



Universidade Federal do Amapá
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais



DHIMITRIUS NEVES PARAGUASSÚ SMITH DE OLIVEIRA

PAINÉIS DE CIMENTO PORTLAND PRODUZIDOS COM FIBRAS DO MESOCARPO
DO AÇAÍ

MACAPÁ - AP

2019

DHIMITRIUS NEVES PARAGUASSÚ SMITH DE OLIVEIRA

PAINÉIS DE CIMENTO PORTLAND PRODUZIDOS COM FIBRAS DO MESOCARPO
DO AÇAÍ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) da Universidade Federal do Amapá, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Dra. Lina Bufalino

Co-Orientadores: Dr. Tiago Marcolino de Souza e Dr. Nilson dos Santos Ferreira

MACAPÁ - AP

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central da Universidade Federal do Amapá
Elaborada por Cristina Fernandes – CRB2/1569

Oliveira, Dhimitrius Neves Paraguassú Smith de.

Painéis de cimento Portland produzidos com fibra de mesocarpo do açáí. / Dhimitrius Neves Paraguassú Smith de Oliveira ; Orientadora, Lina Bufalino ; Co-orientadores, Tiago Marcolino de Souza ; Nilson dos Santos Ferreira. – Macapá, 2019.

78 f.

Dissertação (Mestrado) – Fundação Universidade Federal do Amapá, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais.

1. Fibras lignocelulósicas. 2. Compósito fibra-cimento. 3. Cimento Portland CP V. 4. Fibras do mesocarpo do açáí. I. Bufalino, Lina, orientadora. II. Souza, Tiago Marcolino de, co-orientador. III. Ferreira, Nilson dos Santos, co-orientador. IV. Fundação Universidade Federal do Amapá. V. Título.

679 O48p

CDD. 22 ed.

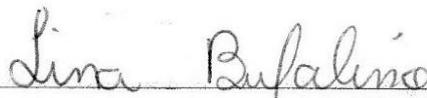
DHIMITRIUS NEVES PARAGUASSÚ SMITH DE OLIVEIRA

PAINÉIS DE CIMENTO PORTLAND PRODUZIDOS COM FIBRAS DO MESOCARPO
DO AÇAÍ

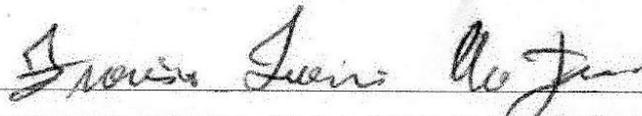
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) da Universidade Federal do Amapá, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Aprovada em 31 de Maio de 2019.

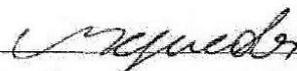
BANCA EXAMINADORA



Lina Bufalino – Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)



Francisco Tarcísio Alves Junior - Universidade do Estado do Amapá (UEAP)



Marcelino Carneiro Guedes – Embrapa Amapá



Ana Cláudia Lira Guedes – Embrapa Amapá

Dedico este trabalho em memória, a minha Avó, Maria de Belém Marques Paraguassú Smith de Oliveira, que me viu entrar nesse programa e infelizmente não está aqui para me ver sair, espero que esteja orgulhosa de mim, minha querida Vó Belém.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, primeiramente, pai misericordioso, que sempre está ao meu lado, que iluminou meu caminho, me protegendo e guiando meus passos e toda minha trajetória;

Ao meu amado pai, José Ricardo Paraguassú Smith de Oliveira, responsável por minha educação e que me incentivou a conquistar todos meus objetivos;

À Cecilia Neves de Oliveira, minha admirável mãe, pela paciência, compreensão, palavras amigas, apoio e grande amor e carinho, que meu deus estrutura para me tornar a pessoa que sou hoje;

Aos professores, Lina Bufalino, Tiago Marcolino de Souza e Nilson dos Santos Ferreira, meus orientadores, pela compreensão e ajuda no desenvolvimento deste trabalho, me dando força, principalmente nos momentos de desânimo;

À minha namorada, Priscila Sehtopyny Apalai Waiana, por estar sempre do meu lado, me apoiando e me dando forças para continuar;

Aos amigos, tão queridos, agradeço pela companhia, carinho e momentos de descontração vividos a cada dia, que me ajudaram a superar os dias difíceis.

