



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**UTILIZAÇÃO DE FIBRAS RESIDUAIS DE PIAÇAVA (*Attalea funifera* M.) EM
MISTURA COM CIMENTO PORTLAND PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS
COMPÓSITOS**

RAMILDO ETISSON PASSOS BEZERRA

ORIENTADOR: PROF. DR. CLAUDIO HENRIQUE SOARES DEL MENEZZI

Brasília - DF, dezembro de 2014.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**UTILIZAÇÃO DE FIBRAS RESIDUAIS DE PIAÇAVA (*Attalea funifera* M.) EM
MISTURA COM CIMENTO PORTLAND PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS
COMPÓSITOS**

Aluno: Ramildo Etisson Passos Bezerra, matrícula 07/51553

RG: 2.582.412 SSP/DF

Orientador: Prof. Dr. Claudio Henrique Soares Del Menezzi

**Trabalho Final a ser apresentado ao
Departamento de Engenharia Florestal da
Universidade de Brasília como parte das
exigências para obtenção do título de Engenheiro
Florestal.**

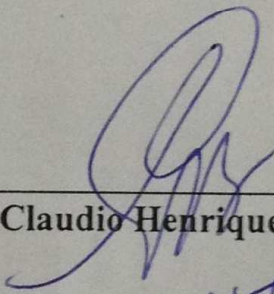
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

UTILIZAÇÃO DE FIBRAS RESIDUAIS DE PIAÇAVA (*Attalea funifera* M.) EM
MISTURA COM CIMENTO PORTLAND PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS
COMPÓSITOS

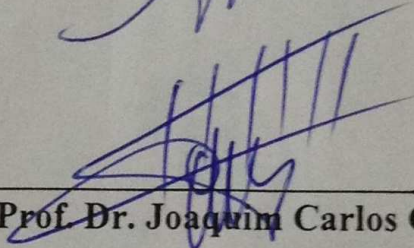
Aluno: Ramildo Etilson Passos Bezerra,

Matricula: 07/51553

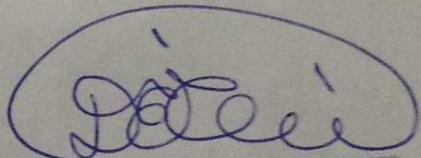
Menção: SS



Prof. Dr. Claudio Henrique Soares Del Menezzi



Prof. Dr. Joaquim Carlos Gonzalez



Dr. Divino Eterno Teixeira

Brasília, 09 de dezembro de 2014.

Agradecimentos

Aos meus pais, Ramildo e Maria José, apresento os mais profundos agradecimentos por todo incentivo e pela ativa participação em todas as etapas da minha vida.

À minha namorada, Andrielle, por todo o apoio e colaboração, inclusive nesse trabalho.

À Daniela Oliveira e Adriana Bayma que sempre me incentivaram a se dedicar ao curso e com todo o apoio.

Ao meu orientador, Claudio Del Menezzi, pelo incentivo, o apoio e a confiança.

Aos amigos, Beatriz Garcia, Catherine Menezes e Victória Mattos, pela dedicação em ajudar o coleguinha.

Aos membros da banca, Joaquim Gonzalez e Divino Teixeira, por contribuir com o enriquecimento do trabalho.

Aos funcionários da UnB, Juraci, Vanduí, Ana e Pedro, pelo grande auxílio sempre que foi necessário.

Às minhas amadas avó e madrinha por todas suas orações e pensamentos positivos.

E a todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para o desenvolvimento desse trabalho.

RESUMO

UTILIZAÇÃO DE FIBRAS RESIDUAIS DE PIAÇAVA (*Attalea funifera* M.) EM MISTURA COM CIMENTO PORTLAND PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS COMPÓSITOS

Esse estudo teve como objetivo investigar os efeitos de diferentes tratamentos sobre a compatibilidade de resíduo da fibra de piaçava (*Attalea funifera* M.), uma palmeira endêmica do estado da Bahia, com o cimento Portland e o comportamento das propriedades físicas e mecânicas dos painéis produzidos. Os tratamentos realizados consistiram na imersão em água fria por 72 horas e a adição de CaCl_2 , na proporção de 4% do peso seco do cimento. O ensaio de inibição avaliou em termos percentuais a inibição da reação exotérmica do cimento com fibras não tratadas e as tratadas em água fria. Posteriormente foram confeccionados nove painéis, três por tratamento, com densidade nominal de $1,2 \text{ g/cm}^3$. Após 28 dias de cura, foram produzidos corpos de prova para a caracterização física e mecânica através dos ensaios de flexão estática (f_m e E_M), compressão paralela (COMP), absorção de água (ABS) e inchamento em espessura (IE), em 24 horas de imersão. Os testes foram realizados segundo estabelecido pela norma ASTM D1037 (ASTM, 1999). Os corpos de prova foram previamente submetidos à utilização de técnicas não destrutivas para avaliação das propriedades de flexão. A inibição exercida por essas fibras foi classificada como baixa, em ambos os tratamentos e todos os painéis produzidos apresentaram valores das propriedades físicas e mecânicas abaixo do encontrado para outras fibras.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduo, fibra de piaçava, *Attalea funifera* M., compósito de cimento madeira, painéis minerais, compatibilidade, propriedades físicas e mecânicas

ABSTRACT

USE OF PIASSAVA RESIDUAL FIBERS (*Attalea funifera* M.) MIXED WITH PORTLAND CEMENT TO PRODUCE COMPOSITE BOARDS

This study aimed at investigating the effect of different treatments on the compatibility between piassava residual fiber (*Attalea funifera* M.) and ordinary Portland cement and also assessing the material properties of the composite boards produced. The fiber pretreatments consisted in immersion in cold water for 72 hours and the addition of CaCl_2 , in the proportion of 4% of the dry weight of the cement. The inhibition assay was evaluated in terms of percentage inhibition of the exothermic reaction of cement with untreated and treated fibers in cold water. Later there were made nine panels, three per treatment, with a density of 1.2 g/cm^3 . Afterwards, composite boards were produced and the following physical and mechanical properties were assessed according to ASTM D1037: bending properties, parallel compression strength, water absorption and thickness swelling (IE) after 24 hour of immersion. The samples were non-destructively tested using stress wave method. The inhibition exerted by these fibers was rated as quite low, in both treatments, and all board exhibited good dimensional stability, but the mechanical properties did not meet the requirements.

KEYWORDS: Waste, piassava fiber, *Attalea funifera* M., wood cement composite, mineral panels, compatibility, physical and mechanical properties

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	2
3. REVISÃO DE LITERATURA	3
3.1. Materiais Compósitos	3
3.2. Fibras Vegetais e a Fibra de Piaçava (<i>Attalea funifera</i> M.).....	4
3.3. Aglomerante Mineral.....	8
3.4. Compatibilidade entre o Cimento Portland e Fibras Vegetais	12
3.5. Tratamentos Prévios	13
4. MATERIAIS E MÉTODOS	16
4.1. Teste de Compatibilidade	16
4.2. Pré-tratamento da fibra de piaçava	18
4.3. Preparação das fibras e confecção dos painéis de cimento com adição de fibras de piaçava	19
4.4. Ensaio físicos e mecânicos.....	21
4.5. Análise Estatística.....	23
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5.1. Compatibilidade entre as fibras da espécie <i>Attalea funifera</i> M. e o cimento Portland	24
5.2. Densidade dos painéis reforçados com fibra de piaçava e propriedades físicas e mecânicas.....	27
6. CONCLUSÃO	34
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fotografia de uma palmeira <i>Attalea funifera</i> M. em campo, no estado da Bahia.	5
Figura 2. Evolução do calor liberado pela reação exotérmica de hidratação do cimento pelo tempo de hidratação (FARIA, 2004).	10
Figura 3. a) fibra de piaçava. b) moinho de facas de laboratório. c) classificador vibratório.	16
Figura 5. Preparação das amostras para realização do teste de inibição.	17
Figura 6. Desintegrador agrícola.	19
Figura 7. Hidratação da fibra de piaçava com borrifador de pressão manual em um misturador elétrico (betoneira).	20
Figura 8. Formação do colchão em um caixa formadora de madeira.	21
Figura 9. Ilustração da confecção dos corpos de prova para os testes físicos e mecânicos. ...	22
Figura 10. Equipamento <i>Metriguard 239A Stress Wave Timer</i> , medindo a velocidade de deslocamento da onda através do corpo de prova do painel de cimento madeira.	23
Figura 11. Evolução da temperatura (°C) ao longo do tempo (h).	26
Figura 12. Efeito dos tratamentos sobre as propriedades mecânicas dos painéis	29
Figura 13. Modelos de regressão linear para a estimativa das propriedades de flexão	32
Figura 14. Efeito dos tratamentos sobre as propriedades físicas, ABS e IE, dos painéis	33

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Histórico da produção anual, em toneladas, de fibra de piaçava, no Brasil.	7
Tabela 2. Composição percentual de diversas fibras lignocelulósicas.	8
Tabela 3. Tipos de cimento disponíveis no mercado.	11
Tabela 4. Classificação do índice de inibição	13
Tabela 5. Características do cimento CP II-Z-32 RS, marca Votorantim.	17
Tabela 6. Valores de temperatura máxima (°C), tempo para atingir a máxima temperatura (h), o incremento máximo de temperatura (°C/h) dos tratamentos testemunha e cimento, água e fibra, e o índice de inibição.	24
Tabela 7. Valores de temperatura máxima (°C), tempo para atingir a máxima temperatura (h), o incremento máximo de temperatura (°C/h) dos tratamentos testemunha e da mistura cimento água e fibra tratada com água fria, e o índice de inibição.	25
Tabela 8. Variação de densidade dos painéis cimento/fibra de piaçava	27
Tabela 9. Correlação de Pearson (r) entre as propriedades mecânicas e a densidade dos painéis.	28
Tabela 10. Correlação de Pearson (r) entre a velocidade da onda de tensão no stress wave e o com o módulo de elasticidade dinâmico e o módulo de ruptura.	31

1. INTRODUÇÃO

A crescente produção de resíduos sólidos é um grande problema enfrentado atualmente. Os custos econômicos, ambientais e sociais desse impacto são altos e, de certa forma, são divididos por toda a população. Ademais, há uma alta demanda por matérias-primas atualmente escassas, aumentando a necessidade de se desenvolver novos materiais. Nesse sentido, os compósitos lignocelulósicos se destacam entre as novas tecnologias desenvolvidas para suprir esta demanda.

Compósitos lignocelulósicos são associações entre um material de ligação, a matriz e um material de reforço, que para o caso deste trabalho, trata-se de fibras vegetais. Essas fibras apresentam diversas propriedades importantes, como baixa densidade, elevada resistência à tração, elevado módulo de ruptura, baixo custo de produção além de serem renováveis. Painéis de cimento madeira se enquadram nesse tipo de material, sendo que o cimento, como aglomerante mineral, exerce o papel da matriz. Dentre os aglomerantes minerais existentes, o cimento Portland é o mais apropriado, devido às suas propriedades de resistência, durabilidade, isolamento acústico e baixo custo (FRYBORT, 2008).

A fabricação de painéis a base de cimento Portland e fibras vegetais é uma importante ferramenta na construção civil, podendo ser utilizados em revestimento de parede, pisos, tapumes, forros, revestimentos externos, elementos de proteção contra incêndios, entre outros. Esses painéis assemelham-se aos painéis aglomerados, apresentando a vantagem de utilizar o cimento em substituição às resinas sintéticas, baixando o custo de produção.

Painéis de cimento madeira apresentam características importantes como resistência ao ataque de fungos e cupins, boa capacidade de isolamento térmico e acústico, incombustibilidade, elevada resistência mecânica e à umidade e fácil manufatura (Moslemi, 1974; Latorraca, 2000; Papadopoulos, 2008). Apesar das vantagens, esses painéis ainda apresentam fatores responsáveis por reduzir sua produção em escala industrial. O principal fator refere-se à ineficiência da cura e endurecimento do cimento em razão da composição química da madeira (IWAKIRI et al., 2012). Os extrativos presentes na madeira são os principais responsáveis pela inibição da solidificação do cimento (SIMATUPANG et al., 1978).

Várias pesquisas têm sido realizadas no sentido de aprimorar a técnica de produção e uso desses painéis, possibilitando o desenvolvimento de um produto que, além das vantagens já citadas, possa ser responsável pela destinação de boa parte das fibras vegetais produzidas atualmente e que, muitas vezes, recebem uma destinação inferior ao seu potencial, como acumulação em lixões ou incineração.

