado em solução com a água como catalisador, afim de acelerar a cura do adesivo e emulsão de parafina com teor de sólidos 57,2%, para melhorar as propriedades higroscópicas das partículas de madeira. Já para a preparação das nanopartículas foi utilizada gelatina, água e Nitrato de Zinco ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$).

A preparação das matérias-primas e fabricação dos painéis também necessitou de uma encoladeira rotativa (MARCONI – MA 686); pré-prensa hidráulica; e uma prensa hidráulica termo aquecida (Hidral-Mac PHH 80T).

4.1 PREPARO DAS NANOPARTÍCULAS DE ZNO

O procedimento utilizado no presente estudo, descrito de forma detalhada abaixo, teve como partida o caminho da evaporação do solvente e formação do aerogel, seguida de um processo de queima e calcinação, onde há a formação de cristais e das nanopartículas.

A preparação das nanopartículas consistiu basicamente na dissolução da gelatina em água destilada a uma temperatura de 30°C, seguida de adição do nitrato de zinco, com as mesmas proporções da gelatina, submetendo-as a uma agitação constante com temperatura de 70°C, até que se forme o gel. Essa agitação pode ser melhor visualizada na Figura 12.

Figura 12: Agitação em temperatura constante.



Fonte: Autor.

A etapa seguinte consistiu na secagem do material, realizada em uma estufa à 103°C, formando assim uma estrutura com aspecto esponjoso devido à eliminação de água e carbonização da estrutura polimérica da gelatina. Logo após a secagem, essa estrutura formada foi triturada manualmente, sendo transformada em pó. Essas etapas podem ser visualizada na Figura 13.

Figura 13: Secagem e trituração do material.



Fonte: Autor.

O material obtido foi então transformado em cinzas através da utilização de uma mufla, onde o mesmo ficou entre 10 e 15 minutos à uma temperatura aproximada de 300°C. Em seguida, foi realizada a calcinação, utilizando a mesma mufla, agora à aproximadamente 550° e por 3 horas, onde ocorreu a formação das estruturas cristalinas, ou seja, o material nanoparticulado conforme pode ser observado na Figura 14. A proporção aproximada, considerando as perdas de massa do material, é que para cada 5 gramas de material moído (pó laranja) gerou-se 1 grama de nanopartícula (pó branco).

Figura 14: Formação de cinzas e calcinação.



Fonte: Autor.

4.2 PRODUÇÃO DAS CHAPAS DE PAINEL MDP

Na formação do colchão foram definidas proporções baseadas na composição do painel industrial, utilizando assim 2000g de partículas, sendo 1200g na camada interna e 800g divididos em duas camadas externas (400g cada), ou seja, a proporção 20:60:20. Para este painel particulado de média densidade foi definida a densidade nominal de 800 kg/m³ (LIMA, 2014; DINHANE, 2015; CAMPOS *et al*, 2013).

Na definição dos demais constituintes foi utilizado, para a camada externa, 128,94g de resina, 14,23g de parafina, 4,69g de catalisador e 19,73g de água. Para a camada interna utilizou-se 193,41g de resina, 21,34 de parafina, 7,1g de catalisador e 29,60g de água, levando-se em consideração sempre o teor de sólidos de cada um dos constituintes (LIMA *et al*, 2014; LIMA, 2016; SILVA, 2016).

Para este estudo foram definidas a composição dos painéis testemunha, painéis com adição de 0,5% e painéis com adição de 1% de nanopartículas de ZnO em relação a massa de partículas de madeira seca. Esses valores foram escolhidos baseados em estudos anteriores (WEICHELT *et al.*, 2010; CARDOSO *et al.*, 2016) e com base em um delineamento prévio realizados em laboratório, onde observou-se que com o aumento da quantidade de nanopartículas aumentava-se também a viscosidade da resina, dificultando o processo de fabricação.

Todos esses aditivos foram misturados juntamente com a nanopartícula utilizando batedeira convencional, conforme representado na Figura 15, para melhor homogeneização dos constituintes, permitindo melhor aplicação do adesivo na encoladeira.

Figura 15: Mistura dos aditivos.



Fonte: Autor.

A encoladeira rotativa (figura 16 - a) equipada com uma pistola a ar (tipo gravidade), foi utilizada por cerca de dez minutos, para a mistura e homogeneização dos aditivos citados com as partículas de madeira e as nanopartículas.

Logo após a mistura e uniformização das camadas, as partículas já encoladas foram levadas à uma caixa formadora de 42 cm² visando uma melhor distribuição e acomodação das mesmas na proporção de 20:60:20, como citado anteriormente (figura 16 – b).

Iniciando a etapa de compactação dos painéis, o colchão passou por uma pré-prensagem a frio (figura 16 – c), com uma pressão de 2,83 kgf/cm², formando-se em seguida o colchão de partículas (figura 16 – d) que será levado até a prensa para realização do ciclo com temperatura e pressão.

A Figura 16 a seguir ilustra todas as etapas anteriormente mencionadas, com fotos obtidas no laboratório onde foram fabricados todos os painéis.

Figura 16: Pré-prensagem e Colchão formado.

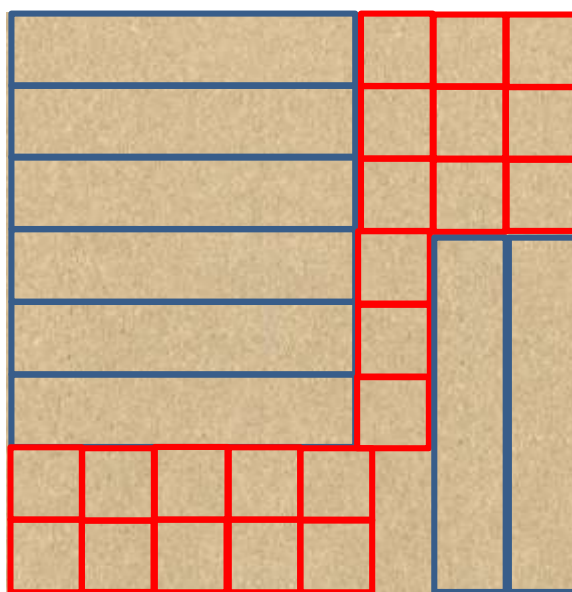


Fonte: Autor.

Em seguida, o colchão devidamente formado foi levado para a prensagem a quente com temperatura dos pratos (inferior e superior) de 180 °C. Realizou-se a compactação dos painéis em três ciclos de prensagem de 180 segundos, com dois intervalos de degasagem (abertura da prensa e alívio de pressão) de 30 segundos cada, totalizando 600 segundos. A pressão de trabalho adotada foi de 4 MPa.

Para a realização dessa pesquisa foram confeccionadas 4 chapas de cada composição definida (0%, 0,5% e 1%) tanto para resina UF como MF, dando um total de 24 chapas fabricadas. Após esquadreamento dos painéis, com uma dimensão aproximada de 40 cm², retirou-se de cada peça cerca de 8 corpos-de-prova retangulares (flexão) e 22 corpos-de-prova quadrados (demais testes), conforme o modelo de corte aproximado apresentado na Figura 19.

Figura 19: Plano de corte das chapas fabricadas.



Fonte: Autor.

Com essa configuração de plano de corte, segue-se o recomendado pela norma ABNT NBR 14810:2013-2, em sua tabela A.1, onde determina-se a quantidade de 10 corpos de prova para cada ensaio. Tendo-se, com o número de chapas fabricadas, quantidades superiores ao recomendado, dando maior confiabilidade ao trabalho executado.

4.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

4.3.1 Densidade aparente

O teste para a determinação da densidade aparente é o mais simples de ser realizado, com os dados da massa e as dimensões dos corpos-de-prova (consequentemente o volume dos mesmos), calculou-se a densidade do corpo de prova através da equação 1:

$$D = \frac{M}{V} * 1000000 \quad (1)$$

Onde:

D é a densidade do corpo de prova em quilogramas por metro cúbico;

M é a massa do corpo de prova, em gramas;

V é o volume do corpo de prova, em milímetros cúbicos;

Figura 20: Coleta da massa para o teste de densidade.

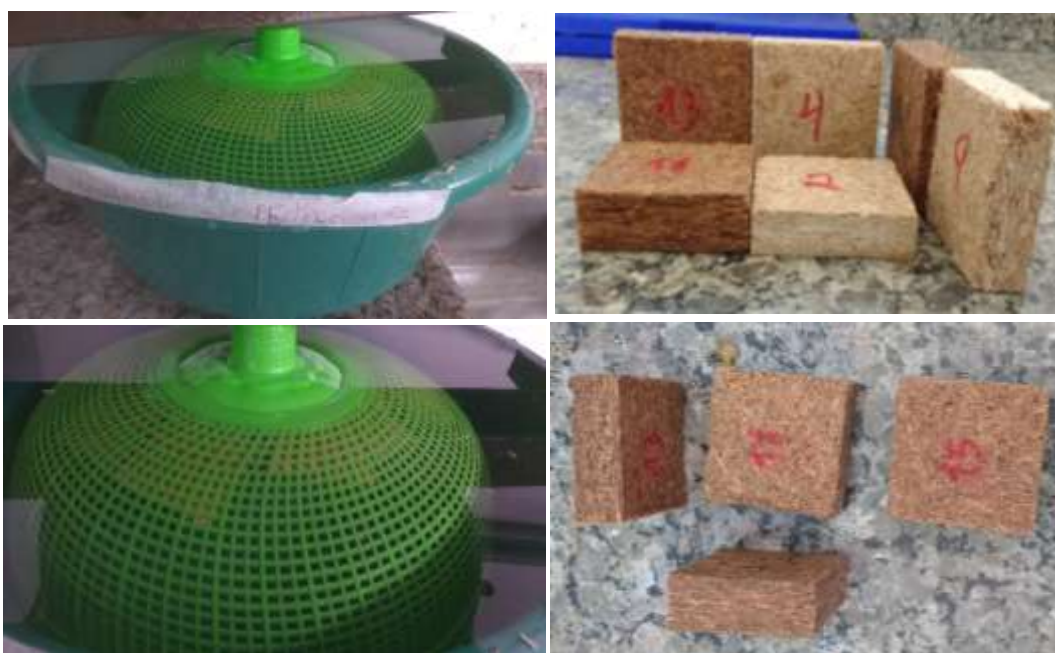


Fonte: Autor.

4.3.2 Inchamento e absorção de água

De acordo com ABNT NBR 14810: 2013, a determinação do inchamento e da absorção de água são feitas pela imersão das amostras de dimensão 50x50mm em água e mantendo-as submersas durante $2h \pm 3min$ e $24h \pm 3min$. A variação da espessura do painel e a variação da massa dos corpos-de-prova medidos com o uso de balança analítica e paquímetro graduado foram respectivamente o inchamento e a absorção de água encontrados.

Figura 21: Teste de Inchamento e Absorção.



Fonte: Autor.