RESUMO

OLIVEIRA, D. N. P. S. de. **Painéis de cimento Portland produzidos com fibras do mesocarpo do açaí**. 78 f. Dissertação – Departamento de Meio Ambiente e Desenvolvimento, Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2019.

Na Amazônia, o resíduo do açaí é uma biomassa abundante que apresenta fibras superficiais, cujo potencial para a produção de painéis aglomerados de cimento pode ser estudado. Em caso de incompatibilidade química com o cimento, as fibras podem ter sua estrutura química modificada para melhorar a qualidade do produto. O trabalho procura investigar a compatibilidade entre cimento Portland e fibras do mesocarpo da semente do açaí nas condições *in natura* e submetidas a pré-tratamentos físicos e químicos para aplicação como reforço em painéis aglomerados de cimento do tipo CBPB's. Foram realizados tratamentos térmicos em mufla de 180°C, 200°C e 220°C, com água quente (90°C), água fria (21°C), tratamento alcalino duas vezes, tratamento alcalino duas vezes e branqueamento uma e duas vezes. A caracterização das fibras foi realizada utilizando-se de difração de raios-X, microscopia eletrônica de varredura (MEV) para análise de morfologia e medição de pH em água deionizada. A análise da compatibilidade entre cimento e fibras foi realizada por calorimetria, difração de raios X e ensaios mecânicos. Painéis produzidos com as fibras *in natura* foram caracterizados por absorção de água (AA) e inchamento em espessura (IE), após 2 e 24 horas de imersão em água, densidade aparente (DA) e módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) em flexão estática. Com exceção dos tratamentos em água fria e térmicos, demais tratamentos aumentaram o índice de cristalinidade das fibras *in natura* de 27,93% para até 57,42% (fibras branqueadas). As fibras *in natura* são cilíndricas, com aproximadamente 210,4µm de diâmetro e canais de pontoações nas superfícies, sendo o diâmetro alterado pelos tratamentos químicos. O desaparecimento do pico das hemiceluloses foi verificado apenas para tratamentos químicos. As pastas de cimento com fibras apresentaram temperatura de reação inferior em relação à pasta de cimento sem adição de fibras, mas foi verificada baixa taxa de inibição das fibras do açaí para todas as condições, inclusive *in natura*. Os difratogramas das pastas demonstram que a fibra *in natura* ocasiona atraso na formação da fase portlandita, entretanto esse tratamento apresenta maior pico referente à formação dessa fase após 28 dias. Nos ensaios de compressão dos cilindros, as fibras *in natura* resultaram em resistência média superior em relação às fibras tratadas. Concluiu-se que a morfologia e química das fibras de açaí podem ser modificadas de forma vantajosa pelos tratamentos químicos e físicos propostos. Entretanto, estes não resultam em melhor compatibilidade química com o cimento, de forma que a fibra pode ser aplicada na condição *in natura* para a produção dos painéis. A fibra do mesocarpo do açaí tem grande potencial para produção de painéis CBPB considerando sua baixa inibição sobre a cura do cimento, mas as variáveis do processo de produção propostas neste trabalho devem ser ajustadas para que os painéis atinjam, além das físicas, propriedades mecânicas similares à painéis CBPB comerciais.

Palavras-chave: Fibras lignocelulósicas, Compósito fibra-cimento, Cimento Portland CP V, Fibras do mesocarpo do açaí.

ABSTRACT

OLIVEIRA, D. N. P. DE. Portland cement panels produced with acai mesocarp fibers. 78 p. Master Thesis – Department of Environment and Development, Federal University of Amapá, Macapá, 2019.