A fibra de piaçava é uma abundante fibra produzida no Brasil, principalmente no estado da Bahia, e atualmente sua utilização é basicamente para cobertura de casas e fabricação de artefatos de limpeza. A fase de beneficiamento é responsável por gerar grande quantidade de resíduos, que podem vir a se tornar uma importante fonte de matéria prima para fabricação desses painéis.

Assim, pesquisas que versem sobre o desenvolvimento desse tipo de material são de suma importância, pois possibilitam destinar adequadamente boa parte de resíduos vegetais produzidos, desenvolver novos materiais capazes de atender as demandas da população, assim como, complementar a renda de comunidades extrativistas e diversificar a cadeia produtiva.

2. OBJETIVOS

O presente estudo tem como objetivo testar a compatibilidade entre o resíduo de fibra de piaçava (*Attalea funifera* M.) e o cimento Portland, e a partir disso verificar o efeito de dois tratamentos prévios sobre a inibição da cura do cimento e analisar as propriedades físicas e mecânicas dos painéis produzidos.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Materiais Compósitos

Compósitos são materiais formados por pelo menos dois componentes ou fases, sendo eles o material de reforço disperso em uma matriz contínua. Esses componentes mantêm sua estrutura física e química, mas produzem uma combinação de propriedades não alcançada isoladamente (MALLICK, 2007). Esse tipo de material apresenta ampla utilização, desde esporte e lazer até desenvolvimento de tecnologias aeroespaciais e sistemas de defesa (MONTEIRO et al., 2011).

Atualmente compósitos têm sido desenvolvidos, principalmente, com o uso de fibras como as de vidro e carbono, que possuem um processo produtivo gerador de alto impacto ao meio ambiente, como a poluição atmosférica e o alto consumo energético. Além disso, a dificuldade de reciclagem depois de atingida a vida útil, configura outro problema que incentiva a busca por novos materiais (MONTEIRO et al., 2011; KALIA et al., 2009).

Esses fatores aliados ao crescimento da consciência ecológica, ao esgotamento dos recursos naturais, em especial o petróleo, e a criação de novas leis de proteção ao meio ambiente têm impulsionado o desenvolvimento de materiais mais ecológicos (THOMAS, 2011; FARUK et al., 2012).

Outros fatores que estão impulsionando pesquisas no desenvolvimento de materiais menos agressivos ao meio ambiente são a disponibilidade mundial de fibras vegetais, a grande quantidade de resíduos produzidos pela agricultura (KHEDARI, 2001; SILVA et al., 2009; THOMAS, 2011) e o baixo custo de produção de fibras naturais frente às sintéticas (KALIA et al., 2009; FARUK et al., 2012; FORNARI e FORNARI Jr., 2013).

Devido a isso, diversas pesquisas têm sido realizadas no intuito de desenvolver compósitos em que o material de reforço seja formado por fibras vegetais, e essas têm sido intensificadas nos últimos anos (MONTEIRO et al., 2011; KALIA et al., 2009). Monteiro et al. (2009) estabeleceram que a estrutura superficial das fibras vegetais é variável, sendo essa estrutura responsável por influenciar seu comportamento mecânico. Segundo Kalia et al. (2009) para entender sobre as propriedades desse tipo de compósito é necessário conhecer as propriedades físicas, químicas e mecânicas da fibra vegetal a ser utilizada.

3.2. Fibras Vegetais e a Fibra de Piaçava (*Attalea funifera* M.)

O termo fibra vegetal, ou fibra lignocelulósica, tem sido empregado na designação de uma ampla variedade de células caracterizadas pela forma alongada e pela parede secundária espessa (YOUNG, 1997; SILVA et al., 2009). A composição básica dessas fibras é formada por celuloses, polioses, lignina e extrativos.

A celulose se apresenta como o polissacarídeo mais abundante da natureza, e a molécula orgânica mais farta na terra (ROWELL et al. 2005). Composta por unidades de β -glicose, ligados entre si através dos carbonos 1-4, suas moléculas são lineares e apresentam forte tendência a formação de ligações de hidrogênio. Feixes de moléculas de celulose são agregados na forma de microfibrilas formando uma estrutura ordenada, a região cristalina, sendo essa alternada por uma região amorfa, menos ordenada. Sua localização predominante é na parede secundária da célula, sendo o principal componente com aproximadamente 40-45% (SJÖSTRÖM, 1981).

As polioses compreendem um grupo de polissacarídeos que permanece associado à celulose após remoção da lignina, estando essas intimamente ligadas, contribuindo com os componentes estruturais. Elas contêm diversas unidades de açúcares diferentes e exibem considerável grau de ramificação. A constituição das plantas pelas polioses varia entre as espécies (ROWELL et al., 2005)

A lignina é um dos principais componentes da madeira, sendo o segundo mais abundante do reino vegetal, apresenta importante papel no transporte de água, nutrientes e metabólitos, sendo responsável pela resistência mecânica de vegetais, além de proteger os tecidos contra o ataque de microrganismos (FENGEL e WEGENER, 1989). São moléculas amorfas, complexas e possuem a formação do seu polímero principal constituída por unidades aromáticas de fenilpropano, substância considerada incrustante (ROWELL et al. 2005).

Os extrativos são compostos químicos da parede celular, geralmente formados a partir de graxas, ácidos graxos, alcoóis graxos, fenóis, terpenos, esteróides, resinas ácidas, resinas ceras, e alguns outros tipos de compostos orgânicos. Geralmente as coníferas apresentam maior teor de extrativos comparado às folhosas. A localização principal é o cerne e podem ser responsáveis pela cor, odor e durabilidade (ROWELL et al. 2005).

As fibras vegetais apresentam grande importância por sua diversificação de usos e por seu emprego bastante difundido. São inúmeras as plantas responsáveis por fornecer fibras, mas, em geral, um número irrisório de espécies são, de fato, utilizadas (AQUINO, 2003).

A produção de fibras vegetais é ecologicamente adequada ao meio ambiente por ser um produto natural e renovável. Além disso, o resíduo gerado pelo beneficiamento das fibras pode ser reciclado; a essas vantagens incluem-se as boas propriedades tecnológicas, o que pode despertar o interesse tanto da indústria como do setor agrícola (WEI et al., 2003; FORNARI e FORNARI JÚNIOR, 2013). Socialmente, por meio da geração de renda às populações rurais, podem contribuir com a diminuição do fluxo de pessoas do campo para os grandes centros urbanos, principalmente das regiões norte e nordeste do país (MARINELLI et al., 2008).

Nesse contexto a palmeira *Attalea funifera* M. (Figura 1), conhecida popularmente como piaçava, espécie nativa e endêmica do sul do Estado da Bahia, possui grande importância. O nome popular tem origem tupi, significando “planta fibrosa” com a qual se faz utensílios caseiros (AQUINO, 2003; BUENO, 2008). Foi descrita por Martius em 1825 e seu nome foi dado pela junção de duas palavras latinas, “**funis**”, substantivo que significa “corda”, “amarra” e “**ferens**”, adjetivo que significa “que produz” (VINHA e SILVA, 1998).



Foto: cedida por Noara Pimentel.

Figura 1. Fotografia de uma palmeira *Attalea funifera* M. em campo, no estado da Bahia.

Essa espécie é uma palmeira solitária, sem espinho, ereta, caulescente. A altura média varia entre 8 e 15 metros e o diâmetro em torno de 20 e 25 cm. Apresenta de oito a dez folhas, com aproximadamente 9 m de comprimento total, as margens do pecíolo apresentam fibras rígidas de até 3,5 m de comprimento. As fibras produzidas podem atingir mais de 2 m, possuem elevada resistência à ruptura, elevada elasticidade, são lisas, rígidas, de textura impermeável, o diâmetro gira em torno de 1,1 mm e a produção anual varia de 2,5 a 7,5 kg por planta (SILVA, 2003; D'ALMEIDA et al., 2006; AQUINO et al., 2001).

Sua distribuição ocorre em uma faixa de no máximo 50 km de largura, desde a região do Prado - BA até a divisa com o estado do Sergipe, com maior concentração no município de Cairu - BA (SILVA, 2003). Ocupa uma área significativa nos municípios litorâneos, associada à vegetação secundária, sob mata ou áreas abertas (SILVA e VINHA, 1985; VINHA e SILVA, 1998).

Devido sua adaptabilidade aos solos ácidos e de baixa fertilidade é considerada boa opção de diversificação, podendo ser empregada em repovoamentos florestais e na implantação de novos piaçavais tanto em áreas degradadas como em sistemas agroflorestais (SILVA e VINHA, 1985; VINHA e SILVA, 1998; SILVA, 2003).

Seu manejo é herança cultural atribuída aos índios Tupinambás, que utilizavam o trançado para fabricar objetos, e posteriormente foi adotado pelos trabalhadores rurais e pescadores para suprir suas necessidades (BARRETO, 2009).

Atualmente a cadeia produtiva da piaçava é responsável pela movimentação de milhões de reais, somente no ano de 2012 cerca de 109 milhões foram gerados com a produção de 57.762 toneladas, sendo o estado da Bahia responsável por 96,2% de toda a produção nacional. Apesar do volume de recursos movimentados, a produção nacional vem sofrendo queda nos últimos anos (Tabela 1), devido fatores como a falta de mão de obra, baixa remuneração do produtor, senescência de vários piaçavais e a redução da demanda (IBGE, 2014).

A fase de pré-beneficiamento é responsável por gerar entre 20% e 30% de resíduos, que são acumulados ou incinerados, mais descarte ocorre na indústria, na produção de vassouras, por exemplo, elimina grande parte das fibras com menos de 50 cm de comprimento

(SAVASTANO JÚNIOR e PIMENTEL, 2000; AQUINO et al., 2001; AQUINO, 2003; SILVA, 2003). A partir da readequação da destinação desse resíduo é possível desenvolver novas formas de agregar valor, o que poderá introduzir novas atividades para geração de renda às comunidades extrativistas.

Tabela 1. Histórico da produção anual, em mil toneladas, de fibra de piaçava, no Brasil.

Histórico da Quantidade de Piaçava produzida anualmente no Brasil (Toneladas)														
1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
96,41	96,04	94,9	95,45	94,71	95,51	96,17	86,6	80,94	82,1	78,17	72,23	63,78	61,41	57,76

Fonte: IBGE, 2014.

Essa fibra apresenta elevada resistência ao desgaste e às intempéries, baixo peso e custo, e sua utilização tem sido basicamente para fabricação de vassouras, escovas e coberturas residenciais (FORNARI e FORNARI JÚNIOR, 2013). No entanto, a ampliação do número de estudos sobre as propriedades dessa fibra podem demonstrar o potencial de utilização tecnológica. Aquino et al. (2001) verificando a possibilidade de utilização desse resíduo no reforço de compósitos encontraram valores promissores, incentivando a ampliação dos estudos.

A constituição química dessa fibra é rica nos elementos químicos silício, cálcio e enxofre, tendo o silício como maior representante, devido a abundância da sílica (SiO_2) que está amplamente distribuída sobre a superfície (MONTEIRO et al., 2009; AQUINO, 2003). As protusões com partículas ricas em sílica, presentes na superfície da fibra, podem atuar na sua adesão com a matriz, demonstrando ser uma importante fibra para utilização em reforço de compósitos (AQUINO, 2003).

A determinação do teor de celulose, hemicelulose e lignina da fibra de piaçava, assim como de outras fibras para efeito de comparação, podem ser visualizadas abaixo (Tabela 2) (YOUNG, 1997; GONÇALVES et al., 2000; AQUINO, 2003). O teor de lignina encontrado para a piaçava é maior do que o encontrado para outras fibras lignocelulósicas, esse fato pode justificar a impermeabilidade e a rigidez que possui (AQUINO, 2003).

Monteiro et al. (2009) estudando reforço de compósitos com fibras de piaçava, encontraram valores que indicam o aumento da resistência a flexão, além disso consideraram que essa fibra promoveu um perfeito reforço. Característica atribuída ao seu elevado

comprimento, propiciando explorar ao máximo sua propriedade de tração, o que lhe confere vantagem sobre outras fibras (FORNARI e FORNARI JUNIOR, 2013).

Tabela 2. Composição percentual de diversas fibras lignocelulósicas.