Com os dados recolhidos aplicou-se as equações 2 e 3 abaixo e assim foram calculados os valores para inchamento em espessura e absorção de água para os painéis fabricados.

$$I = \frac{E1-E0}{E0} * 100 \quad (2)$$

Onde:

I é o inchamento em espessura do corpo de prova, em porcentagem;

E1 é a espessura do corpo de prova após o período de imersão considerado, em milímetros;

E0 é a espessura do corpo de prova antes da imersão, em milímetros.

$$A = \frac{M1-M0}{M0} * 100 \quad (3)$$

Onde:

A é a absorção de água, em porcentagem;

M1 é a massa do corpo de prova após imersão, em gramas;

M0 é a massa do corpo de prova antes da imersão, em gramas.

4.3.3 Teor de umidade

Para encontrar o teor de umidade das amostras foi utilizada a relação de umidade base seca, onde relacionou-se a diferença entre a massa úmida (MU), ou seja a massa de água contida nos painéis de madeira, e a massa seca (MS), valor constante após secagem forçada em estufa a 103 ± 2 °C, em relação a mesma massa seca. A equação 4 mostra a expressão utilizada para os cálculos.

$$U = \frac{MU - MS}{MS} \times 100 \quad (4)$$

onde:

U é a umidade residual do corpo de prova, em porcentagem;

MU é a massa úmida do corpo de prova, em gramas;

MS é a massa seca do corpo de prova, em gramas.

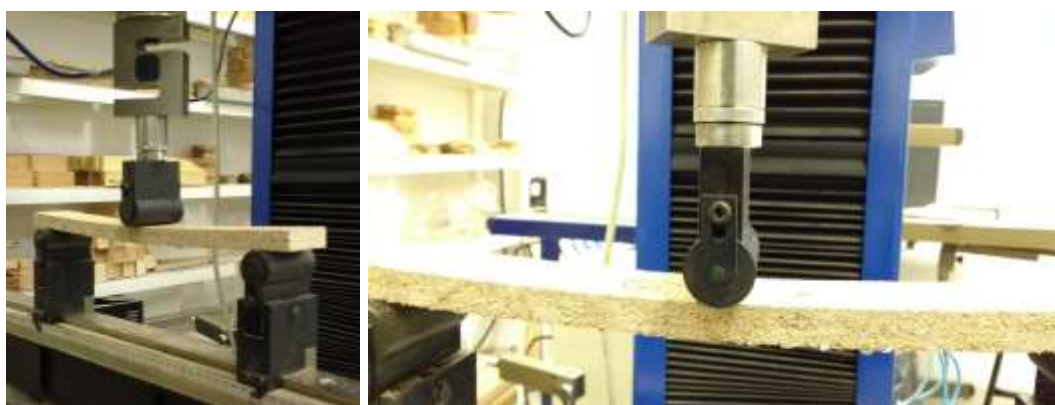
1.4 CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA

4.3.4 Flexão Estática

O ensaio de Flexão Estática foi realizado a fim de determinar o Módulo de Elasticidade (MOE) e o Módulo de Ruptura (MOR) dos painéis fabricados. Baseado na ABNT NBR 14810: 2013 definiu-se as dimensões as amostras com 50mm de largura, e de acordo com a espessura das chapas (entre 6 e 12 mm), seção transversal de 20 vezes o valor da espessura (comprimento).

Com as amostras de diferentes partes dos painéis, escolhidas aleatoriamente, executou-se o teste em um máquina universal de ensaios com controle de velocidade. Para o ensaio posicionou-se cada amostra, separadamente, de forma biapoiada e velocidade de carregamento de 6 mm/min (Figura 22).

Figura 22: Testes de Flexão estática.



Fonte: Autor.

Os valores finais de MOR e MOE encontrados foram definidos respectivamente através das equações 5 e 6. As equações foram adicionadas ao *software* que acompanha a máquina universal de Ensaios, tendo assim, ao termino de cada seção de ensaios todos os valores, média e desvio padrão diretamente calculados.

$$MOR = \frac{1,5 * P * D}{B * E^2} \quad (5)$$

Onde:

MOR é o módulo de ruptura, em MegaPascal;

P é a carga de ruptura lida no indicador de cargas, em Newtons;

D é a distância entre apoios do aparelho, em milímetros;

B é a largura do corpo de prova, em milímetros;

E é a espessura média tomada em três pontos do corpo de prova, em milímetros.

$$MOE = \frac{P1 * D^3}{4 * d * B * E^3} \quad (6)$$

Onde:

MOE é o módulo de elasticidade, em Megapascal;

P1 é a carga no limite proporcional lida no indicador de cargas, em newtons;

D é a distância entre os apoios do aparelho, em milímetros;

d é a deflexão, em milímetros, correspondente à carga P1;

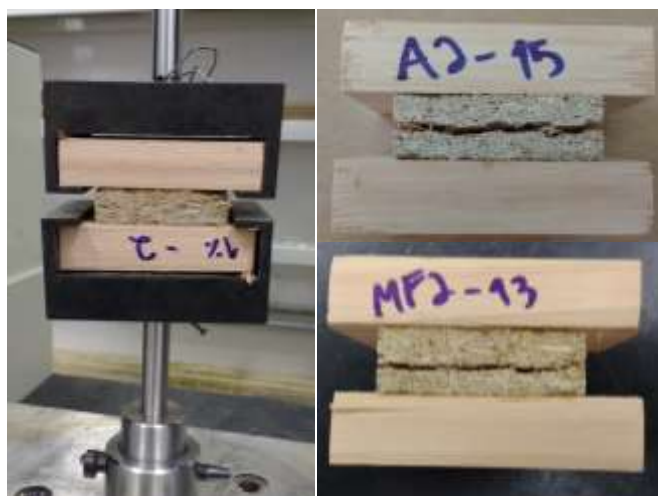
B é a largura do corpo de prova, em milímetros;

E é a espessura média tomada em três pontos do corpo de prova, em milímetros.

4.3.5 Tração Perpendicular - Adesão Interna (AI)

O ensaio de Tração Perpendicular foi realizado com o objetivo de testar a adesão interna dos painéis confeccionados. O corpo de prova confeccionado de forma quadrada com dimensão de 50 mm de lado (conforme especificações normativas) foi fixado em bases de madeira para assim encaixar de forma correta na máquina universal de ensaios para a aplicação da força tracionadora com controle de velocidade. A Figura 23 ilustra alguns ensaios realizados.

Figura 23: Teste de adesão Interna.



Fonte: Autor.

O cálculo da resistência a tração perpendicular foi feito automaticamente pela máquina através da equação 7.

$$TP = \frac{P}{S} \quad (7)$$

Onde:

TP é a resistência à tração perpendicular, em Megapascal;

P é a carga na ruptura, em newtons;

S é a área da superfície do corpo de prova, em milímetros quadrados.

4.3.6 Arrancamento de Parafuso

O ensaio de resistência ao arrancamento de parafuso foi realizado com o objetivo de testar a adesão das partículas que formam as camadas dos painéis, através da tração de um parafuso

para madeira, autorraxante, com passo da rosca de 1,4 mm, conforme especificado pela norma ABNT NBR 14810:2013. Os corpos de prova utilizados foram confeccionados de forma quadrada com dimensão de 50 mm de lado, sendo perfurados com o auxílio de uma broca de $(2,7 \pm 0,1)$ mm de diâmetro, uma profundidade de $15,0 \pm 0,5$ mm, centrado na superfície (face), figura 24, e no topo dos corpos de prova.

Terminado o preparo inicial, os corpos de prova com os parafusos já fixados foram acoplados nos acessórios da máquina universal de ensaios, para então, com uma velocidade de 10mm/min, serem tracionados anotando-se as leituras obtidas. Todos os resultados obtidos pela média das leituras diretas no indicador de cargas da máquina foram expressos em newtons (N), com precisão de 0,1 N.

Figura 24: Arrancamento de parafuso tipo face (superfície).



Fonte: Autor.

4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para analisar os resultados encontrados nos diferentes ensaios realizadas durante o estudo realizou-se uma análise de variância (ANOVA), seguida do teste de comparações múltiplas Tukey, ambos com nível de significância de 5%. A realização da análise dos resultados e comparações foi feita com o auxílio do *software Microsoft Excel* com uso do complemento *Action*.

Com as respostas obtidas, ainda com o mesmo *software*, gerou-se também para todos os teste realizados, um gráfico de tendência, levando em consideração as proporções de nanopartículas e a resina utilizada.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 TESTES FÍSICOS

Todos os resultados médios encontrados para os testes físicos propostos pela norma ABNT NBR 14810:2013 (densidade, umidade, inchamento e absorção) assim como os respectivos valores normativos estão apresentados nos itens seguintes.

5.1.1 Densidade

O teste de densidade foi realizado para os diferentes tratamentos, conforme já descrito anteriormente: UF (0%, 0,5% e 1%) e MF (0%,0,5% e 1%). Independente dos tratamentos realizados, todos painéis puderam ser classificados como particulados de média densidade (MDP), inclusive com valores menores que os pré-estabelecidos no início.

Para os painéis fabricados com resina UF, todos os tratamentos apresentaram valores dentro do especificado por todas as normas consultadas, e de acordo com a análise de variância realizada pelo teste Tukey a um nível de significância de 5%, não apresentaram diferença.

Os testes realizados com os painéis fabricados com resina MF, também não apresentaram nenhuma diferença estatística entre os tratamentos, e mantendo-se dentro dos valores normativos. Segundo a ABNT NBR 14810:2013, um painel de média densidade apresenta valor máximo para essa propriedade de 750 kg/m³, enquanto as normas europeia e americana, valor máximo de 800 kg/m³.

Tabela 1: Valores médios e normativos para a densidade.