In the Amazon, the açai residue is an abundant biomass that presents superficial fibers, whose potential for the production of agglomerated cement panels can be studied. In case of chemical incompatibility with the cement, the fibers may have their chemical structure modified to improve the quality of the product. This work investigates the compatibility between Portland cement and açai seed mesocarp fibers under *in natura* conditions and submitted to physical and chemical pre-treatments for application as reinforcement in CBPB-type agglomerated cement panels. Treatments were performed in a muffle of 180 ° C, 200 ° C and 220 ° C, with hot water (90 ° C), cold water (21 ° C), alkaline treatment twice, alkaline treatment twice and bleaching one and two times. The fiber characterization was performed using X-ray diffraction, scanning electron microscopy (SEM) for analysis of morphology and pH measurement in deionized water. The analysis of the compatibility between cement and fibers was performed by calorimetry, X-ray diffraction and mechanical tests. Panels produced with *in natura* fibers were characterized by water absorption (AA) and swelling in thickness (IE) after 2 and 24 hours of immersion in water, apparent density (DA) and modulus of elasticity (MOE) and modulus of rupture (MOR) in static bending. With the exception of cold and thermal water treatments, other treatments increased the crystallinity index of the *in natura* fibers from 27.93% to up to 57.42% (bleached fibers). *In natura* fibers are cylindrical, with approximately 210.4µm of diameter and channels of points in the surfaces, being the diameter altered by the chemical treatments. The disappearance of the hemicelluloses peak was verified only for chemical treatments. The fiber cement pastes had a lower reaction temperature than cement paste without fiber addition, but a low inhibition rate of açai fibers was observed for all conditions, including *in natura*. The diffractograms of the pulps show that the *in natura* fiber causes delay in the formation of the portlandite phase, however this treatment presents a higher peak referring to the formation of this phase after 28 days. In the compression tests of the cylinders, *in natura* fibers resulted in superior average resistance with respect to the treated fibers. It was concluded that the morphology and chemistry of açai fibers could be advantageously modified by the proposed chemical and physical treatments. However, these do not result in better chemical compatibility with the cement, so that the fiber can be applied in the *in natura* condition for the production of the panels. The açai mesocarp fiber has great potential for the production of CBPB panels considering its low inhibition on cement cure, but the variables of the production process proposed in this work should be adjusted so that the panels reach, in addition to the physical, similar mechanical properties commercial CBPB panels.

Keywords: Lignocellulosic fibers, Fiber-cement composite, Portland cement CP V, Açai Mesocarp Fibers.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1 Cimento Portland	13
2.2 Fibras vegetais	14
2.3 Qualidade de fibras vegetais para a produção de compósitos	19
2.4 O Açaizeiro.....	19
2.5 Fibras do mesocarpo do açaí.....	20
2.6 Pré tratamentos de fibras lignocelulósicas para aplicação como reforço em biomateriais	21
2.6.1 Pré tratamentos físicos de materiais lignocelulósicos	21
2.6.2 Pré tratamentos químicos de materiais lignocelulósicos	22
2.7 Compósitos cimentícios reforçados com fibras vegetais	22
2.7.1 Compatibilidade entre cimento e fibras vegetais.....	23
2.8 Painéis aglomerados de cimento	25
3 OBJETIVOS.....	26
3.1 Geral.....	26
3.2 Específicos	26
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	27
4.1 Coleta das fibras do mesocarpo do açaí.....	27
4.2 Massa específica das fibras na condição <i>in natura</i>	27
4.3 Pré tratamento das fibras do açaí.....	28
4.4 Caracterização das fibras <i>in natura</i> e modificadas.....	29
4.5 Análise da compatibilidade entre cimento e fibras do mesocarpo do açaí	30
4.5.1 Calorimetria	30
4.5.2 Difração de raios X.....	31
4.5.3 Ensaio mecânicos	31
4.5.4 Medição de pH das fibras imersas em água	32
4.6 Componentes e produção dos compósitos	32
4.7 Caracterização física e mecânica dos compósitos	32
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
5.1 Massa específica das fibras na condição <i>in natura</i>	34
5.2 Caracterização das fibras <i>in natura</i> e modificadas.....	34
5.3 Compatibilidade entre cimento e fibras.....	43