FIBRA	CELULOSE	POLIOSES	LIGNINA
Piçava	31,6	10,5	48,4
Bagaço	48,0	22,0	20,0
Bambu	35,0	15,0	27,0
Cana	45,0	20,0	23,0
Linho	60,0	16,0	4,0
Juta	60,0	15,0	16,0
Cânhamo	67,0	16,0	8,0
Rami	69,0	13,0	1,0
Cânhamo de manilha	63,0	20,0	6,0
Sisal	60,0	12,0	10,0
Madeira	45,0	22,0	25,0
Casca de coco	45,0	43,0	0,3

Fonte: Aquino (2003).

3.3. Aglomerante Mineral

Simatupang e Geimer (1990) citam o cimento Portland, o de magnésio e o gesso como aglomerantes inorgânicos utilizados para fabricação de painéis com diferentes propriedades, enquanto Frybort (2008) estabelece o cimento Portland como o mais apropriado, devido suas propriedades de resistência, durabilidade e isolamento acústico.

O cimento Portland é um pó fino com propriedades aglomerantes, que sob a ação da água sofre uma reação exotérmica e enrijece. Suas características e propriedades dependem da qualidade e das proporções dos materiais com que é composto (ABCP, 2002).

A constituição básica do cimento Portland é formada pelo clínquer e pelas adições. O clínquer é o principal componente estando presente em todos os tipos de cimento Portland, possui como matérias-primas o calcário e a argila sendo formado em altas temperaturas. As adições são o gesso, as escórias de alto-forno, os materiais pozolânicos e os materiais carbonáticos, que variam conforme o tipo de cimento (ABCP, 2002).

O clínquer é um pó composto principalmente por óxidos de cálcio e sílica, tem a peculiaridade de desenvolver uma reação química em presença de água, na qual ele

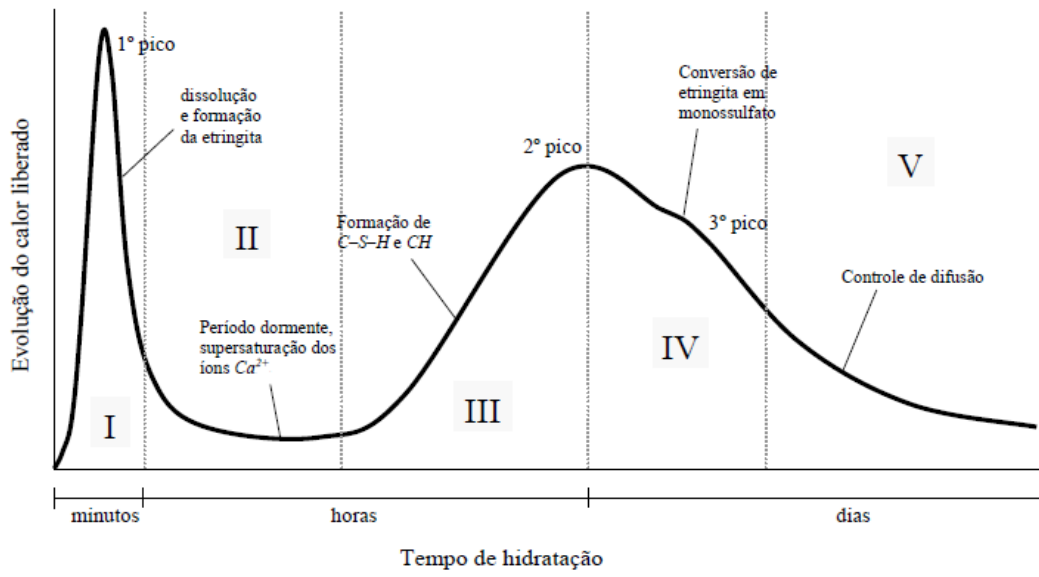
primeiramente torna-se pastoso e, em seguida, enrijece, adquirindo elevada resistência e durabilidade. Essa característica o torna um ligante hidráulico muito resistente, sendo essa sua propriedade mais importante (ABCP, 2002).

O gesso tem como função básica controlar o tempo de pega, isto é, o início do enrijecimento do clínquer moído quando misturado com água. As escórias de alto-forno também possuem a propriedade de ligante hidráulico, ou seja, que reagem em presença de água, no entanto são responsáveis por causar decréscimo do calor de hidratação, resultando em uma reação lenta. Para contornar esse fato agentes ativadores, químico e físico, são adicionados, são eles a cal liberada durante a hidratação do clínquer e a granulometria da escoria, respectivamente (ABCP, 2002).

Os materiais pozolânicos são rochas vulcânicas ou matérias orgânicas fossilizadas encontradas na natureza, certos tipos de argilas queimadas em elevadas temperaturas (550°C a 900°C) e derivados da queima de carvão mineral nas usinas termelétricas, entre outros. Quando pulverizados em partículas muito finas, também passam a apresentar a propriedade de ligante hidráulico na presença de água. Os materiais carbonáticos são rochas moídas, que apresentam carbonato de cálcio em sua constituição tais como o próprio calcário (ABCP, 2002).

Com relação a reação de hidratação do cimento, cabe destacar que essa é exotérmica e termoativa, o que significa que a própria cinética da reação é alterada em função da mudança de temperatura. Faria (2004) dividiu essa reação em relação ao tempo em cinco estágios (Figura 2) e seu trabalho juntamente com o de Odler (1998) explicam detalhadamente cada estágio da reação que envolve uma complexa cinética química.

No mercado é possível encontrar diversos tipos de cimento Portland (Tabela 3) cada um com sua característica e especificidade, além da indicação de uso que será realizada mediante as proporções dos constituintes básicos e pela adição de algum componente específico.



Fonte: Faria (2004).

Figura 2. Evolução do calor liberado pela reação exotérmica de hidratação do cimento pelo tempo de hidratação (FARIA, 2004).

Tabela 3. Tipos de cimento disponíveis no mercado.

Nome técnico		Sigla	Classe	Identificação do tipo e classe
Cimento Portland comum (NBR 5732)	Cimento Portland comum	CP I	25	CP I-25
			32	CP I-32
			40	CP I-40
	Cimento Portland comum com adição	CP I-S	25	CP I-S-25
			32	CP I-S-32
			40	CP I-S-40
Cimento Portland composto (NBR 11578)	Cimento Portland composto com escória	CP II-E	25	CP II-E-25
			32	CP II-E-32
			40	CP II-E-40
	Cimento Portland composto com pozolana	CP II-Z	25	CP II-Z-25
			32	CP II-Z-32
			40	CP II-Z-40
	Cimento Portland composto com fíler	CP II-F	25	CP II-F-25
			32	CP II-F-32
			40	CP II-F-40
Cimento Portland de alto-forno (NBR 5735)		CP III	25	CP III-25
			32	CP III-32
			40	CP III-40
Cimento Portland de pozolânico (NBR 5736)		CP IV	25	CP IV-25
			32	CP IV-32
Cimento Portland de alta resistência (NBR 5733)		CP V-ARI	-	CP V-ARI
Cimento Portland resistente aos sulfatos (NBR 5737)		-	25	Sigla e classe dos tipos originais acrescidos do sufixo RS.
			32	
			40	
Cimento Portland de baixo calor de hidratação (NBR 13116)		-	25	Sigla e classe dos tipos originais acrescidos do sufixo BC.
			32	
			40	
Cimento Portland branco (NBR 12989)	Cimento Portland branco estrutural	CPB	25	CPB-25
			32	CPB-32
			40	CPB-40
	Cimento Portland branco não estrutural	CPB	-	CPB
Cimento para poços petrolíferos (NBR 9831)		CPP	G	CPP - Classe G

Fonte: ABCP (2002).

3.4. Compatibilidade entre o Cimento Portland e Fibras Vegetais

A produção industrial de painéis de cimento-madeira teve início nos anos 30 do século passado, sendo que as maiores inovações ocorreram nos últimos 40 anos (FRYBORT, 2008). Porém esse desenvolvimento ainda é embaraçado devido à compatibilidade entre esses dois materiais (PAPADOPOULOS, 2008; NAZERIAN, 2011).

O termo compatibilidade, quando utilizado em pesquisas na área de desenvolvimento de compósitos a base de cimento e fibras vegetais, refere-se ao grau de inibição da reação exotérmica de hidratação do cimento (JORGE et al., 2004; PAPADOPOULOS, 2008). Nesse caso, a fibra vegetal será dita compatível caso não influencie ou pouco influencie essa reação (MOSLEMI e LIM, 1984). Latorraca et al. (1999) estabelecem que a mensuração da compatibilidade baseada na análise da curva de hidratação do cimento indica com boa precisão a aptidão de uma determinada espécie para sua utilização na produção desses painéis.

O comportamento das curvas de reação do cimento e do cimento na presença de fibras vegetais é descrito por Moslemi e Lim (1984), inicialmente a mistura sofre aumento da temperatura, seguido por um período de dormência e, posteriormente, endurecimento do cimento com rápida elevação de temperatura.

Essa reação é influenciada, principalmente, pelos tipos e teores de extrativos presentes na madeira (SIMATUPANG et al., 1978; MOSLEMI, 1998; LATORRACA e IWAKIRI, 2000; JORGE et al., 2004; OKINO et al., 2004; NAZERIAN, 2011; FERRAZ et al., 2012). Outras substâncias que, em menor ou maior grau, influenciam o processo de cura são os carboidratos, os açúcares e os compostos fenólicos (SAVASTANO JÚNIOR, 2000; FRYBORT et al., 2008; FERRAZ et al., 2012). Esses últimos, assim como os ácidos orgânicos, são responsáveis, ainda, por destruir lentamente a ligação do cimento e reduzir suas propriedades (WEI, 2000a *apud* BLANKENHORNET al., 1994).

Os efeitos inibitórios que as fibras vegetais exercem sobre essa reação são a redução da temperatura máxima e o aumento do tempo para ser atingida essa temperatura. A partir desses dados é possível mensurar a inibição (WEI et al., 2000a). Weatherwax & Tarkow (1964) determinaram o índice de inibição baseado no aumento do tempo de cura do cimento. Hofstrand et al. (1984) incorporaram outras duas variáveis, a temperatura máxima da reação de hidratação e o incremento máximo de temperatura. Jorge et al. (2004) citam o método de

Hofstrand et al. (1984) como o mais sofisticado para o cálculo da inibição da cura do cimento, esse método compara a máxima temperatura da reação de hidratação, o tempo para atingir essa temperatura e o máximo incremento de temperatura, entre a mistura comum, cimento e água, e a com acréscimo da fibra vegetal fornecendo um índice percentual da inibição.

O índice de inibição produz uma estimativa geral das propriedades dos painéis, confeccionados a partir das fibras avaliadas, resultando na seleção de um material mais adequado que possibilitará produzir painéis mais estáveis, levando a uma melhor utilização da madeira e conseqüente redução do desperdício e dos custos (WEI, 2000a). A partir desse índice é possível classificar as fibras segundo sua inibição (TEIXEIRA et al., 2001) (Tabela 4).

Tabela 4. Classificação do índice de inibição

Índice de Hidratação (%)	Classificação
I < 10	Baixa inibição
I = 10 a 50	Moderada inibição
I = 50 a 100	Alta inibição
I > 100	Extrema inibição.

Fonte: Teixeira et al. (2001).

3.5. Tratamentos Prévios

Tratamentos prévios visam melhorar a adesão entre a matriz e as fibras vegetais e reduzir a inibição da reação de hidratação do cimento (KALIA et al., 2009). Moslemi et al. (1983) recomendam três métodos de tratamentos de partículas:

- (i) Imersão em água fria por 24 horas;
- (ii) Imersão em água quente por 6 horas; e,
- (iii) Imersão em solução de NaOH (1%) por 2 horas.

Com relação a esses e outros tratamentos, a literatura indica que a simples imersão em água fria pode ser responsável por eliminar da superfície da fibra materiais orgânicos provenientes da extração da fibra das palmeiras (AQUINO, 2003). Miranda de Lima et al. (2011), avaliando a potencialidade do *Pinus spp.* para produção de painéis de cimento madeira, constataram significativa elevação da resistência à compressão dos compósitos após a imersão em água fria por 48 horas, quando comparado com a madeira sem tratamento.

O tratamento realizado na madeira da espécie *Hevea brasiliensis*, com água quente, não foi eficaz para redução da inibição da cura do cimento (OKINO et al., 2004). No entanto, Ferraz et al. (2011) ao utilizarem o tratamento com água quente obtiveram painéis com propriedades mecânicas superiores aos outros tratamentos utilizados.