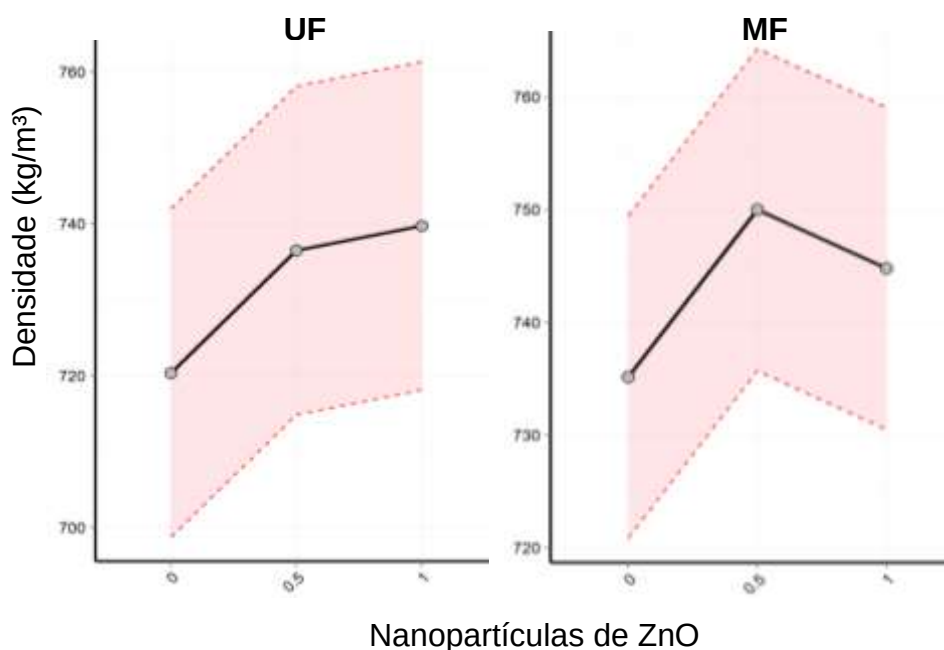
		0% de nano-ZnO	0,5% de nano-ZnO	1% de nano-ZnO	ABNT 14810	EN 312	ANSI 208
Ureia-formaldeído	Densidade (kg/m ³)	720,31a	736,45a	739,72a			
	Desvio Padrão	38,06	47,76	37,89			
	Coeficiente de Variação	5,28	6,48	5,12	551 a 750 (kg/m ³)	500 a 800 (kg/m ³)	640 a 800 (kg/m ³)
Melamina-formaldeído	Densidade (kg/m ³)	735,14a	749,98a	744,77a			
	Desvio Padrão	36,78	21,66	20,86			
	Coeficiente de Variação	5,01	2,88	2,80			

Fonte: Autor.

Comparando com outras literaturas, observou-se que as chapas mantiveram-se dentro dos valores médios obtidos por diversos autores, chegando inclusive a ter resultados inferiores. Valle (2015), fabricando painéis MDP com resina UF e utilizando nanopartículas de sílica (SiO_2), encontrou valores médios de $865,77 \text{ kg/m}^3$, acima dos encontrados no presente trabalho.

Fato interessante pode ser observado na análise dos gráficos de efeito entre as diferentes porcentagens de nanopartículas e a densidade (Figura 25), onde verifica-se que o acréscimo de nanopartículas, mesmo não resultando em diferença estatística entre os resultados, provoca uma tendência de aumento da densidade para ambas as resinas. Tal fato pode ser explicado pela diferença de compactação entre as chapas.

Figura 25: Gráfico de tendência do efeito da adição de nano ZnO na densidade dos painéis com UF e MF.



Fonte: Autor.

Segundo Silva (2017), a adição de nanopartículas de ZnO em painéis MDP resulta em uma interferência na transferência de temperatura nos painéis, pois há uma melhor distribuição e homogeneidade da temperatura durante os ciclos de prensagem. Assim, obteve-se uma maior compactação das chapas, ou seja, houve uma diminuição dos espaços vazios, e consequentemente, maior adensamento dos painéis.

Ressalta-se ainda que todos os tratamentos apresentaram um coeficiente de variação pequeno, mostrando haver uma baixa dispersão, ou seja, os dados encontrados mostraram-se homogêneos.

5.1.2 Umidade

Em relação a umidade dos painéis MDP fabricados, todos os tratamentos apresentaram-se dentro dos valores normativos indicados pela ABNT, única a adotar valores para esse teste.

Novamente os painéis fabricados com resina UF não apresentaram diferença entre os tratamentos. Porém, para os painéis fabricados com resina MF, houve diferença entre as chapas sem nanopartículas (0%) e com as nano de ZnO (0,5% e 1%), apresentando redução da umidade.

Tabela 2: Valores médios e normativos para o teor de umidade.

		0% de nano-ZnO	0,5% de nano-ZnO	1% de nano-ZnO	ABNT 14810	EN 312	ANSI 208
<i>Ureia-formaldeído</i>	Umidade %	6,45a	6,21a	6,20a			
	Desvio Padrão	0,51	0,58	0,47			
	Coeficiente de Variação	7,87	9,42	7,70	5 a 11 (%)	*	*
<i>Melamina-formaldeído</i>	Umidade %	7,39a	6,24b	6,18b			
	Desvio Padrão	0,65	0,47	0,57			
	Coeficiente de Variação	8,84	7,65	9,22			

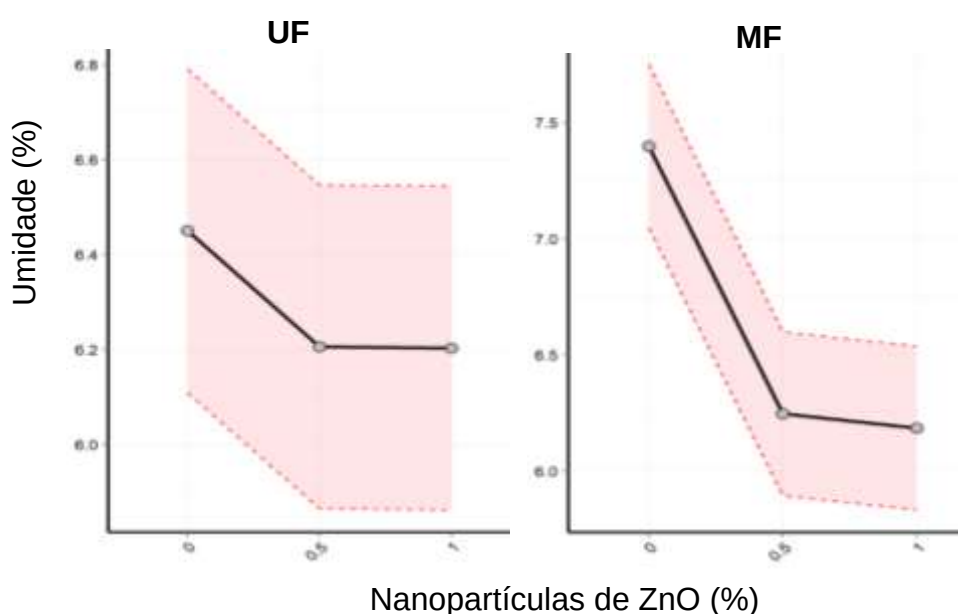
Fonte: Autor.

* valor não especificado

Apesar de apenas os painéis fabricados com MF terem apresentado valores menores com a adição de nanopartículas efetivamente diferentes (de acordo com o teste Tukey), através da Figura 26 é possível ver que também as chapas com UF apresentam tendência de redução da umidade. A principal diferença entre as curvas está na inclinação, situação que faz com que não se possa afirmar que de fato houve redução da umidade para os painéis com UF, mas apenas os com MF.

Essa situação pode ser explicada pelo mesmo fato do item anterior, aumento da densidade, porém, neste caso, o efeito refratário causado pela adição das nanopartículas, ao reter calor por mais tempo durante a prensagem (menos perdas), faz com que uma maior quantidade de água saia das chapas. Destaca-se a interação com a resina MF, que já possui maior resistência a umidade.

Figura 26: Gráfico de tendência do efeito da adição de nano ZnO na umidade dos painéis com UF e MF.



Fonte: Autor.

Cardoso *et al.* (2016), ao estudar painéis aglomerados de partículas com adição de 2% e 5% de nanocelulose, encontraram valores de umidade das chapas, respectivamente, 9,71% e 10,85%, valores muito próximos dos encontrados para os tratamentos apresentados anteriormente.

5.1.3 Inchamento em espessura e Absorção de água

Os testes físicos de inchamento em espessura e absorção de água são alguns dos principais testes físicos realizados atualmente pelas empresas para controle da qualidade e da durabilidade dos painéis fabricados, garantindo uma qualidade mínima frente a situações de ambientes úmidos ou até mesmo de contato direto com a água, mesmo não sendo essas situações

de uso indicadas. Os resultados médios obtidos nos testes de inchamento e absorção de água após imersão por duas e vinte e quatro horas estão apresentados a seguir.

5.1.3.1 Inchamento 2 horas

Para o teste de inchamento após duas horas de imersão em água, a ABNT NBR 14810:2013, assim como a norma americana ANSI 208.1-2009, não apresentam valores de referencias, podendo-se adotar, porém, os valores vigente na norma brasileira de 2006 (ABNT NBR 14810:2006), onde especificava-se como valor máximo de 8%. Já a norma europeia EN 312 apresenta como requisito máximo o valor de 12%.

Tabela 3: Valores médios e normativos para inchamento após 2 horas de imersão.

		0% de nano-ZnO	0,5% de nano-ZnO	1% de nano-ZnO	ABNT 14810	EN 312	ANSI 208
<i>Ureia-formaldeído</i>	Inchamento 2h %	9,94a	6,62b	6,69b			
	Desvio Padrão	3,05	1,71	1,93			
	Coefficiente de Variação	30,63	25,88	28,91	< 8%	< 12%	-
<i>Melamina-formaldeído</i>	Inchamento 2h %	4,83a	4,68a	4,54 ^a			
	Desvio Padrão	0,26	0,39	0,40			
	Coefficiente de Variação	5,42	8,35	8,86			

Fonte: Autor.

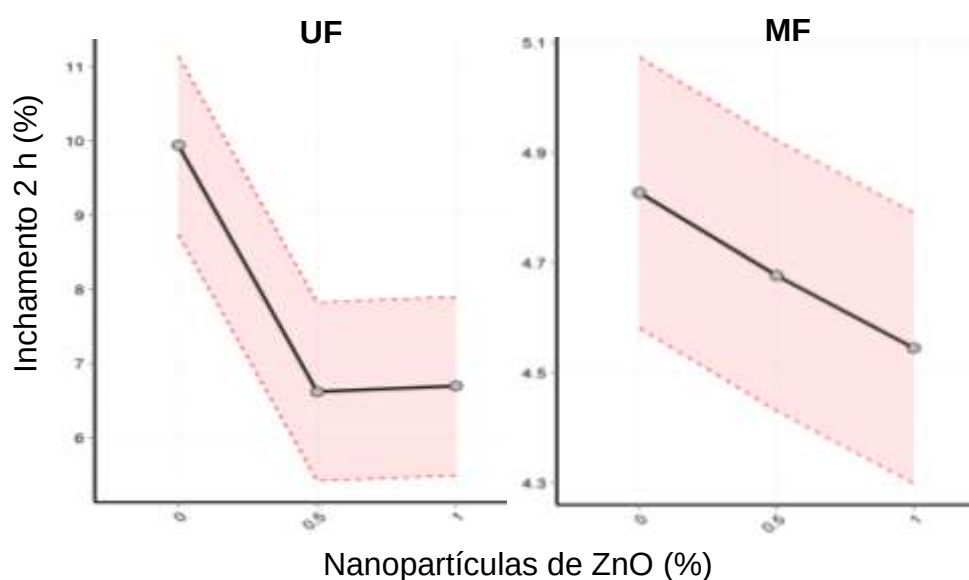
A partir da análise da Tabela 3 foi possível verificar que para os painéis fabricados com resina MF não houve diferença estatística (Tukey 5%) entre as diferentes proporções de nanopartículas, apresentando valores entre 4,54% e 4,83%. Destaca-se que os valores médios então bem abaixo do especificado pelas normas, e inclusive menores que outros testes encontrados nas literaturas consultadas, mostrando assim a melhor qualidade da resina melamínica em relação ao contato com a água.