5.4 Caracterização física e mecânica dos compósitos	63
6 CONCLUSÕES GERAIS	65
7 REFERÊNCIAS.....	66

1 INTRODUÇÃO GERAL

O açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) é uma palmeira tropical nativa da Amazônia. A polpa dos frutos do açaí é um alimento diário para muitas pessoas da região norte do Brasil, onde a comercialização e consumo são realizados imediatamente após o despulpamento (FERREIRA; BRANQUINHO; LEITE, 2014).

Entretanto, o processamento do açaí gera grandes quantidades de um resíduo, que se constitui das sementes envoltas por fibras lignocelulósicas, comumente descartado no ambiente. A deposição de resíduos agrofloretais como este em aterros sanitários e/ou no próprio ambiente é um enorme problema ambiental para a Amazônia (BUFALINO et al., 2018).

Dessa forma, é necessário para Amazônia investigar potenciais aproveitamentos do resíduo do açaí (ROGEZ, 2000; RODRIGUES et al., 2006). Uma alternativa seria a produção de materiais compósitos para aplicação na construção civil, sendo que as fibras vegetais residuais podem ser adicionadas como fase de reforço, gerando agregação de valor a essas matérias-primas. Por meio do uso desses resíduos, pode-se evitar o emprego de materiais derivados de petróleo, além de amenizar o desperdício global e o esgotamento dos recursos fósseis (SILVA, 2003; BRASILEIRO; VIEIRA; BARRETO, 2013; MAHMOOD et al., 2016).

Um compósito é um material estrutural que consiste de dois ou mais componentes unidos a nível microscópico e que não são solúveis um no outro. A fase fibrosa é chamada de reforço e a fase ligante, em que a fase fibrosa está imersa, é chamada de matriz. Geralmente, compósitos apresentam como vantagens a resistência relativamente maior e densidade relativamente menor em comparação aos seus constituintes isolados (KAW, 2005; MATOSKI, 2005).

Os painéis aglomerados de cimento (“Cement Bonded Particle Boards”- CBPBs e “Cement Bonded Fiber Boards” - CBFBs) são compósitos relativamente simples, produzidos com uma mistura de partículas ou fibras provenientes da madeira ou outros materiais lignocelulósicos, cimento, aditivos e água, que são misturados em uma betoneira (misturador) e consolidados por prensagem (LATORRACA, 2000).

Painéis minerais CBPBs apresentam muitas vantagens em relação aos painéis aglomerados encolados com resinas orgânicas, tais como: maior resistência física, mecânica, ao fogo e ao ataque de insetos e fungos. Essas são características promissoras para áreas tropicais, onde há altas temperaturas e pluviosidade. Além disso, CBPBs são prensados a frio e, portanto, são

classificados como materiais de construção que podem ser produzidos com economia de energia (ZHAO et al., 2013).

Um fator limitante para aplicação de fibras vegetais na confecção de compósitos cimentícios é a incompatibilidade química entre a matriz cimentícia e o reforço que pode atrasar ou até mesmo impedir a pega do cimento (MACÊDO; SOUZA; NETO, 2012). As substâncias químicas das fibras vegetais que ocasionam esse efeito são os açúcares, extrativos, hemiceluloses e lignina (FERRAZ et al., 2012).

Pré-tratamentos químicos e físicos de fibras lignocelulósicas podem aumentar a compatibilidade entre reforço e matriz. A modificação alcalina com NaOH e o branqueamento das fibras são comuns (BLEDZKI; GASSAN, 1999; MOHANTY, MISRA, DRZAL, 2005).

Métodos físicos mais comuns incluem alongamento, calandragem e tratamento térmico (FARUK et al., 2012). O tratamento térmico promove maiores valores de resistência à tração em compósitos de borracha natural e sisal, além de fornecer melhor aderência e uma interface mais forte em relação às modificações químicas (JACOB; THOMAS; VARUGHESE, 2006).