O tratamento alcalino, com NaOH, é responsável por remover parte da lignina, da hemicelulose e de outros compostos presentes na superfície externa da fibra, além de aumentar sua rugosidade, promovendo melhor adesão entre o conjunto fibra-matriz (FARUK et al., 2012). Entretanto esse resultado não foi verificado por Ferraz et al. (2011), após tratamento das fibras de coco em solução de NaOH por 72h, esses autores constataram fraca adesão entre a fibra e a matriz, além do aumento da rugosidade das fibras ocasionar redução da estabilidade dimensional.

Mori et al. (2007) a partir de tratamento químico com hidróxido de sódio realizado em *Eucalyptus grandis* verificaram redução de 33% no teor de extrativos, o que foi responsável por reclassificar a espécie de “inibição extrema” para “baixa inibição”.

Além desses tratamentos, outros pesquisadores (LATORRACA e IWAKIRI, 2001; MIRANDA DE LIMA et al., 2011; OKINO et al., 2004; PAPADOPOULOS, 2008; WEI et al., 2000b) têm feito uso de aditivos químicos no intuito de acelerar a cura do cimento (OKINO et al., 2004; FERRAZ, 2011).

Segundo Latorraca e Iwakiri (2001), aditivos são responsáveis por reduzir o tempo de cura dos painéis. Já Mehta e Monteiro (2008) *apud* Miranda de Lima et al. (2011) acrescentam a capacidade de aumentar a velocidade de desenvolvimento da resistência inicial.

Após a adição de CaCl_2 no teste de inibição da cura do cimento misturado com partículas da espécie *Hevea brasiliensis*, Okino et al. (2004) constataram modificação na classificação de “inibição extrema” para “baixa inibição”. Nesse contexto, os autores testaram, também, a adição de microssílica, o que resultou na reclassificação para “baixa a média inibição”.

Papadopoulos (2008) verificou resultado semelhante com a espécie *Carpinus betulus* L., após tratamento com CaCl_2 essa espécie foi reclassificada como “baixa inibição”, sendo que, inicialmente foi classificada como “média inibição”.

Wei et al. (2000b) ao analisar a influência de 30 diferentes tipos de aditivos constataram melhores resultados com uso do CaCl_2 , além disso obtiveram uma correlação positiva entre a melhora nas características da hidratação e os valores de resistência dos painéis, o que foi também encontrado por Miranda de Lima et al. (2011) que constataram ganhos significativos de resistência dos compósitos com a incorporação desse aditivo a manufatura dos painéis.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Teste de Compatibilidade

Um saco contendo resíduos de fibra da espécie *Attalea funifera* M. (Figura 3a), conhecida popularmente como piaçava, foi obtida de uma comunidade extrativista localizada no sul do estado da Bahia.

Uma parte desse material foi moída em um moinho de facas de laboratório, marca Marconi, modelo MA 680 (Figura 3b). Posteriormente foram classificadas por meio de um classificador vibratório (Figura 3c), programado na frequência de 10 Hz, durante cinco minutos, e um conjunto de três peneiras metálicas +40 mesh, +60 mesh e fundo cego. As fibras classificadas foram depositadas em sacos plásticos, sendo que a fibra utilizada para o teste foi aquela que passou na malha de 40 mesh e ficou retida na de 60 mesh (-40+60).



Figura 3. a) fibra de piaçava. b) moinho de facas de laboratório. c) classificador vibratório.

Foram realizados dois ensaios, mistura de cimento e água, representando o tratamento teste, e cimento, água e a fibra da piaçava, com uma repetição para o teste e três para a mistura com acréscimo de fibras vegetais.

O aglomerante utilizado foi o cimento Portland CP II-Z-32 RS, marca Votorantim, disponível no mercado comum. Esse cimento apresenta as seguintes características:

Tabela 5. Características do cimento CP II-Z-32 RS, marca Votorantim.

Tipo	Sigla	Classe	Norma	Clínquer + Gesso	Calcário	Escória
II	CP II Z RS	32	11578	76-94%	0-10%	6-14%

Fonte: Votorantim (2014).

Onde: CP – Cimento Portland; II – Composto; Z – Adição de pozolânica; 32 – Resistência de 32 MPa.

Os materiais foram separados em sacos plásticos, em um tempo menor que cinco minutos entre uma amostra e outra, e misturados na seguinte proporção: 200 g de cimento Portland, 15 g da fibra de piaçava e 90,5 g de água destilada (HOFSTRAND et al., 1984; WEATHERWAX e TARKOW, 1964), sendo que as massas foram medidas com auxílio de uma balança eletrônica com precisão de 10^2 g.

Cada amostra foi inserida em uma garrafa térmica e, em seguida, cabos termopar tipo “K” (instrumento de medição de temperatura) foram introduzidos no centro da mistura. As garrafas térmicas foram depositadas em uma caixa térmica comum onde foram totalmente preenchidas com isopor, no intuito de isolar e impedir a perda de calor (Figura 5).



Figura 4. Preparação das amostras para realização do teste de inibição.

Os cabos termopar foram conectados a um receptor de sinais (*datalogger*) e a medição das temperaturas ocorreu em intervalos de 4 minutos por um período de 24 horas, os dados foram transferidos para uma tabela Excel©.

O índice de inibição foi calculado segundo a metodologia preconizada por Hofstrand et al. (1984), cuja fórmula é apresentada a seguir:

$$I(\%) = \left[\frac{(T_{cim} - T_m)}{T_{cim}} \times \frac{(H_m - H_{cim})}{H_{cim}} \times \frac{(S_{cim} - S_m)}{S_{cim}} \right] \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde: T_{cim} = Temperatura máxima da mistura cimento e água (°C); T_m = Temperatura máxima da mistura cimento, água e fibra de piaçava (°C); H_{cim} = Tempo para atingir a temperatura máxima de hidratação do cimento na mistura cimento e água (h); H_m = Tempo para atingir a temperatura máxima de hidratação do cimento na mistura fibra de piaçava, água e cimento (h); S_{cim} = Incremento máximo de temperatura da curva na mistura cimento e água (°C/h) e S_m = Incremento máximo de temperatura da curva na mistura cimento, água e fibra de piaçava (°C/h).

A classificação do índice de inibição da cura do cimento seguiu o estabelecida nos estudos de Teixeira et al. (2001).

4.2. Pré-tratamento da fibra de piaçava

Uma porção das fibras obtidas foi submetida ao tratamento com água fria, sendo que esse tratamento foi prévio à sua moagem. Inicialmente as fibras foram trituradas em um desintegrador, marca Máquinas Agrícolas Nogueira do Brasil, modelo DPM 4, com peneira de 5 mm de abertura, e inseridas em um balde comum com aproximadamente 30 litros de água limpa (Figura 6).



Figura 5. Desintegrador agrícola.

A imersão em água fria consistiu na submersão dessas fibras em água a temperatura ambiente, por 72 horas. Posteriormente, foram secas ao ar livre por 48 horas. Após isso, foram submetidas aos procedimentos realizados no teste de compatibilidade.

O outro pré-tratamento consistiu na incorporação do cloreto de cálcio à confecção dos painéis, na proporção de 4% do peso seco do cimento. Esse produto foi adicionado à água usada para hidratar o cimento durante a confecção do painel com fibras *in natura*.

4.3. Preparação das fibras e confecção dos painéis de cimento com adição de fibras de piaçava

As fibras foram moídas em um moedor agrícola, modelo DPM-4, marca Nogueira Máquinas Agrícolas, com peneira de 5 mm de abertura. Posteriormente foram classificadas no intuito de reduzir a quantidade de finos, que devido à grande superfície específica são responsáveis pelo aumento da inibição.

Para a formação dos painéis procedeu-se inicialmente ao cálculo dos componentes da mistura: fibra de piaçava, cimento, água e cloreto de cálcio, para os tratamentos ao qual foi utilizado, sendo que uma perda de 5% dos componentes foi considerada. A massa foi preparada mediante as seguintes misturas, fibra/cimento de 1:2,75; água/cimento de 0,4; e 4%

de cloreto de cálcio em relação ao peso seco do cimento. Os cálculos foram realizados para densidade nominal do painel de 1,2 g/cm³.

O teor de água da mistura foi controlado e corrigido em função do teor de umidade da fibra de piaçava, que foi previamente mensurada, de forma a manter sempre a fibra no Ponto de Saturação das Fibras (PSF), adotado neste estudo como 30%.

Devidamente pesados, os componentes foram misturados em um misturador elétrico, conhecido popularmente como betoneira, com o intuito de homogeneizar a massa. Inicialmente a fibra, em sua totalidade, foi posta no equipamento e hidratada com o auxílio de um borrifador de água de pressão manual, em seguida, o cimento foi adicionado pouco a pouco, intercalando com adição de água para evitar a formação de “novelos”. Após obtenção de uma massa homogênea e aparecimento dos primeiros enovelamentos a máquina foi desligada, em seguida foi realizada a pesagem e a divisão em partes iguais (Figura 7).



Figura 6. Hidratação da fibra de piaçava com borrifador de pressão manual em um misturador elétrico (betoneira).

Em uma caixa formadora de colchão (Figura 8), com dimensões de 30 x 30 cm, a massa foi adicionada uniformemente para a confecção de cada painel. A caixa foi posta sob

uma chapa de alumínio com dimensão de 50 x 50 cm. Os colchões foram cobertos, em ambos os lados, por um plástico para facilitar a retirada após prensagem. Após a retirada da caixa formadora, outra chapa foi colocada na parte superior do colchão, assim como, duas barras de ferro de 1,25 cm para controle da espessura do painel.

O colchão foi prensado a frio com pressão específica de 4,0 MPa, em número de três painéis sobrepostos em sequência e mantidos por período de 24 horas para o endurecimento. Após esse período, os painéis foram acondicionados à temperatura ambiente por um período de 28 dias para maturação final.



Figura 7. Formação do colchão em um caixa formadora de madeira.

4.4. Ensaio físicos e mecânicos

Após o período de cura dos painéis foram produzidos 45 corpos de prova (CP), 14 por tratamento, para determinação das propriedades físicas e mecânicas (Figura 9), os quais foram submetidos aos testes de flexão estática (módulo de elasticidade (E_M), módulo de ruptura (f_m)), desses, três amostras foram perdidas uma em cada tratamento. A partir desses CPs, foram confeccionados 18 amostras, seis para cada tratamento, para o teste de compressão

paralela (COMP), e 21 amostras, sete para cada tratamento, para os testes de inchamento em espessura em 24 horas (IE), absorção de água em 24 horas (ABS), mediante uso da norma ASTM D1037 (ASTM, 1998).

Previamente ao ensaio de flexão estática, os corpos de prova foram avaliados por meio do equipamento *Metriguard 239A Stress Wave Timer* (Figura 10), objetivando determinar o módulo de elasticidade dinâmico (E_d). Esse equipamento determina o tempo de propagação de uma onda de tensão através do corpo de prova. Conhecendo-se esse tempo, a densidade do material e a distância percorrida, é possível determinar a velocidade de propagação (SWV) e calcular o E_d (Equação 2 e 3).

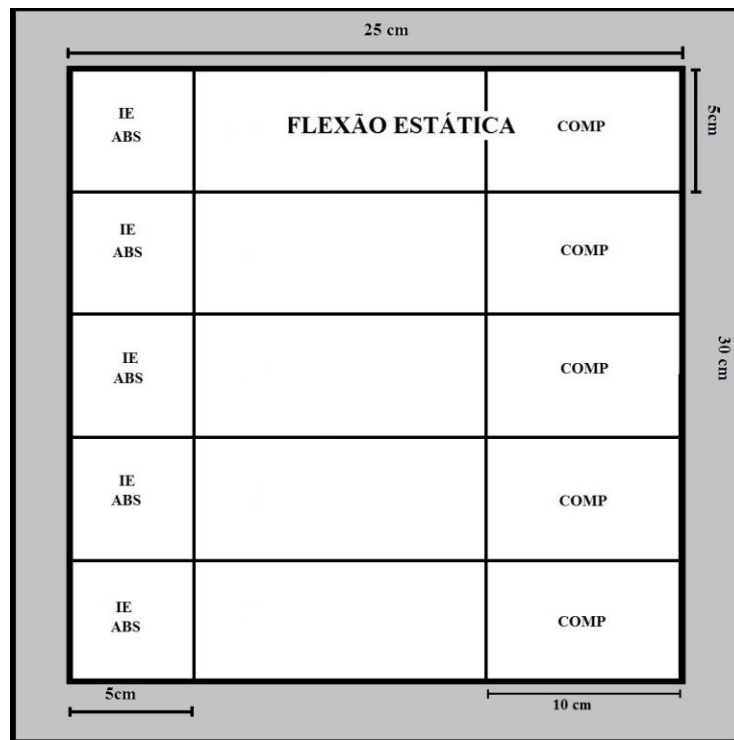


Figura 8. Ilustração da confecção dos corpos de prova para os testes físicos e mecânicos.

$$swv = \frac{d}{t * 10^{-6}} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde: swv = velocidade de propagação da onda, m/s; d = distância percorrida pela onda, m; t = tempo de trânsito da onda; μs

$$Ed = swv^2 * \rho * 10^{-6} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde: E_d = módulo de elasticidade dinâmico, MPa; ρ = densidade da madeira; kg/m^3 .