Em relação ao painéis com resina UF verificou-se que as chapas sem nanopartículas apresentaram valor médio maior que o especificado pela norma brasileira, embora ainda dentro do que diz a norma europeia. Já as chapas com adição de 0,5% e 1% de nanopartículas de ZnO,

tiveram valores menores de inchamento, 6,62 e 6,69 respectivamente, não diferindo entre si, mas diferindo dos painéis sem nano (0%).

Observando o gráfico de efeitos principais para ambas as resinas (figura 27), pode-se afirmar que a presença de nanopartículas de ZnO interferiu no inchamento 2 horas dos painéis MDP, visto que tanto para UF, onde houve diferença estatística e os valores diminuíram, como para MF, onde os valores foram baixos porém não diferiram, existiu uma redução do inchamento com a presença das nano ZnO. Ou seja, as nanopartículas de ZnO tenderam a diminuir o inchamento 2 horas das chapas de MDP, situação almejada no início deste estudo.

Figura 27: Gráfico de tendência do efeito da adição de nano ZnO no inchamento 2h dos painéis com UF e MF.



Fonte: Autor.

Devido ao tamanho reduzido das nanopartículas, pode-se deduzir que houve uma maior penetração do material nas partículas de madeira, diminuindo assim os espaços vazios, não dos painéis, mas da própria madeira. Além, é claro, de outras interações entre as nanopartículas (mais reativas que o material em escalas maiores) e as resinas, que precisam ser melhor investigadas.

5.1.3.2 Inchamento em espessura após 24 horas

Os resultados médios obtidos para o teste de inchamento em espessura após 24 horas são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Valores médios e normativos para inchamento após 24 horas de imersão.

		0% de nano-ZnO	0,5% de nano-ZnO	1% de nano-ZnO	ABNT	EN 312	ANSI
<i>Ureia-formaldeído</i>	Inchamento 24h %	19,68a	16,56a	16,92a			
	Desvio Padrão	5,20	2,76	2,99			
	Coefficiente de Variação	26,44	16,68	17,67	< 18%	< 16%	*
<i>Melamina-formaldeído</i>	Inchamento 24h %	14,11a	14,01a	13,98 ^a			
	Desvio Padrão	1,09	1,23	0,85			
	Coefficiente de Variação	7,77	8,71	6,07			

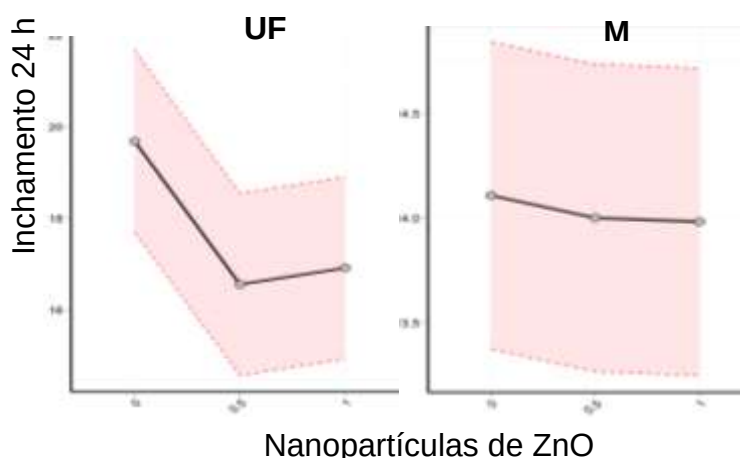
Fonte: Autor.

* valor não especificado

Diferente do teste de inchamento 2 horas, para todas as diferentes proporções de nanopartículas de ZnO, para ambas as resinas, não houve diferença estatística entre si, levando em consideração a análise de variação com teste de Tukey com 5% de significância.

Apesar disso, como semelhança do teste anterior, para todos os resultados com exceção da chapa com UF-0% de nano ZnO os demais tratamentos também tiveram valores abaixo dos especificados pelas normas. Ainda, de acordo com a figura 28, observa-se uma leve tendência de diminuição, apresentando uma estabilização dos resultados.

Figura 28: Gráfico de tendência do efeito da adição de nano ZnO no inchamento 24h dos painéis com UF e MF.



Fonte: Autor.

Com isso, pode-se verificar que a propriedade de inchamento dos painéis, 2 e 24 horas, diminuíram até atingir certo limite para os painéis, onde estabilizam seus valores e apresentam uma linearidade dos resultados.

Comparando-se ainda os resultados encontrados com outros trabalhos da área, como o de Valle (2015), onde o inchamento 24 horas médio para painéis MDP fabricados com nano SiO_2 foi de 36,46%, ou Cardoso *et al.* (2016) em que os painéis tratados com nanocelulose apresentaram inchamento de 30,35 e 53,68%, vê-se que os valores obtidos podem ser considerados como excelentes.

5.1.3.3 Absorção de água 2 horas

Os teste de absorção de água tanto após 2 horas como após 24 horas não apresentam valores referenciais em nenhuma das normas consultadas e citadas no presente trabalho, porém o mesmo foi realizado com o objetivo de complementar o estudo do comportamento físico dos painéis com adição de nanopartículas, assim como para atender a determinações utilizadas pelas principais empresas do setor.

Com isso, foi possível verificar os valores médios encontrados para o teste de absorção 2 horas, assim como seus respectivos desvios e coeficientes de variação, na Tabela 5.

Tabela 5: Valores médios e normativos para absorção de água após 2 horas de imersão.

		0% de nano-ZnO	0,5% de nano-ZnO	1% de nano-ZnO	ABNT	EN 312	ANSI
<i>Ureia-formaldeído</i>	Absorção 2h %	8,18a	7,53a	7,37 ^a			
	Desvio Padrão	1,74	1,98	2,03			
	Coefficiente de Variação	21,36	26,26	27,49	*	*	*
<i>Melamina-formaldeído</i>	Absorção 2h %	8,75a	5,31b	5,03b			
	Desvio Padrão	0,65	1,52	1,36			
	Coefficiente de Variação	7,40	28,68	27,00			

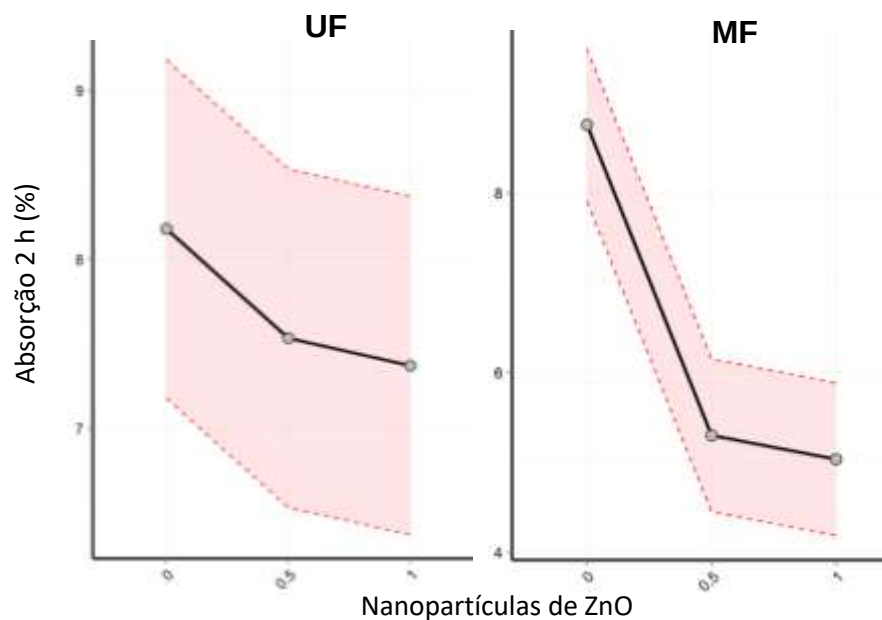
Fonte: Autor.

* valor não especificado

Para os painéis fabricados com UF foi possível observar que para o teste de 2 horas os diferentes tratamentos não apresentaram diferença estatística entre si para valores médios entre 7,37% e 8,18%. Contudo para os painéis com MF, cuja resina apresenta melhores propriedades, a presença de 0,5% e 1 % de nano ZnO apresentaram diferença em relação ao de 0%, tendo a absorção diminuído nas chapas.

Considerando a curva gerada pela interação entre os valores médios obtidos e a quantidade de nanopartículas (figura 29), pode-se destacar também que mesmo os painéis com UF não diferindo, apresentaram diminuição dos resultados. Em conjunto com os valores para MF, leva-se a verificar que as nanopartículas podem melhorar a absorção 2 horas do painel MDP.

Figura 29: Gráfico de tendência do efeito da adição de nano ZnO na absorção 2h dos painéis com UF e MF.



Fonte: Autor.

5.1.3.4 Absorção de água 24 horas

Em relação ao teste de absorção 24 horas, os valores médios encontrados bem como o resultado da análise estatística realizada estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Valores médios e normativos para absorção de água após 24 horas de imersão.

		0% de nano-ZnO	0,5% de nano-ZnO	1% de nano-ZnO	ABNT	EN 312	ANSI
Ureia-formaldeído	Absorção 24h %	25,73a	24,63a	24,75a			
	Desvio Padrão	6,63	5,08	5,59			
	Coeficiente de Variação	25,84	20,65	22,61	*	*	*
Melamina-formaldeído		0%	0,5%	1%			
	Absorção 24h %	44,69a	21,89b	26,87b			
	Desvio Padrão	6,84	2,98	4,53			
	Coeficiente de Variação	15,31	13,63	16,87			

Fonte: Autor.

* valor não especificado

Os painéis fabricados com UF também não apresentaram diferença para o teste de 24 horas, apesar do valor médio ligeiramente menor para 0,5% e da queda da curva do gráfico de efeito (figura 30). Com isso, pode-se verificar que as nanopartículas não interferiram na absorção em nenhum dos tempos para as chapas com resina uréica.