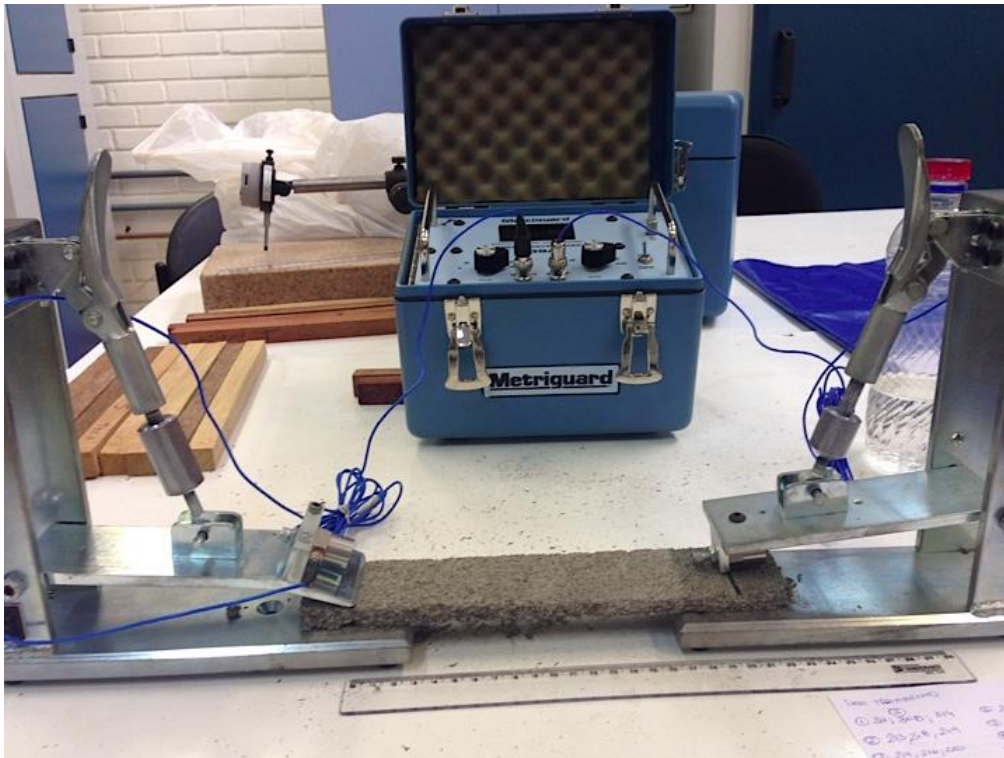


Figura 9. Equipamento *Metriguard 239A Stress Wave Timer*, medindo a velocidade de deslocamento da onda através do corpo de prova do painel de cimento madeira.

4.5. Análise Estatística

Foi aplicada uma análise de variância (ANOVA) para verificar as diferenças entre as propriedades de cada tratamento. Caso houvesse variância estatisticamente significativa, um teste de média de Tukey ao nível de $\alpha=0,05$ foi aplicado. No caso da densidade, se houvesse variância estatisticamente significativa um teste de covariância seria aplicado para eliminar o efeito da densidade sobre as propriedades dos painéis. Posteriormente foi realizada a correlação de Person ao nível de $\alpha=0,01$ e análise de regressão da resistência a flexão entre as propriedades obtidas por meios não destrutivos e por meio destrutivos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Compatibilidade entre as fibras da espécie *Attalea funifera* M. e o cimento Portland

Os valores de temperatura máxima (°C), tempo para atingir essa temperatura (h), o incremento máximo de temperatura (°C/h) e o valor do índice de inibição para o teste com as fibras *in natura* (sem tratamento) podem ser encontrados na Tabela 6. Os valores encontrados para a mistura cimento, água e fibra de piaçava foram obtidos pela média simples entre as três repetições.

Tabela 6. Valores de temperatura máxima (°C), tempo para atingir a máxima temperatura (h), o incremento máximo de temperatura (°C/h) dos tratamentos testemunha e cimento, água e fibra, e o índice de inibição.

Tratamento	Temperatura Máxima (°C)	Tempo para atingir a temperatura máxima (h)	Incremento Máximo (°C/h)	I (%)
Cimento	63,1	8,40	10,80	-
Cimento, água e fibra	59,1	9,02	7,51	0,143

O índice de inibição (I) da mistura cimento-fibra de piaçava *in natura* foi de 0,143%, valor classificado como “baixa inibição”, segundo Teixeira et al. (2001). Devido à dificuldade em encontrar trabalhos com o objetivo de medir a compatibilidade dessa fibra com o cimento foi necessário comparar os resultados com trabalhos que abordaram outras fibras vegetais.

Nesse sentido, Ferraz et al. (2012), quando testaram a inibição das fibras de *Cocos nucifera* L., encontraram o valor de 186,28% para o teste de inibição utilizando fibra *in natura*. Já Papadopoulos (2008) em seu trabalho com *Carpinus betulus* L. obteve o valor de 39,15%, também para fibra *in natura*. Ainda nesse sentido, Okino et al. (2004) testando a compatibilidade de seis espécies de eucalipto obtiveram seus resultados entre 17,97% até 41,64%. Valor com maior proximidade foi obtido por Almeida et al. (2002) que, ao trabalhar com fibras de babaçu (*Orbignya* sp.), encontraram 3,1% de inibição da reação de hidratação do cimento, classificando-a como “baixa inibição”.

Na Tabela 7 é possível encontrar os valores de temperatura máxima (°C), tempo para atingir essa temperatura (h), o incremento máximo de temperatura (°C/h) e o valor do índice de inibição para as fibras que receberam o tratamento em água fria.

Tabela 7. Valores de temperatura máxima (°C), tempo para atingir a máxima temperatura (h), o incremento máximo de temperatura (°C/h) dos tratamentos testemunha e da mistura cimento água e fibra tratada com água fria, e o índice de inibição.

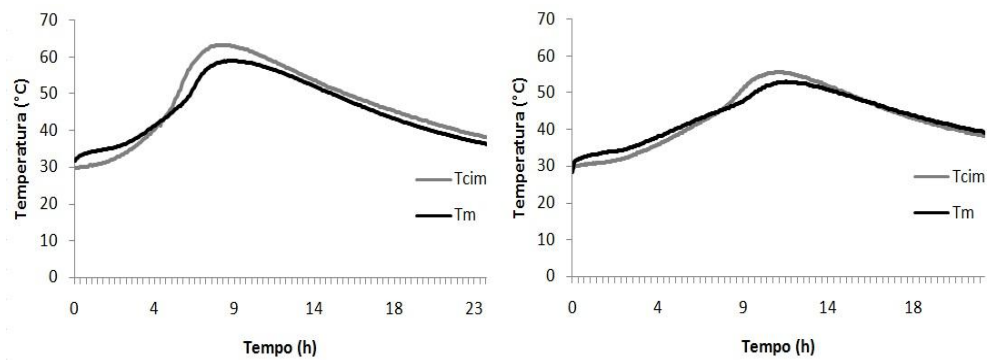
Tratamento	Temperatura Máxima (°C)	Tempo para atingir a temperatura máxima (h)	Incremento Máximo (°C/h)	I (%)
Cimento	55,5	11,07	5,34	-
Cimento, água e fibra	52,3	11,73	2,83	0,160

É possível constatar, pelos valores apresentados, que o tratamento adicional em água fria, no intuito de modificar ou remover constituintes da fibra, não promoveu diferença na classificação, tendo em vista que os valores obtidos para a fibra *in natura* representam a quase inexistência de compostos responsáveis por inibir a reação hidratação do cimento. Além disso, essa fibra possui elevada resistência à água, propriedade que lhe é atribuída pelo seu alto teor de lignina (D'ALMEIDA et al., 2006). O tratamento em água fria não acrescentou benefício algum ao processo.

A inibição promovida pelas fibras vegetais, sobre a reação de hidratação do cimento, é influenciada pelos tipos e teores de extrativos presentes na fibra (SIMATUPANG et al., 1978; MOSLEMI, 1998; LATORRACA e IWAKIRI, 2000; SAVASTANO JÚNIOR, 2000; JORGE et al., 2004; OKINO et al., 2004; FRYBORT et al., 2008; NAZERIAN, 2011). Os efeitos sobre a reação são a redução da temperatura máxima e o aumento do tempo para ser atingida essa temperatura (Figura 11). Odler (1998) esclarece que a cinética da reação de hidratação do cimento é afetada pela presença de substâncias químicas mesmo quando presentes em pequenas quantidades, com isso são responsáveis por modificar a taxa de hidratação e as propriedades do cimento.

Para explicar esse fato Aggarwal et al. (2008) sugeriram dois mecanismos, o primeiro está relacionado com a reação entre os extrativos e os íons presentes na solução do cimento,

promovendo uma redução na concentração de Ca^{2+} e causando distúrbio no equilíbrio da reação. O segundo fator está relacionado a cobertura exercida pelos extrativos sobre as partículas do cimento, ocasionando redução da taxa de hidratação. No entanto, esse processo não é totalmente esclarecido.



Nota: Tcim corresponde ao tratamento composto apenas de cimento e água. Tm corresponde ao tratamento composto por cimento, água e adição de fibras vegetais, sendo composto pela média simples das três repetições. O gráfico da esquerda diz respeito ao ensaio utilizando fibras *in natura*, já o gráfico da direita corresponde ao ensaio utilizando fibras tratadas em água fria.

Figura 10. Evolução da temperatura (°C) ao longo do tempo (h).

Wei (2000a) esclarece que o índice de inibição, apesar de não se tratar de uma característica conclusiva para se prever as propriedades físicas e mecânicas dos painéis de cimento madeira, tendo em vista a alta variabilidade das espécies vegetais, pode demonstrar estimativas gerais da resistência dos painéis. Esse fato foi verificado pela autora mediante estudo com 38 espécies, em que aquelas cujo índice foi menor resultaram em painéis com propriedades superiores aos que apresentaram alta inibição. Teixeira et al. (2001) estabelecem que a importância do teste de hidratação é auxiliar na previsão de como será a cura do cimento, indicando a possível qualidade dos painéis produzidos. Já Nazeriam et al. (2011) atribuem ao teste razoável grau de precisão.

Visto isso, os resultados apresentados sugerem que o uso da piaçava para confecção de painéis de cimento madeira mostra-se promissor, sendo perceptível a menor influência dessa fibra sobre o cimento.

5.2. Densidade dos painéis reforçados com fibra de piaçava e propriedades físicas e mecânicas.

Inicialmente foi verificada a existência de *outlier* nos dados, pois sua presença causa distorção do valor da média afetando as análises (ANSCOMBE, 1973). Mesmo com os dados apresentando grande variação, apenas dois foram encontrados para os ensaios de ABS e IE, e que, mediante esse fato, foram excluídos.

Quanto às densidades dos painéis, essas variaram de 0,98 g/cm³ a 1,07 g/cm³, conforme tabela abaixo (Tabela 8). Valores similares foram obtidos por Ferraz (2011), quando analisou a produção de compósitos de cimento fibra de coco com diferentes tratamentos e proporções de cimento fibra. Entretanto, esses valores estão abaixo do especificado pelo processo Bison para fabricação de painéis estruturais de cimento madeira (BISON, 1978). Esse valor abaixo do especificado pode ser decorrência da evaporação da água. O cálculo dos constituintes para a confecção de painéis na densidade desejada é realizado incluindo a massa de água, sem considerar sua perda por evaporação durante o período de cura dos painéis.

Tabela 8. Variação de densidade dos painéis cimento/fibra de piaçava

Tratamento	Densidade (g/cm ³)
Água Fria	0,98 ^a
Cloreto de Cálcio (CaCl ₂)	1,03 ^{ab}
Sem tratamento	1,07 ^b
Bison Tipo Hz ^c	1,20

Nota: Letras diferentes significam diferença estatística pelo teste de Tukey ao nível de $\alpha=0,05$.

^cBison (1978) – Chapa de cimento-madeira estrutural tipo Hz

A densidade é responsável por influenciar as propriedades dos painéis, tanto físicas quanto mecânicas, fato verificado por Almeida et al. (2002), no qual todas as propriedades avaliadas pelo autores foram influenciadas significativamente ao nível de $\alpha=0,01$, exceto IE que foi significativo ao nível de $\alpha=0,05$. A explicação para tal fato está relacionada ao maior contato entre as partículas, promovendo maior ligação interna e maior difusão da tensão aplicada sobre o painel (FUWAPE e OYAGADE, 1993). Ainda nesse sentido, Bejó et al. (2005) encontraram correlação direta entre a densidade e as propriedades mecânicas, o que foi atribuído à redução dos espaços vazios promovendo melhor conexão da fibra com a matriz.

Nesse estudo, essa influência foi verificada mediante boa correlação existente entre as propriedades mecânicas e a densidade, indo ao encontro do estabelecido por Bejó et al. (2005), como pode ser verificado na Tabela 9.

Tabela 9. Correlação de Pearson (r) entre as propriedades mecânicas e a densidade dos painéis.

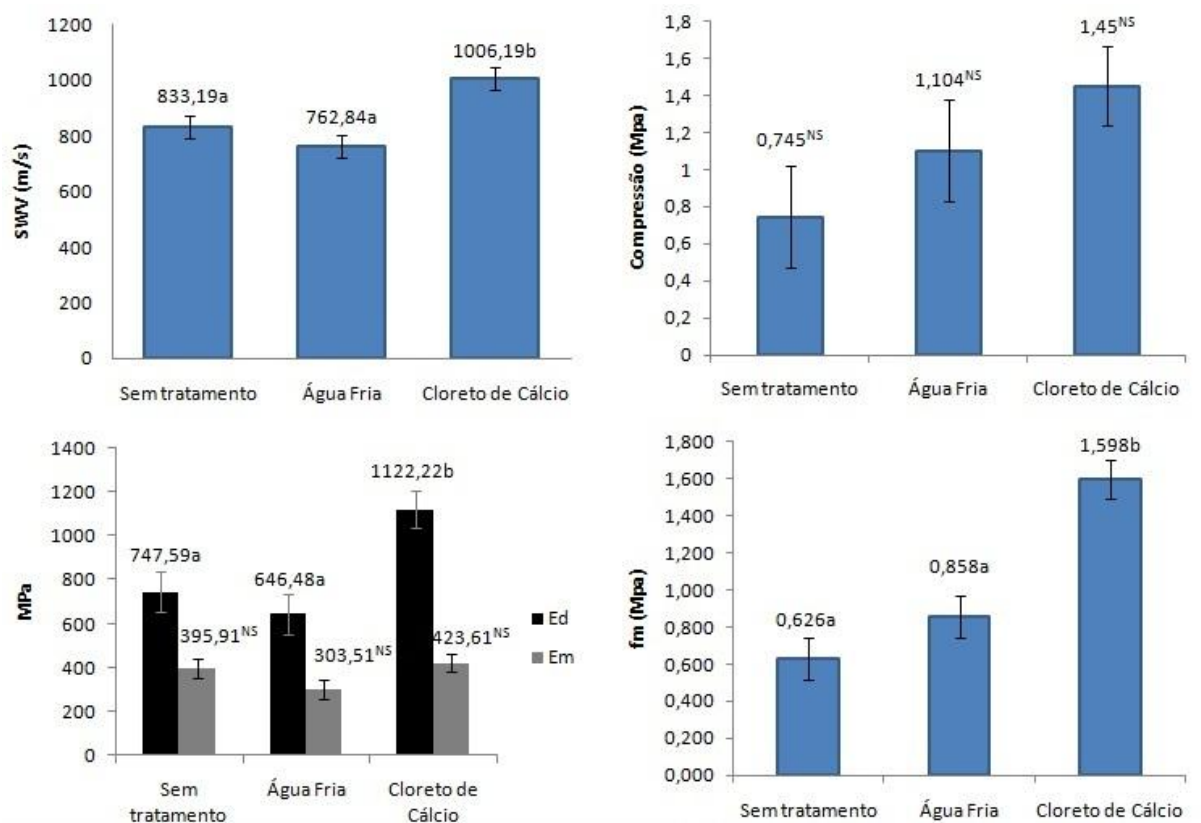
	SWV	Ed	fm	E _M	COMP
Densidade	0,538**	0,540**	0,652**	0,680**	0,741**

Nota: **a correlação é significativa ao nível de $\alpha=0,01$.

Mediante esse fato e a diferença estatística significativa entre as densidades dos tratamentos, obtida pela análise de variância, foi necessário estimar um valor médio de densidade, que para o estudo em questão foi de 1,03 g/cm³. Esse valor foi utilizado para estimar as propriedades de fm, E_M, Ed, COMP e SWV dos painéis. Com relação aos ensaios de IE e ABS, devido à diferença do número de corpos de prova, o valor médio estimado foi de 0,99 g/cm³.

A Figura 12 apresenta o efeito dos tratamentos sobre as propriedades de SWV, Ed, fm, E_M e COMP, significativo ao nível de $\alpha=0,05$. Os dados sugerem melhora nas propriedades de SWV, Ed e fm após adição de CaCl₂. Quanto ao E_M e a COMP não houve influência significativa dos tratamentos. Era esperado que todas as propriedades mecânicas sofressem influência do tratamento, pois o CaCl₂ ao acelerar a reação de hidratação do cimento, em contrapartida a inibição exercida pelos extrativos, aumenta a temperatura e reduz o tempo da reação, possibilitando a confecção de painéis com melhores propriedades (FRYBORT et al., 2007; NAZERIAM, et al., 2011).

Essa tendência ao aumento do fm com a adição de CaCl₂ foi encontrada em outros estudos (ALMEIDA et al., 2002; OLORUNNISOLA, 2007). O valor obtido para painéis confeccionados com fibra de babaçu foi muito superior ao estabelecido nesse estudo, o que demonstra superioridade desses painéis em relação aos produzidos com fibra de piaçava (ALMEIDA et al., 2002).



Nota: as propriedades mecânicas foram estimadas com base na densidade de 1,03 g/cm³. Letras distintas significam diferença estatística significativa, segundo teste de Tukey ao nível de $\alpha=0,05$. O desvio padrão é representado pelas barras. ^{NS} indica que não houve diferença estatística significativa ao nível de $\alpha=0,05$.

Figura 11. Efeito dos tratamentos sobre as propriedades mecânicas dos painéis

Ferraz et al. (2011) obtiveram valores entre 1,84 MPa e 2,60 MPa (tratamento com CaCl₂ e água quente, respectivamente). O valor do fm determinado por esses autores para o tratamento com CaCl₂ foi próximo ao obtido nesse estudo. No entanto, aplicando-se outros tratamentos essa propriedade foi bem superior, fato atribuído a eficiência na remoção dos extrativos pelo tratamento das fibras. D’Almeida et al. (2006) encontraram valores semelhantes entre o fm das fibras de piaçava e das fibras de coco, o que pode justificar a coerência dos resultados. Apesar disso, esse valor está bem aquém do exigido pelo processo Bison (9,0 MPa).

Esse fato pode estar relacionado à baixa razão de esbeltez das fibras, ocasionado pelo curto comprimento que essas foram trituradas. Isso pode ter ocasionado a eliminação de boa parte das propriedades de resistência dessa fibra, pois partículas mais longas elevam a resistência à flexão dos compósitos (MOSLEMI, 1974). A razão de esbeltez deve estar em torno de 120 e 200 (Iwakiri, 1989).

Ao valor do fm pode ser atribuído, também, a formação de novelos. Conforme relatado por Ferraz et al. (2011) essas estruturas são responsáveis por reduzir consideravelmente as propriedades dos painéis, fato que ocorre devido a não hidratação de uma parte do cimento e pelo aumento da porosidade, resultando na redução da área de contato entre a matriz e as fibras (OLORUNNISOLA, 2009).

Quanto ao E_M (Figura 12), os tratamentos não apresentaram influência significativa ao nível de $\alpha=0,05$. Essa propriedade apresentou valores inferiores aos obtidos em diversos outros estudos (TEIXEIRA et al., 2001; ALMEIDA et al., 2002; PAPADOPOULOS, 2008; FERRAZ et al., 2011), e não atingiu nem 15% do valor estipulado pelo processo Bison, que é 3.000 MPa. Fato que pode estar relacionado a fraca adesão fibra-fibra e fibra-matriz (AGGARWAL et al., 2008), a baixa razão de esbeltez das fibras utilizadas, resultando em um contato ineficiente entre as partículas e a matriz (BEJÓ et al., 2005) e a formação de novelos na massa (FERRAZ et al., 2011).

Com relação à COMP (Figura 12), essa não sofreu influência significativa, ao nível de $\alpha=0,05$, dos tratamentos realizados. Era de se esperar que painéis com maior agregação interna possuísem maior resistência mecânica, devido ao maior contato entre os constituintes e a redução dos *gaps* (BEJÓ et al., 2005), fato não verificado nesse estudo. Entretanto, os valores observados entre o tratamento com CaCl_2 e as fibras sem tratamento é quase o dobro, demonstrando que apesar de não haver diferença estatística significativa, a tendência é que o tratamento conduza a um valor superior. Ao utilizar testes de média menos restritivos como o Duncan's, o resultado estabelecido foi dentro do esperado e os tratamentos foram significativamente diferentes, ao nível de $\alpha=0,05$, o mesmo ocorreu ao elevar o nível de significância do teste de Tukey ($\alpha=0,08$).

As variáveis SWV e Ed sofreram influência significativa do tratamento realizado nas fibras, ao nível de $\alpha=0,05$ (Figura 12), fato relacionado à boa correlação dessas propriedades com a densidade do compósito. O aumento da densidade reduz os espaços vazios e melhora a interconexão fibra-matriz (BEJÓ et al., 2005), possibilitando maior velocidade de deslocamento da onda de tensão.

Tabela 10. Correlação de Pearson (r) entre a velocidade da onda de tensão no stress wave e o com o módulo de elasticidade dinâmico e o módulo de ruptura.

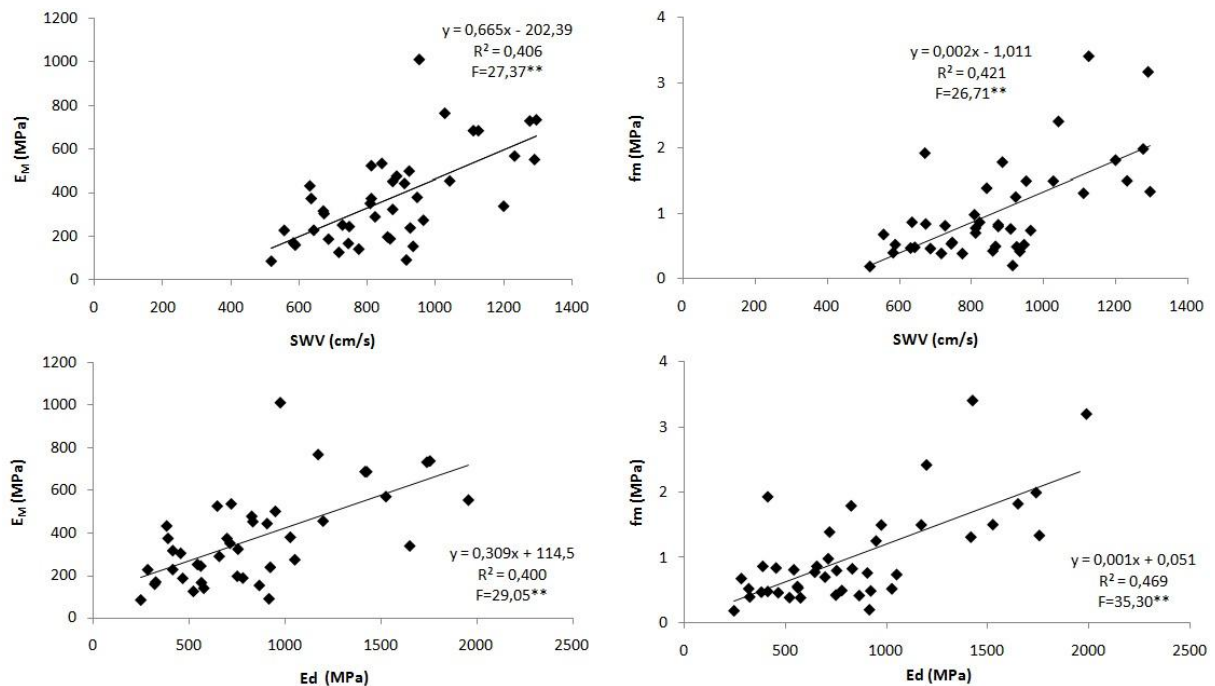
	fm
SWV	0,649**
Ed	0,685**

Nota: **a correlação é significativa ao nível de $\alpha=0,01$.