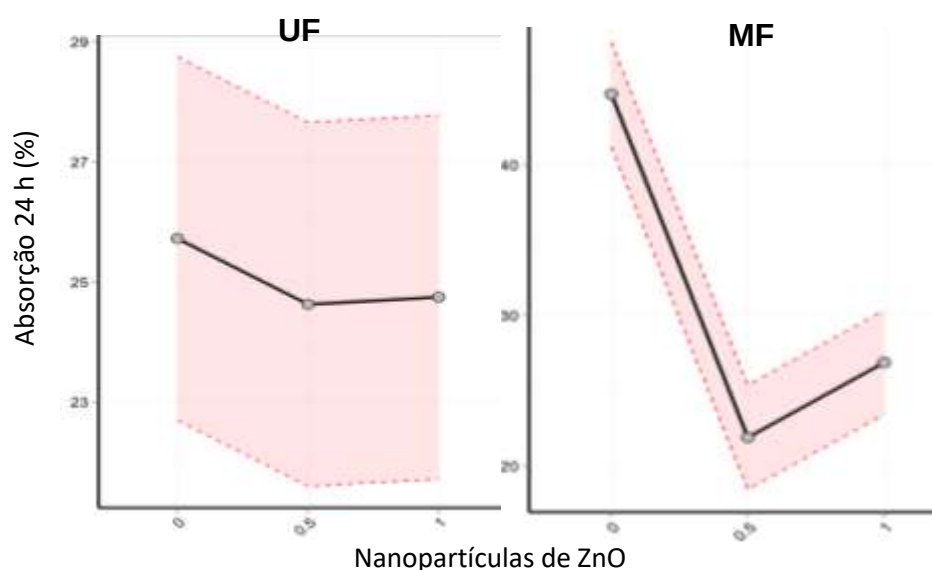
Para os painéis fabricados com resina MF, assim como para o teste de 2 horas, foi possível verificar um efeito direto das nanopartículas de ZnO, tendo as porcentagens de 0,5 e 1 apresentando diferença estatística em relação à 0%, sendo constatada a melhora das chapas em relação ao ganho de massa no contato com a água.

A interação pode novamente ser confirmada observando-se o Gráfico 6, onde pode-se destacar os painéis de 0,5% que obtiveram o menor valor encontrado, bem menor do que as chapas de referência.

Cardoso *et al.* (2016), já citado anteriormente, obteve respectivamente para as chapas com 2% e 5% de nanocelulose os valores de 182,7 e 219,35% para a absorção 24 horas, não encontrando efeito significativo do nanomaterial. Destaca-se que os valores do trabalho citados foram maiores que os encontrados na tabela anterior.

Silva (2017) encontrou respectivamente valores de 45,15% e 28,01% para painéis MDP com 0% e 1% de nanopartículas de ZnO, apresentando uma diminuição no valor de absorção ao contato com a água.

Figura 30: Gráfico de tendência do efeito da adição de nano ZnO na absorção 24h dos painéis com UF e MF.



Fonte: Autor.

5.2 TESTES MECÂNICOS

Os resultados médios encontrados para os testes mecânicos de flexão estática, tração perpendicular e arrancamento de parafuso, bem como os devidos desvios e coeficientes de variação seguem apresentados nas tabelas 7, 8, 9, 10 e 11, e gráficos de 7 a 11, gerados pelo teste de comparações múltiplas do Tukey, com 5% de significância.

5.2.1 Tensão de Ruptura - MOR

A tensão de ruptura (MOR) obtida no ensaio de flexão para os diferentes tratamentos das chapas estão apresentadas na Tabela 7. Pode-se verificar que todos os ensaios apresentaram valores acima do mínimo especificados por todas as normas consultadas (11MPa e 11,5MPa).

Para os painéis fabricados com resina UF os valores obtidos foram próximos de 13 MPa, não havendo diferença entre as diferentes proporções de nanopartículas de ZnO.

Tabela 7: Valores médios e normativos para módulo de ruptura.

		0% de nano-ZnO	0,5% de nano-ZnO	1% de nano-ZnO	ABNT	EN 312	ANSI
Ureia-formaldeído	MOR (MPa)	13,78a	13,43a	13,24a			
	Desvio Padrão	3,3	2,39	1,90			
	Coeficiente de Variação	23,95	17,86	14,39			
Melamina-formaldeído	MOR (MPa)	0% de nano-ZnO 14,59b	0,5% de nano-ZnO 17,88a	1% de nano-ZnO 16,06ab	> 11MPa	>11,5 MPa	>11 MPa
	Desvio Padrão	1,55	1,81	2,53			
	Coeficiente de Variação	10,63	10,13	15,79			

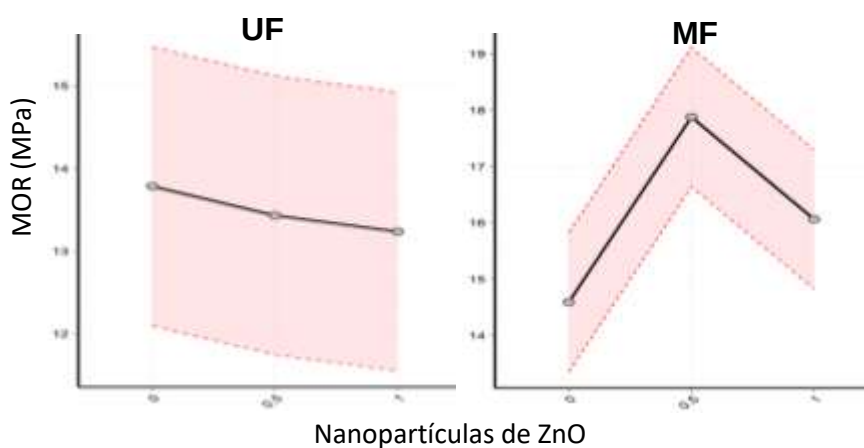
Fonte: Autor.

Para os painéis fabricados com MF observou-se que nem todas as variáveis apresentaram interação, tendo o painel de 0,5% diferido da chapa de 0%, mantendo-se igual apenas ao tratamento com 1%. Com isso foi possível verificar que a chapa com nanopartículas de ZnO na proporção de 0,5% apresentaram valores maiores que as demais, indicando um efeito positivo quanto a adição das nanopartículas nesta propriedade. Destaca-se ainda que todos os valores de MOR para os painéis produzidos com MF enquadraram-se dentre do grupo de painéis para uso

em condições úmidas segundo a ABNT NBR 14.810:2013 que estabelece o valor mínimo de MOR de 14 MPa.

A partir da Figura 31 foi possível visualizar melhor as interações supracitadas. Observou-se que apesar de ter ocorrido uma leve diminuição dos valores dos painéis fabricados com UF, essa queda foi insignificante, não caracterizando diferença estatística entre as amostras. Para os painéis com MF, vê-se um maior valor para 0,5%, seguido por um valor intermediário (1%), e bem acima das chapas de 0% (apresentando diferença estatísticas entre elas).

Figura 31: Gráfico de tendência do efeito da adição de nano ZnO no Módulo de Ruptura dos painéis com UF e MF.



Fonte: Autor.

Se considerada a interação entre o aumento de densidade com uma maior quantidade de nanopartículas, assim como a relação apontada na figura 4 entre a densidade dos painéis e a resistência a flexão (quanto maior a densidade maior a resistência para uma mesma espécie), pode-se dizer que esperava-se um acréscimo dessa propriedade.

Valle (2015) encontrou em seu estudo com nano SiO_2 valores de MOR próximos de 12,25 MPa. Já Taghisari (2013), estudando painéis MPD com a adição de nanopartículas de cobre, encontrou valores de MOR compreendidos entre 11,55MPa e 12,19 MPa. Sendo assim, em relação ao módulo de ruptura, pode-se apontar como destaque os painéis fabricados com resina melaminica e 0,5% de nanoZnO.

5.2.2 Módulo de Elasticidade - MOE

Quanto ao módulo de elasticidade, para painéis com espessura entre 13 e 20 mm não estruturais e para uso interno, as normas brasileira e europeia especificam valor mínimo de MOE mínimo de 1800 MPa, enquanto, a norma americana ANSI 208.1-2009 o valor de 1700MPa.

Todos os tratamentos mostraram-se acima dos especificados, podendo-se destacar, além do fato da resina MF apresentar valores melhores, o fato de em ambas as situações existir diferença entre pelo menos algum tipo de tratamento. A Tabela 8 apresenta os valores médios para o MOE.

Tabela 8: Valores médios e normativos para o módulo de elasticidade.

		0% de nano-ZnO	0,5% de nano-ZnO	1% de nano- ZnO	ABNT	EN 312	ANSI
<i>Ureia-formaldeído</i>	MOE (MPa)	1917,96c	2737,47a	2363,15b			
	Desvio Padrão	334,60	319,28	258,49			
	Coefficiente de Variação	17,44	11,66	10,93			
<i>Melamina-formaldeído</i>	MOE (MPa)	0% de nano-ZnO 2565,65b	0,5% de nano-ZnO 3110,38a	1% de nano- ZnO 2802,11ab	> 1800 MPa	> 1800 MPa	> 1700 MPa
	Desvio Padrão	240,07	371,57	320,61			
	Coefficiente de Variação	9,36	11,95	11,44			

Fonte: Autor.

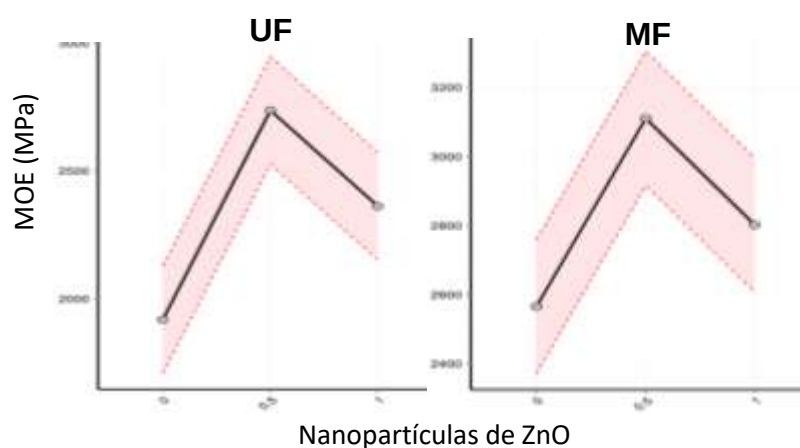
Em relação ao módulo de elasticidade dos painéis com UF, todos os tratamentos apresentaram diferença entre si, sendo possível verificar uma tendência de aumento com o uso das nanopartículas, especialmente na proporção de 0,5%, onde obteve-se MOE igual a 2737,47 MPa.

Com relação às chapas fabricadas com MF, houve diferença significativa apenas entre os tratamentos de 0,5% e 0%, sendo que o tratamento com 1% de nano não diferiu estatisticamente dos demais. O maior valor de MOE obtido também foi para as chapas com 0,5% (3110,38MPa).

O gráfico da Figura 32 comprova de forma ilustrativa essas relações anteriormente apresentadas, dando-se destaque à adição de 0,5% de nano ZnO. Em ambos os casos (UF e

MF), 0,5% apresentou diferença em relação aos painéis sem nanopartículas, melhorando os resultados de MOE. Para a proporção de 1% houve diminuição dos valores. Tal observação leva a entender que a adição de nano ZnO melhorou a elasticidade dos painéis, porém até um certo limite, podendo existir uma queda nos valores com o aumento dessa porcentagem.

Figura 32: Gráfico de tendência do efeito da adição de nano ZnO no Módulo de Elasticidade dos painéis UF e MF.



Fonte: Autor.