A correlação entre a SWV e o Ed com o fm possibilita depreender a boa relação existente entre essas propriedades. No entanto a relação linear do Ed com o fm é apenas 5,25% maior, valor que não justifica o maior volume de trabalho com a determinação do valor da densidade do compósito, que além de dispendioso é inviável para uma série de estruturas.

Esses valores demonstram a importância de ensaios não destrutivos para avaliar as propriedades de resistência de compósitos de cimento madeira, de encontro ao estabelecido por Del Menezzi et al. (2010) que, ao estimar as propriedades de flexão de espécies de madeiras amazônicas por meio dessa técnica, não encontraram relação linear direta entre a velocidade de propagação da onda de tensão e a densidade, fato atribuído aos caracteres anatômicos macroscópicos e microestrutura da madeira. A partir do estabelecido, a tendência de compósitos que possuem uma estrutura com maior integração entre seus constituintes (fibra-matriz e fibra-fibra) é apresentar maior SWV e conseqüentemente maior fm.

Na Figura 13 é possível verificar os modelos de regressão linear das propriedades de flexão para os compósitos de cimento e fibra de piaçava. As equações propostas possibilitam estimar os valores de fm e E_M por meio de um ensaio não destrutivo do material. O E_M teve 40,6% de sua variação explicada pela variação da SWV, enquanto o fm teve 42,1%. Com relação ao Ed o E_M teve 40% de sua variação explicada por essa propriedade, enquanto o fm teve 46,9%. Apesar dos dados de R^2 não serem altos, pode-se considerar os dados significativos, pois a intenção desse tipo de estudo é verificar a tendência. E o que se pode observar é que, para esse tipo de compósito, há uma tendência de quanto maior a velocidade de propagação da onda de tensão do *stress wave*, maiores serão suas propriedades de flexão.

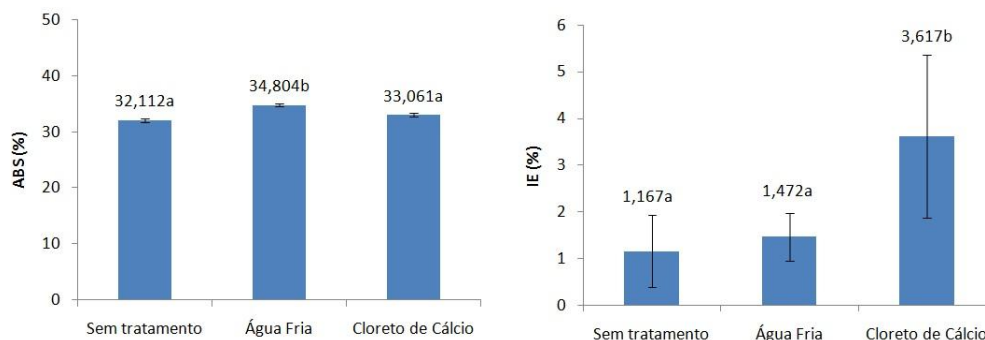


Nota: **estatisticamente significativo ao nível de $\alpha=0,01$.

Figura 12. Modelos de regressão linear para a estimativa das propriedades de flexão

Os valores médios das propriedades físicas e seus respectivos desvios padrão, sob os diferentes tratamentos podem ser visualizados na Figura 14. É possível notar que não houve diferença estatística significativa, ao nível de $\alpha=0,05$, das fibras sem tratamento e das tratadas com aditivo sobre a ABS, enquanto o tratamento em água fria resultou em painéis com um leve aumento na quantidade de água absorvida. Quanto aos resultados do teste de IE os dados revelam que o tratamento adicional com CaCl_2 foi responsável por elevar a instabilidade dimensional do painel.

A absorção de água pelos painéis foi contrária ao que se esperava. Mediante aplicação do aditivo a tendência seria obtenção de um painel com menos espaços vazios e, conseqüentemente, com menor absorção. Almeida et al. (2002) constataram que os painéis com menor ABS e IE foram aqueles cuja densidade foi maior, logo com uma estrutura interna mais agregada. Ainda assim, essa propriedade está dentro da margem encontrada para outras fibras lignocelulósicas, como as de coco (FERRAZ et al. 2011) e babaçu (ALMEIDA et al. 2002), porém bem superior aos painéis produzidos com *Cupressus* spp. (OKINO et al., 2005) e *Gmelina arborea* (AMIANDAMHEN e IZEKOR, 2013).



Nota: a ABS foi estimada com base na densidade de 0,977 g/cm³. Letras distintas significam diferença estatística, segundo teste de Tukey ao nível de $\alpha=0,05$.

Figura 13. Efeito dos tratamentos sobre as propriedades físicas, ABS e IE, dos painéis

Por meio da correlação de Pearson, significativa ao nível de $\alpha=0,01$, constatou-se alta e negativa correlação entre a ABS e a densidade ($r= -0,927$), demonstrando a importância dessa propriedade sobre o comportamento físico dos painéis. Quanto ao alto valor encontrado nesse estudo, a explicação pode estar amparada no tamanho das fibras utilizadas, Amiandamhen e Izekor (2013) testaram duas granulometrias (*flakes* e *sawdust*) e verificaram que a menor (*sawdust*) era responsável por um aumento de 25% na ABS.

Com relação ao IE esses painéis tiveram uma variação entre 1,16% e 3,61%, sendo que o tratamento com CaCl₂ resultou nos painéis com menor estabilidade dimensional. Esse resultado está de acordo com o estabelecido por Almeida et al. (2002), esse autores obtiveram a mesma tendência de aumento do IE com a inclusão do aditivo no processo de manufatura dos painéis, o que foi atribuído a sua possível afinidade com a água. Nazeriam et al. (2011) testaram diferentes percentagens de dois aditivos minerais, entre eles o CaCl₂, e constataram que valores superiores ou inferiores a 5% desse aditivo eram responsáveis por elevar o percentual de IE. No entanto, esse mesmo comportamento não foi verificado por Amiandamhen e Izekor (2013), em que os painéis produzidos com adição de CaCl₂ apresentaram maior estabilidade dimensional.

Valores semelhantes quanto ao IE foram obtidos por Ferraz et al. (2011), além disso, as fibras não tratadas e as tratadas com água fria foram responsáveis por produzir painéis dentro do limite máximo de IE, estabelecido pelo processo Bison (1,2-1,8%).

As propriedades físicas são de suma importância para painéis que tenham fins estruturais, pois além de conferir maior instabilidade dimensional, o maior teor de água absorvida facilita o intemperismo do material (TEIXEIRA et al., 2001).

Os resultados das propriedades físicas e mecânicas obtidas nesse trabalho confirmam que o teste de inibição não pode ser conclusivo para prever as propriedades dos painéis, visto que, a fibra utilizada apresentou baixa inibição, no entanto, os painéis obtiveram modestos valores de propriedades físicas e mecânicas. Esse fato indica a existência de outros fatores responsáveis por refletir a resistência do compósito como a baixa aderência das fibras ao cimento, fatores inerentes ao processo de confecção dos painéis, o reduzido tamanho das fibras utilizadas, a formação de novelos na massa do cimento ou até procedimentos ineficientes na confecção e cura dos painéis,

6. CONCLUSÃO

A fibra de piaçava apresenta boa compatibilidade com o cimento, exercendo influência quase nula sobre a reação de hidratação, a partir disso, o tratamento adicional em água fria não é recomendado, pois não conduz a um melhor resultado.

A adição do CaCl_2 na manufatura dos painéis foi responsável por promover melhora no módulo de ruptura, no entanto não houve diferença estatística significativa do módulo de elasticidade e da resistência a compressão paralela. Quanto às propriedades físicas não houve diferença entre os painéis produzidos com fibras não tratadas daquelas com a inclusão do aditivo, no que diz respeito à absorção de água; com relação ao inchamento em espessura, o tratamento com CaCl_2 promoveu aumento da instabilidade dimensional.

Os modestos valores obtidos nas propriedades físicas e mecânicas demonstraram que o índice de inibição não pode ser conclusivo para determinar as propriedades dos painéis. Visto isso, são necessários maiores e mais estudos envolvendo a piaçava e o cimento, como verificação dos teores de extrativos na fibra, confecção de painéis utilizando uma fibra com maior comprimento, classificar o material para utilizar uma granulometria homogênea e testar outras proporções de cimento e fibra.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGGARWAL, L. K.; AGRAWAL, S. P.; THAPLIYAL, P. C.; KARADE, S. R. Cement-bonded composite boards with arhar stalks. **Cement and Concrete Composites**, v. 30, n. 1, p. 44-51, 2008.

ALMEIDA, R. R.; DEL MENEZZI, C. H. S.; TEIXEIRA, D. E. Utilization of the coconut shell of babaçu (*Orbignya* sp.) to produce cement-bonded particleboard. **Bioresource Technology**, v. 85, n. 2, p. 159-163, 2002.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle panel materials**. Designation: D 1037-99, Pennsylvania, 1999.

AMIANDAMHEN, S. O.; IZEKOR, D. N. Effect of wood particle geometry and pre-treatments on the strength and sorption properties of cement-bonded particle boards. **Journal of Applied and Natural Science**, v. 5, n. 2, p. 318-322, 2013.

ANSCOMBE, F. J. Graphs in statistical analysis. **The American Statistician**, v. 27, n. 1, p. 17-21, 1973.

AQUINO, R. C. M. P. **Desenvolvimento de compósitos de fibras de piaçava da espécie *Attalea funifera* Mart em matriz de resina poliéster**. 2003. 151 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais), Universidade Estadual do Norte Fluminense, Rio de Janeiro, Campo dos Goytacazes, 2003.

AQUINO, R. C. M. P.; D'ALMEIDA, J. R. M.; MONTEIRO, S. N. Flexural mechanical properties of piassava fibers (*Attalea funifera*) – Resin matrix composites. **Journal of Materials Science Letters**, v. 20, p. 1017-1019, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Guia Básico de Utilização do Cimento Portland**. São Paulo, 2002. 28p.

BARRETO, R. O. Técnicas de manejo e sustentabilidade da palmeira *Attalea funifera* Martius – Piaçava da Bahia: Estudo de caso em Massarandupió, litoral norte – Bahia. **Candobá – Revista Virtual**, v. 5, n. 2, p. 80-97, 2009.

BEJÓ, L.; TAKATS, P.; VASS, N. Development of cement bonded composite beams. **Acta Silvatica e Lignaria Hungarica**, v. 1, p. 111-119, 2005.

BISON Wood–Cement Board, Bison-Report, 10p, 1978.

BLANKENHORN, P. R.; LABOSKY, P.; DICOLA, J. M.; STOVER, L. R. Compressive strength of hardwood-cement composites. **Forest Products Journal**, v. 44, n. 4, p. 59-62, 1994.

BUENO, F.S. **Vocabulário tupi-guarani Português**. 7. ed. Vida livros, 2008, 688p.

- D'ALMEIDA, A. L. F. S.; D'ALMEIDA, J. R. M.; BARRETO, D.W.; CALADO, V. Effect of surface treatments on the thermal behavior and tensile strength of piassava (*Attalea funifera*) fibers. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 120, p. 2508-2515, 2011.
- D'ALMEIDA, J. R. M.; AQUINO, R. C. M. P.; MONTEIRO, S. N. Tensile mechanical characterization of piassava (*Attalea funifera*) fibers. **Composites Part A-applied science and manufacturing**. Oxford, v. 37, n. 9, p. 1473-1479, 2006.
- DEL MENEZZI, C. H. S.; SILVEIRA, R. R.; SOUZA, M. R. Estimativa das propriedades de flexão estática de seis espécies de madeiras amazônicas por meio da técnica não-destrutiva de ondas de tensão. **Acta Amazônica**, v. 40, n. 2, p. 325-332, 2010.
- FARUK, O.; BLEDZKI, A. K.; FINK, H. P.; SAIN, M. Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000-2010. **Progress in Polymer Science**, v. 37, p. 1552-1596, 2012.
- FENGEL, D., WEGENER, G. **Wood, chemistry, ultrastructure, reactions**. New York: Waster&Grugter, 1984. 613p.
- FERRAZ, J. M.; DEL MENEZZI, C. H. S.; TEIXEIRA, D. E.; MARTINS, S. A. Effects of treatment of coir fiber and cement/fiber ratio on properties of cement-bonded composites. **BioResources**, v. 6, n. 3, p. 3481-3492, 2011.
- FERRAZ, J. M.; DEL MENEZZI, C. H.; SOUZA, M. R.; OKINO, E. Y.; MARTINS, S. A. Compatibility of pretreated coir fibres (*Cocos nucifera* L.) with portland cement to produce mineral composites. **International Journal of Polymer Science**, v. 2012, p. 1-7, 2012.
- FERRAZ, J. M. **Produção e propriedades de painéis de fibra de coco verde (*Cocos nucifera* L.) em mistura com cimento portland**. 2011. 89 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade de Brasília, Distrito Federal, Brasília, 2011.
- FORNARI, C. I.; FORNARI-JÚNIOR, C. C. M. Avaliação da força de cisalhamento de fibras longas de piaçava em poliéster insaturado. **Estudos Tecnológicos em Engenharia**, v. 9, n. 1, p-27-36, 2013.
- FRYBORT, S.; MAURITZ, R.; TEISCHINGER, A.; MÜLLER, U. Cement bonded composites – A mechanical review. **BioResources**, v. 3, n. 2, p. 602-626, 2008.
- FUWAPE, J. A.; OYAGADE, A. O. Bending strength and dimensional stability of tropical wood-cement particleboard. **Bioresource technology**, v. 44, n. 1, p. 77-79, 1993.
- GONÇALVES, A. R.; SCHUCHARDT, U.; BIANCHI, M. L.; CURVELO, A. A. S. Piassava fibers (*Attalea funifera*): NMR spectroscopy of their lignin. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 11, n. 5, p. 491-494, 2000.
- HOSFSTRAND, A.D.; MOSLEMI, A.A.; GARCIA, J.F. Curing characteristics of wood particles from nine northern Rocky Mountain species mixed with portland cement. **Forest Products Journal** , v. 34, n. 2, p. 57-61, 1984.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) - Disponível em Produção da Extração Vegetal e Silvicultura <www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pevs/2012> Acesso em: 27 de maio, 2014.

IWAKIRI, S. **A influência de variáveis de processamento sobre propriedades de chapas de partículas de diferentes espécies de *Pinus***. 146 f. Tese (Doutorado em Ciências), Universidade Federal do Paraná, Paraná, Curitiba, 1989.

IWAKIRI, S.; SILVA, L. S.; TRIANOSKI, R.; BONDUELLE, G. M.; DA ROCHA, V. Y. Avaliação do potencial de utilização da madeira de *Shizolobium amazonicum* “Paricá” e *Cecropia hololeuca* “Embaúba” para produção de painéis cimento-madeira. **Revista Cerne**, v. 18, n. 2, p. 303-308, 2012.

JORGE, F. C.; PEREIRA, C.; FERREIRA, J. M. F. Wood-cement composites: a review. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 62, p. 370-377, 2004

KALIA, S.; KAITH, B. S.; KAUR, I. Pretreatments of natural fibers and their application as reinforcing material in polymer composites – A review. **Polymer Engineering and Science**, p. 1253-1272, 2009.

KHEDARI, J.; SUTTISONK, B.; PRATINTHONG, N.; HIRUNLABH, J. New lightweight composite construction materials with low thermal conductivity. **Cement & Concrete Composites**, v. 23, p. 65-70, 2001.

LATORRACA, J. V. F. ***Eucalytus spp.* na Produção de Painéis de Cimento-Madeira**. 2000. 208 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Paraná, Paraná, Curitiba, 2000.

LATORRACA, J. V. F.; IWAKIRI, S.; LELIS, R. C. C. Efeito inibidor de cinco espécies florestais sobre a cura do compósito cimento-madeira. **Revista Floresta e Ambiente**, v. 6, n. 1, p. 75-82, 1999.

LATORRACA, J. V. F.; IWAKIRI, S. Efeitos do tratamento das partículas de *Eucalyptus dunnii* (maid), da variação da relação madeira-cimento e do uso de aditivos sobre as propriedades físicas e mecânicas de chapas de madeira-cimento. **Revista Cerne**, v. 6, n. 1, p. 68-76, 2000.

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

MALLICK, P. K. **Fiber-reinforced composites: materials, manufacturing and design**, Third Edition. Florida, Estados Unidos da América: CRC Press Taylor & Francis Group, 2007, 616 p.

MARINELLI, A. L.; MONTEIRO, M. R.; AMBRÓSIO, J. D.; BRANCIFORTI, M. C.; KOBAYASHI, M. NOBRE, A. Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras vegetais naturais da biodiversidade: uma contribuição para a sustentabilidade amazônica. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 18, n° 2, p. 92-99, 2008.

MIRANDA DE LIMA, A. J.; IWAKIRI, S. LOMELÍ-RAMÍREZ, M. G. Utilização de resíduos de *Pinus spp.*, metacaulim de alta reatividade e resíduo de cerâmica calcinada em compósitos cimento-madeira." **Madera Y Bosques**, v. 17, n. 2, p. 47-65, 2011.

MONTEIRO, S. N.; SATYANARAYANA, K. G.; MARGEM, F. M.; FERREIRA, A. S.; NASCIMENTO, D. C. O.; SANTAFÉ-JÚNIOR, H. P. G.; LOPES, F. P. D. Interfacial shear strength in lignocellulosic fibers incorporated polymeric composites. In: Kalia, S.; Kaith, B.S.; Kaur, I. (eds.). **Cellulose Fibers: Bio- and Nano-Polymer Composites: Green Chemistry and technology**. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2011.

MONTEIRO, S. N.; LOPES, F. P. D.; FERREIRA, A. S.; NASCIMENTO, D. C. O. Natural-Fiber Polymer-Matrix Composites: Cheaper, Tougher and Environmentally Friendly. **Journal of the Minerals, Metals and Materials Society**, v. 61, n. 1, p. 17-22, 2009.

MORI, F. A.; LOPES, Y. L. V.; MENDES, L. M.; LATORRACA, J. V. F. Estudo da Compatibilidade entre a Madeira e as Cascas de *Eucalyptus grandis* e o Cimento Portland. **Ciência Florestal**, v. 17, n. 3, p. 257-264, 2007.

MOSLEMI, A. A. Emerging technologies in mineralbonded wood and fiber composites. In: **Seminário Internacional sobre Produtos Sólidos de Madeira de Alta Tecnologia**, 1, 1998, Belo Horizonte. Anais. Belo Horizonte: UFV/SIF, 1998. p. 44-56.

MOSLEMI, A. A. **Particleboard**. London: Southern Illinois University, 1974. 245 p.

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

MOSLEMI, A. A.; LIM, Y. T. Compatibility of southern hardwoods with Portland cement. **Forest Products Journal**, v. 34, n. 718, p. 22-26, 1984.

NAZERIAN, M.; GOZALI, E.; GHALEHNO, M. D. The influence of wood extractives and additives on the hydration kinetics of cement paste and cement-bonded particle board. **Journal of Applied Sciences**, v. 11, p. 2186-2192, 2011.

ODLER, I. Hydration, setting and hardening of Portland cement. In: Hewlett, P.C. (ed.), **Lea's chemistry of cement and concrete**, Arnold, London, UK, p. 241-297, 1998.

OKINO, E. Y. A.; SOUZA, M. R. D.; SANTANA, M. A.; ALVES, M. V. D. S.; SOUSA, M. E. D.; TEIXEIRA, D. E. Cement-bonded wood particleboard with a mixture of eucalypt and rubberwood. **Cement and Concrete Composites**, v. 26, n. 6, p. 729-734, 2004.

OKINO, E. Y.; DE SOUZA, M. R.; SANTANA, M. A.; ALVES, M. V. D. S.; DE SOUSA, M. E.; TEIXEIRA, D. E. Physico-mechanical properties and decay resistance of *Cupressus spp.* cement-bonded particleboards. **Cement and Concrete Composites**, v. 27, n. 3, p. 333-338, 2005.

OLORUNNISOLA, A. O. Effects of particle geometry and chemical accelerator on strength properties of rattan-cement composites. **African Journal of Science and Technology (AJST)**, Science and Engineering Series, v. 8, n. 1, p. 22-27, 2007.

OLORUNNISOLA, Abel O. Effects of husk particle size and calcium chloride on strength and sorption properties of coconut husk–cement composites. **Industrial Crops and Products**, v. 29, n. 2, p. 495-501, 2009.

PAPADOPOULOS, A. N. Natural durability and performance of hornbeam cement bonded particle board. **Maderas. Ciencia y Tecnología**, v. 10, n. 2, p. 93-98, 2008.

ROWELL, R. M.; PETTERSEN, R.; HAN, J. S.; ROWELL, J. S.; TSHABALALA, M. A. Cell wall chemistry. In: ROWELL, R. M. (Ed.). **Handbook of wood chemistry and wood composites**. Editora Taylor & Francis Group. New York, 2005.

SILVA, L. A. M. Piaçava – 500 anos de extrativismo. In: SIMÕES, L. L.; LINO, C. F. (Orgs.). **Sustentável Mata Atlântica: A Exploração de seus Recursos Florestais**. 2ª ed. 2003. 216p.

SILVA, L. A. M.; VINHA, S. G. Ocorrência da piaçaveira e vegetação a ela associada no município de Canavieiras, Bahia. Boletim Técnico 132. **Centro de Pesquisas do Cacau – CEPLAC**. Ilhéus – BA. 1985. 13p.

SILVA, R.; HARAGUCHI, S. K.; MUNIZ, E. C.; RUBIRA, A. F. Aplicação de fibras lignocelulósicas na química de polímeros e em compósitos. **Química Nova**, v. 32, n. 3, 2009.

SIMATUPANG, M. H.; GEIMER, R. L. Inorganic binder for wood composites: feasibility and limitations. In **Proceedings of the Wood Adhesive Symposium**, p. 169-176. 1990.

SIMATUPANG, M. H.; SCHWARZ, G. H.; BROKER, F. W. Small scale plants for the manufacture of mineral-bonded wood composites. In: **WORLD FORESTRY CONGRESS**, 8. Indonésia. Proceedings. Indonésia, 1978.

SJÖSTRÖM, E. **Wood Chemistry fundamentals and applications**. 2ª ed. New York. Academic Press. 1981. 223p.

TEIXEIRA, D. E.; ALVES, M. V. S.; COSTA, A. D.; SOUSA, N. G. Características de chapas de cimento-madeira com partículas de seringueira (*Hevea brasiliensis* Müell. Arg.) tratadas com CCA. **Floresta e Ambiente**, v. 8, n. 1, p. 18-26, 2001.

THOMAS, S.; PAUL, S. A.; PORTHAN, L. A.; DEEP, B. Natural fibres: structure, properties and applications. In: Kalia, S.; Kaith, B. S.; Kaur, I. (eds.). **Cellulose Fibers: Bio- and Nano-Polymer Composites: Green Chemistry and technology**. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2011

VINHA S. G.; SILVA L. A. M. **A piaçaveira da Bahia**. Editus, Ilhéus, BA. 48p, 1998.

WEATHERWAX, R. C.; TARKOW, H. Effect of wood on setting of Portland cement. **Forest Products Journal**, v. 12, p. 567-570, 1964.

WEI, Y. M.; ZHOU, Y. G.; TOMITA, B. Hydration behavior of wood cement-based composite I: Evaluation of wood species effects on compatibility and strength with ordinary Portland cement. **Journal of wood science**, v. 46, n. 4, p. 296-302, 2000a.

WEI, Y. M.; ZHOU, Y. G.; TOMITA, B. Study of hydration behavior of wood cement-based composite II: effect of chemical additives on the hydration characteristics and strengths of wood-cement composites. **Journal of Wood Science**, v. 46, p. 444-451, 2000b.

WEI, Y. M.; TOMITA, B.; HIRAMATSU, Y. Study of hydration behaviors of wood-cement mixtures: compatibility of cement mixed with wood fiber strand obtained by the water-vapor explosion process. **Journal of Wood Science**, v. 48, p. 365-373, 2003.

YOUNG, R. A. Utilization of Natural Fibers: Characterization, Modification and Applications. In: LEÃO, A. L.; CARVALHO, F. X.; FROLLINI, E. Lignocellulosic-Plastics Composites (Eds.), Universidade de São Paulo e Universidade Estadual de São Paulo, 1997.