Com base no exposto, foi possível inferir que para o módulo de elasticidade dos painéis estudados, as nanopartículas influenciaram positivamente, principalmente na proporção de 0,5% em relação a massa total de partículas, com a qual se obteve os melhores resultados como já havia sido observado em estudo realizado por Cardoso (2016).

Valle (2015) encontrou valor médio para MOE em suas chapas de 2400,16 MPa, não constatando diferença no acréscimo do nano material na composição das mesmas.

5.2.3 Adesão Interna

Os resultados obtidos nos testes de adesão interna (tração perpendicular) estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9: Valores médios e normativos para adesão interna.

		0% de nano-ZnO	0,5% de nano-ZnO	1% de nano-ZnO	ABNT	EN 312	ANSI
<i>Ureia-formaldeído</i>	AI (MPa)	0,34b	0,57a	0,46a			
	Desvio Padrão	0,09	0,15	0,12			
	Coeficiente de Variação	28,85	26,78	26,08			
<i>Melamina-formaldeído</i>	AI (MPa)	0% de nano-ZnO 0,68 ^a	0,5% de nano-ZnO 0,54b	1% de nano-ZnO 0,50b	> 0,4 MPa	> 0,28 MPa	> 0,36 MPa
	Desvio Padrão	0,09	0,09	0,10			
	Coeficiente de Variação	13,24	16,71	20,12			

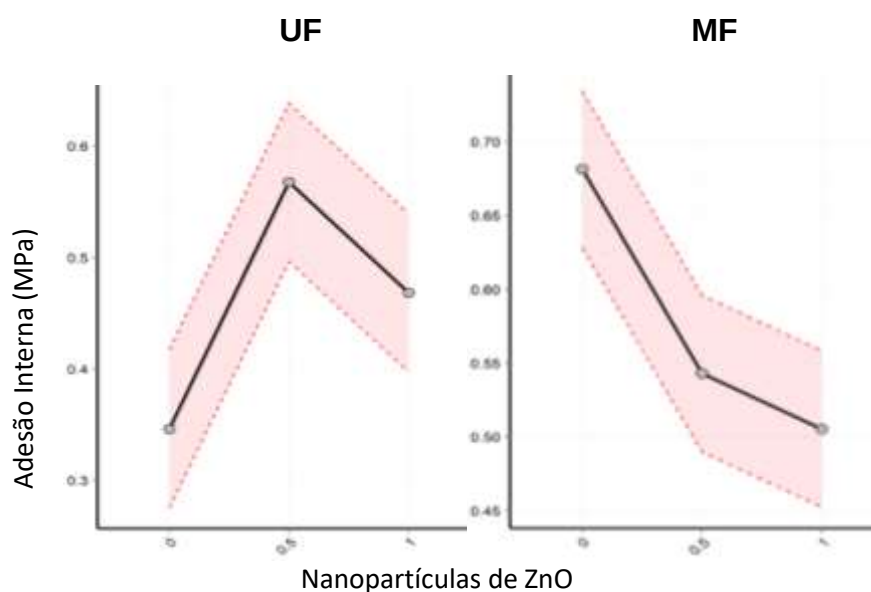
Fonte: Autor.

Observou-se que os valores indicados como referência para a adesão interna dos painéis no teste de tração perpendicular variam bastante, indo de 0,28 MPa de acordo com a norma europeia NP EN 319: 2002; a 0,36 MPa para a norma americana ANSI 208.1-2009 e 0,4MPa para a norma brasileira ABNT NBR 14810: 2013.

Assim, para os painéis com UF apenas o tratamento com 0,5% e 1% apresentaram valores atendendo todas as normas. Entretanto, para os painéis com MF todos os painéis ficaram acima dos valores de referência.

Para ambas as situações ocorreu diferença estatística entre as proporções com e sem nano ZnO, tendo-se: para resina UF, ocorrido uma melhora do valores com a adição das nanopartículas, de 0,34 para 0,57 e 0,46 MPa (respectivamente para 0%,0,5% e 1%); já para resina MF, ocorreu uma diminuição dos valores de adesão com a presença das nanopartículas. A referida situação pode ser verificada no gráfico de tendência do efeito da adição de nano ZnO da Figura 33.

Figura 33: Gráfico de tendência do efeito da adição de nano ZnO na Adesão Interna dos painéis com UF e MF.



Fonte: Autor.

Essa situação de diminuição dos valores pode ter ocorrido devido as condições e características dos ensaios realizados, visto que, no mesmo, os corpos de prova são colados em sapatas de madeira, para então ser tracionados. Deste modo, em determinadas situações o rompimento se dava na linha de cola (ou muito próximo a ela), entre o corpo de prova e a sapata, não medindo de fato a resistência real dos painéis.

Taghisari (2013) em seu trabalhos com nanopartículas de cobre encontrou valores para o teste de tração perpendicular de 0,48MPa atendendo todos os parâmetros normativos. Silva (2017) encontrou valor médio de 0,45MPa para painéis MDP com 1% de nanopartículas de ZnO com ureia-formaldeído. Em ambos os casos os valores foram próximos ao encontrados no presente trabalho.

5.2.4 Arrancamento de Parafuso – Topo

A Tabela 10 apresenta os valores encontrados para o arrancamento de parafuso do tipo topo.

Tabela 10: Valores médios e normativos para arrancamento de parafuso tipo topo.

		0% de nano-ZnO	0,5% de nano-ZnO	1% de nano-ZnO	ABNT	EN 312	ANSI
<i>Ureia-formaldeído</i>	Parafuso - Topo (N)	562,25a	514,87a	505,26a			
	Desvio Padrão	90,78	135,76	137,61			
	Coeficiente de Variação	16,14	26,37	27,23			
<i>Melamina-formaldeído</i>		0% de nano-ZnO	0,5% de nano-ZnO	1% de nano-ZnO	*	*	700 N
	Parafuso - Topo (N)	1183,03a	1360,78a	1191,64a			
	Desvio Padrão	260,28	176,08	150,49			
	Coeficiente de Variação	22,00	12,93	12,63			

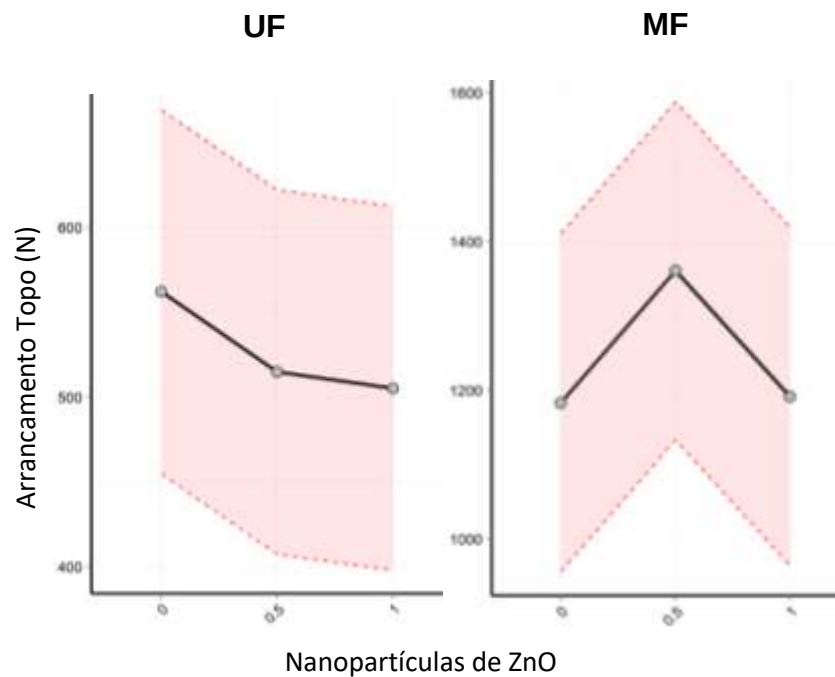
Fonte: Autor.

* valor não especificado

Observou-se que para os testes de parafuso tipo topo, tanto para UF como MF, nenhum dos valores obtidos apresentaram diferença estatísticas entre si. Apesar do coeficiente de variação mostrar que existiu certa variação entre as amostras, na maioria classificadas como média dispersão, com as médias obtidas é possível dizer que as nanopartículas de ZnO não interferiram a propriedade.

Analisando também o efeito demonstrado no gráfico 10, pode-se verificar essa oscilação dos resultados, onde, para UF houve uma leve queda dos valores, enquanto, para MF, apenas 0,5% apresentou uma pequena melhora. Esta influência pode ser explicada pelo fato dos painéis fabricados com UF não atenderem o valor mínimo especificado pela norma ANSI 208.1-2009 (700 N), assim como pela norma ABNT NBR 14810 do ano de 2006, especificando o valor de 800N.

Figura 34: Gráfico de tendência do efeito da adição de nano ZnO no Arrancamento Topo dos painéis com UF e MF.



Fonte: Autor.

Weber e Iwakiri (2011) realizaram testes de arrancamento de parafuso tipo topo e obtiveram valores médios entre 591,13 N e 1345,69 N. Cunha *et al.* (2014) estudaram painéis particulados de *E. benthamii* e *E. dunni* obtendo valores de médios de 1163,93N.

5.2.5 Arrancamento de Parafuso – Face

Os resultados obtidos nos testes de arrancamento de parafuso tipo face estão apresentados na Tabela 11 a seguir.

Tabela 11: Valores médios e normativos para arrancamento de parafuso tipo face.

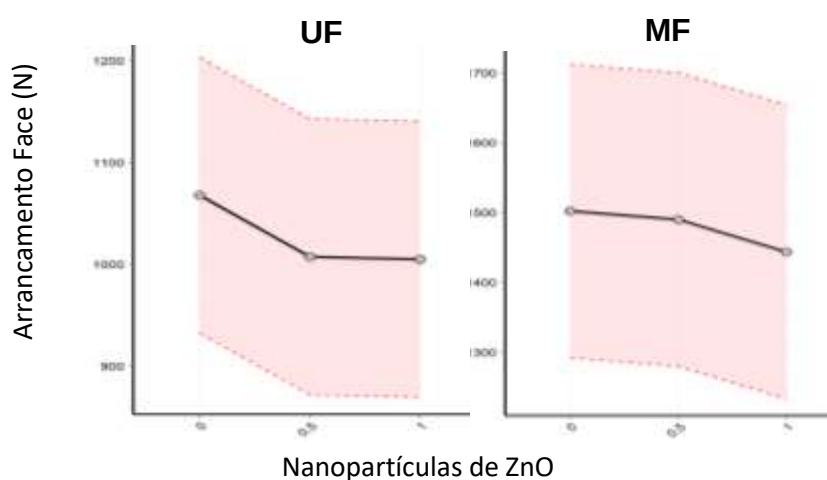
		0% de nano-ZnO	0,5% de nano-ZnO	1% de nano-ZnO	ABNT	EN 312	ANSI
Ureia-formaldeído	Parafuso - Face (N)	1067,95a	1007,49a	1004,89a			
	Desvio Padrão	177,97	126,41	158,36			
	Coefficiente de Variação	16,66	12,55	15,76	*	*	900 N
Melamina-formaldeído	Parafuso - Face (N)	1502,10a	1489,92a	1443,71a			
	Desvio Padrão	191,98	253,62	49,14			
	Coefficiente de Variação	12,78	17,02	3,40			

Fonte: Autor.

* valor não especificado

Todos os tratamentos apresentaram valores de acordo com os parâmetros da norma americana ANSI, que estabelece o valor de 900 N para superfície, independente do sentido de aplicação.

Para Melo e Del Menezzi (2010), os valores de arrancamento de parafuso na superfície (tipo face) variaram na faixa de 710 a 966 N. Cunha *et al.* (2014) encontraram valores médios de 1321,06N. Cabral *et al.* (2016) encontraram respectivamente valores de 787,80 N e 629,26 para painéis aglomerados e MDP.

Figura 35: Gráfico de tendência efeito da adição de nano ZnO no Arrancamento tipo Topo dos painéis UF e MF.

Fonte: Autor.

6 CONCLUSÃO

Com a análise dos resultados obtidos nos testes realizados pode-se definir 3 linhas de conclusão para o presente estudo: a influência das nanopartículas de ZnO nos painéis MDP, a quantidade (%) de nanopartículas ideal, e a interação com a resina, o desempenho da resina.

6.1 INFLUÊNCIA DAS NANOPARTÍCULAS

Pode-se concluir que a adição de nanopartículas de óxido de zinco afetou a maioria das propriedades dos painéis MDP. Destaca-se a melhora nas propriedades físicas, conforme esperado inicialmente, principalmente, quanto ao inchamento e absorção, em situações que mesmo quando não ocorreu uma redução efetiva houve uma tendência de diminuição dos valores e, conseqüentemente, melhora de tais propriedades.

É importante ressaltar também que as nanopartículas de óxido de zinco influenciaram positivamente as propriedades obtidas no teste de flexão, melhorando resultados de MOR e MOE, sendo este um resultado extremamente satisfatório e importante. Houve um aumento do módulo de elasticidade para ambas as resinas com a adição das nanopartículas de ZnO, o que indicou um aumento na rigidez do material.

De maneira geral pode-se dizer que os resultados médios encontrados para todos os tratamentos avaliados (0%, 0,5% e 1%) mostraram que o desempenho dos painéis com adição da nanopartículas de óxido de zinco foram bastante satisfatórios, tendo atendido as especificações normativas consultadas, assim como superado o desempenho encontrado por diversos outros estudos relacionados. Sendo assim, conclui-se que as nanopartículas de ZnO exercem bom desempenho em conjunto com a madeira na forma de partículas dentro do painel MDP.

6.2 QUANTIDADE DE NANOPARTÍCULAS

Entre os diferentes tratamentos utilizados, 0%, 0,5% e 1%, os resultados de maior relevância foram obtidos, na sua maioria, com a proporção de 0,5% de nanopartículas, proporção com a qual se obtiveram os maiores resultados de MOR, MOE e adesão interna, e os menores de umidade, inchamento e absorção.

Além disso, deve-se destacar que 0,5% foi a menor quantidade utilizada de nanopartículas, e conseqüentemente, o tratamento com adição de nano ZnO com menor custo de produção. Esse fator é primordial para futuras aplicações das nanopartículas nos painéis de madeira em escala industrial, onde a busca pela redução de custos é constante.

Deve-se destacar também, o possível aumento na condução do calor durante a prensagem, podendo, pelo fato das nanopartículas interferirem diretamente na viscosidade da resina, ter ocasionado uma cura desigual entre as camadas externas e internas. Além do fato que se uma maior concentração de nanopartículas aumentar consideravelmente a viscosidade da resina, tal efeito pode inviabilizar o processo de fabricação.

6.3 DESEMPENHO DA RESINA

Em relação a interação do tipo de resina com as nanopartículas de ZnO, pode-se perceber que houve certa alternância entre os testes, tendo-se praticamente metade dos testes apresentado melhor desempenho com UF, e outra metade com MF. Deste modo, é preciso salientar que com a adição de nanopartículas, as chapas com ureia atingiram propriedades próximas ao painéis fabricados com melamina. Portanto, tendo como base o menor custo da resina ureia-formaldeído, a mesma apresentou maior destaque para a fabricação dos painéis MDP com adição de nano ZnO.

Sendo assim, com base no exposto, pode-se destacar os painéis MDP fabricados com resina UF e 0,5% de nanopartículas de ZnO, visto que essa configuração apresentou excelentes resultados e melhoras em várias propriedades, possuindo ainda o menor custo de produção (resina mais barata e menor quantidade de nanopartículas).

É possível afirmar que com a adição de nanopartículas de ZnO, os painéis com resina UF atingiram propriedades próximas ou iguais ao painéis fabricados com MF, podendo-se porém ter uma compensação em relação ao custo das resinas.

6.4 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Estudos analisando a interação dos mais variados materiais em escala nanométrica com a madeira e outros produtos madeireiros são uma forte tendência no meio científico internacional, tendo no Brasil a possibilidade de crescimento e até mesmo aplicação industrial, como já vem sendo sinalizado por este segmento.

Sendo assim, abre-se a possibilidade de estudos futuros e continuidade desta pesquisa através de novas análises para verificar a influência do uso da nanopartícula de ZnO. Entre eles, analisar para essas proporções, a proteção contra o ataque de fungos e outros agentes biodegradadores da madeira, como os cupins, além do uso de resinas alternativas, que não sejam à base de formaldeído.

REFERÊNCIAS

- AKHTARI, M.; TAGHIYARI, M.; GHORBANI KOKANDEH, M. Effect of some metal nanoparticles on the spectroscopy analysis of Paulownia wood exposed to white-rot fungus. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 71, p. 283–285, 2013.
- Anoop K. B., Sundararajan T. e Das K. S., “Effect of Particle Size on the Convective Heat Transfer in Nanofluid in the Developing Region”, **International Journal of Heat and Mass Transfer**, V. 52, pp. 2189-2195, 2009.
- ARAFA, I. M. et al. Sol–gel preparation and properties of inter- penetrating, encapsulating and blend silica-based urea–formaldehyde hybrid materials. **European Polymer Journal**, New York, v. 40, n. 7, p. 1477-1487, Apr. 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE – ABIMCI. **Estudo setorial 2009**, ano base 2008. ABIMCI, Curitiba - PR, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE – ABIMCI. **Indústria da madeira discute cenário econômico e perspectivas para 2017**. 2017. Disponível em: <<http://www.abimci.com.br/industria-da-madeira-discute-cenario-economico-e-perspectivas-para-2017/>>. Acesso em: 15 set. 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA (ABIPA). **Olho no crescimento**. Março de 2007. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br>>. Acesso em: 21 de março 2016
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF, **Anuário estatístico da ABRAF 2013** ano base 2012. Brasília: ABRAF, 2013. 149 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-1**: Chapas de madeira aglomerada: terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-2**: Chapas de madeira aglomerada: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-3**: Chapas de madeira aglomerada: métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- BEYER, M. ZnO-Based UV Nanocomposites for Wood Coatings in Outdoor Applications. *Macromol. Mater. Eng.* 2010, 295, 130–136.
- BLANCHARD, V.; BLANCHET, P. Color stability for wood products during use: effects of inorganic nanoparticles. **Bioresources**, v. 6, n. 2, p. 1219-1229, 2011.
- CAETANO, Bruno Leonardo. **Formação e crescimento de nanopartículas de óxido de zinco via sol-gel**. 2010. 131 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Química de Araraquara e Université de Paris Sud 11, Faculté des Sciences d'Orsay, 2010

CAI, X. **Wood modification for valued-added application using nanotechnology based approaches**. 2007. 259 f. Tese (Doutorado em Ciência da Madeira) – Université Laval, Québec.

CAMPOS, C I; FERREIRA, B.S.; PRATES, G. A.; GOVEIA D. Characterization Of Wood Particleboard With Addition Of Lignocellulosic Material Alternative In Middle Layer. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, 7 (2), 86-92, 2013.

CAMPOS, C I; LIMA, FO; FERREIRA, BS; BARBOSA, JC; MORALES EAM; CHRISTOFORO AL; ROCCO, FAL. Particleboard Manufactured with Variation of Press Time. **Advanced Materials Research**, 2014.

CARDOSO, Gabriel Valim; TEIXEIRA, Francine Pereira; FERREIRA, Érika da Silva. Nanocelulose como catalisador de ureia-formaldeído para produção de painéis aglomerados. **Anais do XV Ebramem**, Curitiba, mar. 2016.

Chiang, T. C.; Fang C. H.; Shang W. K.; Yang F. C. The effect of C60 on the ZnO-nanorod surface in organic–inorganic hybrid photovoltaics. **Solar Energy Materials and Solar Cells** 2011, 95, 740.

CLAUSEN, C. A.; GREEN III, F.; NAMI KARTAL, S. Weatherability and Leach Resistance of Wood Impregnated with Nano-Zinc Oxide. **Nanoscale Research Letters**, v.5, p. 1464–1467, 2010.

COELHO, M.H. **Diagnóstico e estratégias competitivas da indústria de moveleira no estado de Santa Catarina**. Curitiba, 2003. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná.

DINHANE, F. C. R. **Propriedades físico-mecânicas de painéis de MDP (Medium Density Particleboard) constituído de bambu e fibra de coco**. 2015. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Bauru, Universidade Estadual Paulista “Júlio de mesquita Filho”, Bauru- SP, 2015.

DURÁN, N.; MATTOSO, L. H. C.; MORAIS, P. C. **Nanotecnologia: Introdução, preparação e caracterização de nanopartículas e exemplos de aplicação**. 1. ed. São Paulo: Artliber Editora, 2006. 208 p.

ELEOTÉRIO JR., J. R.; **Propriedades físicas de painéis MDF de diferentes densidades e teores de resina**. 121 p. Dissertação de mestrado. Escola Superior de Agricultura “Luís de Queiroz”. Universidade de São Paulo. Piracicaba; São Paulo, 2000.

GONÇALVES, R. M.; MATTOS, R. L. G.; CHAGAS F. B. **Painéis de Madeira no Brasil: Panorama e Perspectivas**. BNDES, São Paulo, 27, p.121-156, mar. 2008.

Hong R.; Pan T.; Qian J.; Li H. Synthesis and surface modification of ZnO nanoparticles. **Chemical Engineering Journal** 2006, 119, 71.

IWAKIRI, S. **Painéis de Madeira Reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005, 247 p.

IWAKIRI, S; CAPRARA, A. C.; SAKS, D. C. O.; GUI SANTES, F. P.; FRANZONI, J. A.; KRAMBECK, L. B. P.; RIGATTO, P. A.; Produção de painéis de madeira aglomerada de alta densificação com diferentes tipos de resinas. **Revista Ciências Florestais**, Paraná, n.68, p.39-43, 2005.

IWAKIRI, S; CUNHA, A. B.; ALBUQUERQUE, C. E. C.; GORNI AK, E.; MENDES, L. M.; Resíduos de serrarias na produção de painéis de madeira aglomerada de eucalipto. **Revista Ciências Agrárias**, Paraná, v.1, n. 1-2, p. 23-28, 2000

JUVENAL, T. L.; MATTOS, L. L. G. **O setor florestal no Brasil e a importância do reflorestamento**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 16, p. 3 - 30, 2002. Disponível em: http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set1601.pdf> Acesso em: 02 mar. 2016.

KATSUKAKE, A. **Uma revisão SOBRE resina Uréia-Formaldeído (R-UF) empregada na produção de Painéis de Madeira Reconstituída**. 2009. 61F. Monografia de Conclusão de Curso – UNESP – FC, Bauru.

KELLY, Myron W. Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard. **General technical report. FPL-10**. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 65 p. USA 1977

KUMAR, A.; GUPTA, A.; SHARMA, K. V.; NASIR, M. Use of aluminum oxide nanoparticles in wood composites to enhance the heat transfer during hot-pressing. **European Journal of Wood and Wood Products**, April 2012.

KUMARA, B.; Kim, S. W. **Energy harvesting based on semiconducting piezoelectric ZnO nanostructures**. Nano Energy 2012, 1, 342.

Kuo, C. L.; Wang, C. L.; Ko, H. H.; Hwang, W. S.; Chang, K.; Li, W. L.; Huang, H. H.; Chang, Y. H.; Wang, M. C. **Synthesis of zinc oxide nanocrystalline powders for cosmetic applications**. Ceramics International 2010, 36, 693.

LARA PALMA, H. A. **Painéis de madeira**. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2009. 40 f. Apostila de aula.

LEHMANN, W.F.; BOONE, R.S. How species and board densities affect properties of exotic hardwood particleboards. **Forest Products Journal**, v. 24, n. 12, p. 37-45, 1973.

LEI, W.; DENG, Y. E.; ZHOU M.; XUAN, L.; FENG, Q. Mechanical properties of nano SiO₂ filled gypsum particleboard. **Transactions of Nonferrous Metals Society of China**, v. 16, p. 361-364, 2006.

LESSMANN, V. E.; **Estudo da Reação de Cura de Resinas Uréia-Formol por Espectrometria de Ressonância Magnética Nuclear**. Dissertação (Mestrado). 2008 - Faculdade de Química – Universidade Federal do Paraná. Curitiba.

LIMA, A.M. Utilização de fibras (epicarpo) de babaçu como matéria-prima alternativa na produção de chapas de madeira aglomerada. **Rev. Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 645-650, ago. 2006.

LIMA, Felipe Oliveira. **Análise da influência do tempo de prensagem na produção de chapas de partículas produzidas com resíduos de madeira**. 2014. 66 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Industrial Madeireira, Universidade Estadual Paulista, Itapeva, 2014.

LIMA, Felipe Oliveira; SILVA, Luana Cristal Lirya; CAMPOS, Cristiane Inácio de. Caracterização mecânica de painéis MDP feitos com resíduos em diferentes tempos de prensagem. **Anais do XV Ebramem**, Curitiba, mar. 2016.

MACIEL, A. C. et al.. Chapas de madeira aglomerada produzidas com partículas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, poliestireno (PS) e polietileno tereftalato (PET). **Revista Cerne**, Lavras, v. 10, n. 1, p.53-66, 2004.

MAIA, A. O. G. **Sinterização de nanopartículas de NiO por gelatina comestível**. 121p. Dissertação (Mestrado). Departamento de Física, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.

MALONEY, T.M. **Modern particleboard & dry process fiberboard manufacturing**, Updated Edition. San Francisco: Miller Freeman Inc. 1993. 688p.

MAMANI, J. B. **Estrutura e propriedades de nanopartículas preparadas via solgel**. 184p. Tese (Doutorado). Instituto de Física, Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 2009.

MANTANIS, G. I.; PAPADOPOULOS, A. N. Reducing the thickness swelling of wood based panels by applying a nanotechnology compound. **European Journal of Wood and Wood Products**, January 2010.

MARRA, A.A. **Technology of Wood Bonding: Principles in Practice**. New York: Van Nostrand Reinhold, 453p. 1992.

MAYRINCK, Caroline et al. Síntese, Propriedades e Aplicações de Óxido de Zinco Nanoestruturado. **Revista Virtual de Química**, São João Del-rei, v. 6, n. 5, set. 2014.

Morkoç, H.; Özgür, U. **Zinc Oxide: Fundamentals, Materials and Device Technology**. Wiley: Weinheim, 2009.

Mostafaei, A.; Nasirpour, F. **Epoxy/polyaniline-ZnO nanorods hybrid nanocomposite coatings: Synthesis, characterization and corrosion protection performance of conducting paints**. *Progress in Organic Coatings* 2014, 77, 146.

NP EN 310: 2002, “Placas de derivados de madeira – Determinação do módulo de elasticidade em flexão e da resistência à flexão”.

NP EN 317: 2002, “Aglomerado de partículas e aglomerado de fibras – Determinação do inchamento em espessura após imersão em água”.

NP EN 319: 2002, “Aglomerado de partículas e aglomerado de fibras – Determinação da resistência à tracção perpendicular às faces da placa”.

NP EN 322: 2002, “Placas de derivados de madeira – Determinação do teor em água”.

OLIVEIRA, André Luiz Menezes de. **Zinc Oxide Nanostructures obtained by Hydrothermal Domestic Microwave Method**. 2009. 126 f. Dissertação (Mestrado em Química analítica) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2009.

PARASKEVOPOULOS, K. M.; CHRISAFIS, K. Synthesis, characterization and thermal analysis of urea-formaldehyde/nanoSiO₂ resins. **Thermochimica Acta** 527, p. 33-39, 2012.

PIERRE, F.C.; BALLARIN, A.W.; PALMA, H.L. Caracterização física de painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis* com adição de resíduos industriais madeireiros. **Cerne**, Lavras, v.20, n.2, p.321-328, 2014.

PORTO, L. C. **Filmes formados por gelatina e poli(acrilamida-co-ácido acrílico): efeito da composição, do plastificante e agente reticulante nas propriedades térmicas, mecânicas e absorção de água**. 81p. Dissertação (Mestrado). Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

POUBEL, Dallyene da Silva. **Estabilidade da cor da madeira de Pinus modificada termicamente e tratada com nanopartículas**. 2014. 66 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2014.

Ranita, J., Martins, J., Garrido, N., Carvalho, L., Costa, C. Influence of the pressing cycle on the quality of medium density fibreboard made with a high content of recycled particles. In: 5th Forestry National Congress, **Proceedings of 5th Forestry National Congress Polytechnic Institute of Viseu**, Portugal, 2005. p.1345-1360.

ROUMELI, E. et al. Synthesis, characterization and thermal analysis of urea formaldehyde/nano SiO₂ resins. **Thermochimica Acta**, Amsterdam, v. 527, p. 33-39, Jan. 2012.

SABDIN, S. B. **Use of nanoparticle in the wood composite to enhance the heat transfer**. Universiti Malaysia Pahang. 2010.

SALARI, A.; TABARSA, T.; KHAZAEIAN, A.; SARAEIAN, A. **Improving some of applied properties of oriented strand board (OSB) made from underutilized low quality paulownia (*Paulownia fortunei*) wood employing nano-SiO₂**. Industrial Crops and Products, v. 42, p. 1– 9, 2013.

SASS, K. A comparison of application methods for the wood coatings market. **RadTech Report**, p.51-56, Mai/Jun, 2006.

SHUPE, T.; PIAO, C.; LUCAS, C. The termiticidal properties of superhydrophobic wood surfaces treated with ZnO nanorods. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 70, p. 531–535, 2012.

SILVA, Luana Cristal Lirya; LIMA, Felipe Oliveira; CAMPOS, Cristiane Inácio de. Análise das propriedades físico-mecânicas de painéis MDP produzidos com adição de nanopartículas de ZnO. In: XXIX Congresso de Iniciação Científica da Unesp, 2017, Itapeva. **Anais do XXIX CIC Unesp**, Itapeva, 2017. p. 30-35.

SILVA, Luana Cristal Lirya; LIMA, Felipe Oliveira; CAMPOS, Cristiane Inácio. Análise das propriedades físicas de painéis MDP com quatro diferentes tempos de prensagem. In: XV Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estrutura de Madeiras. **Anais do XV EBRAMEM**, Curitiba, mar. 2016.

Singh, S.; Nimmo, W.; Williams, P.T. An experimental study of ash behaviour and the potential fate of ZnO/Zn in the Cocombustion of pulverised South African coal and waste tyre rubber. **Fuel White Rose Research**, 2013, 111, 269.

SURDI, P.G. **Aproveitamento de resíduos do processamento mecânico de madeiras amazônicas para a produção de painéis aglomerados de alta densificação**. 200f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

TAGHIYARI, H. R. Fire-retarding properties of nano-silver in solid woods. **Wood Science and Technology**, v. 46, p. 939–952, 2012.

TAGHIYARI, H. R.; BIBALAN, O. F. Effect of copper nanoparticles on permeability, physical and mechanical properties of particleboard. **European Journal of Wood and Wood Products**, v.71, n.1, nov 2012.

TAGHIYARI, H. R.; HANGAVAR, H.; BIBALAN, O. F. **Effects of nanosilver on reduction of hot-pressing time and improvement in physical and mechanical properties of particleboard**. BioResources, v. 6, n. 4, p. 4067-4075, 2011.

VALLE, Ana Caroline Margarido do. **Análise das propriedades físicas e mecânicas de painéis MDP de madeira de eucalipto com adição de nanopartículas de sílica ao adesivo uréia-formaldeído**. 2015. 181. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Industrial Madeireira, Universidade Estadual Paulista, Itapeva, 2015.

VEIGEL S, Rathke J, Weigel M, Gindl-Altmutter W. Particleboard and oriented strand board prepared with nanocellulose-reinforced adhesive. **J Nanomater**. Volume 2012, 8p.

VIDAL, André Carvalho Foster; HORA, André Barros da. Panorama de mercado: painéis de madeira. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n.40 , p. 323-384, set. 2014.

WEICHELT, F.; EMMER, R.; FLYUNT, R.; BEYER, E.; BUCHMEISER, M. R.; BEYER, M. ZnO-Based UV Nanocomposites for Wood Coatings in Outdoor Applications. **Macromolecular Materials and Engineering**, 2010, p. 130–136.

YU, W.; FRANCE, D. M.; ROUTBORT, J.L; CHOL, S.U.S, (2008), Review And Comparison Of Nanofluid Conductivity And Heat Transfer Enhancements, **Heat Transfer Engineering**. vol, 29. p. 432-460.