Já foi verificado que a fibra do mesocarpo do açaí apresenta boa adesão em matrizes de cimento. Entretanto, os compósitos que demonstraram as melhores propriedades mecânicas foram aqueles com menor teor (0,3%) da fibra *in natura*, uma vez que o aumento dessa variável ocasionou maior absorção de água e porosidade aparente dos produtos (LIMA JÚNIOR, 2007).

Caso a fibra residual do açaí resulte em painéis de cimento que atendam aos requisitos de qualidade mínima para comercialização, é possível evitar gastos com pré-tratamentos químicos e físicos. Do contrário, é possível que as fibras apresentem aptas para aplicação em compósitos apenas após a modificações químicas, físicas e morfológicas por pré-tratamentos químicos ou térmicos.

Ressalta-se que esse trabalho será uma contribuição para a crescente demanda de reciclagem de resíduos não-madeireiros na Amazônia, bem como para a necessidade de ampliar a disponibilidade de materiais estruturais sustentáveis, que apresentem um preço reduzido para atender às demandas sociais e ainda permitam a rápida construção de moradias e outras edificações.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cimento Portland

Cimento Portland é definido com um aglomerante ou aglutinante hidráulico que se apresenta na forma de pó fino, adquirido pela moagem de clínqueres. O clínquer é produzido a partir da transformação térmica em fornos giratórios a elevadas temperaturas, de um material rochoso contendo, normalmente, 80% de carbonato de cálcio (CaCO_3), 15% de dióxido de silício (SiO_2), 3% de óxido de alumínio (Al_2O_3) e, quantidades menores de outros constituintes como o ferro, o enxofre e outros. É formado essencialmente de silicatos hidráulicos de cálcio, com uma pequena proporção de sulfato de cálcio, podendo eventualmente conter adições de algumas substâncias que alteram suas propriedades, melhorando seu desempenho (TAYLOR, 1997; BAUER, 2003; MEHTA; MONTEIRO, 2008; ABCP, 2018). O cimento tem a propriedade de reagir quimicamente com a água transformando-se, a princípio, em uma pasta plástica, de fácil modelagem, que endurece e aumenta sua resistência com o passar do tempo (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

A reação do cimento Portland com água é um processo químico complexo de hidratação dos elementos minerais do clínquer que dão resistência mecânica às argamassas e concretos (GARTNER et al., 2002). Entende-se por hidratação a mistura do cimento anidro, ou uma de suas fases, com água (QUARCIONI, 2008), cuja reação envolve os processos de dissolução/dissociação, difusão, crescimento de cristais, nucleação, complexação e adsorção (BULLARD et al., 2011). A Tabela 1 apresenta algumas das possíveis fases que podem ocorrer no cimento Portland CP.

Tabela 1-Fases hidratadas do cimento Portland CP V.

Fase	Símbolo	Notação química	Principais Picos (2θ)	Referência
Gypsum	G	$\text{CaSO}_4 - 2\text{H}_2\text{O}$	11,7° e 20°	MARCIEL et al. (2018)
Etringita	E	$6\text{CaO} \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$	9°, 16°, 19° e 23°	GARTNER et al. (2002)
Portlandita	P	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	18° e 34°	MARCIEL et al. (2018)

O cimento Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI) tem a peculiaridade de atingir altas resistências já nos primeiros dias após hidratação, portanto é contemplado pela norma NBR 5733 (ABNT, 1991), diferente da NBR 5732 (ABNT, 1991) que analisa o cimento Portland

comum. O desenvolvimento da alta resistência inicial rapidamente se dá pela dosagem diferenciada de calcário e argila na produção do clínquer, bem como pela moagem mais fina do cimento. Este produto é mais recomendado para a preparação de concreto e argamassa e bastante utilizado na fabricação de blocos pré-moldados, em alvenaria e na pavimentação que requerem altas temperaturas e rapidez de secagem (ABCP, 2018).

A qualidade final do produto de cimento depende da eficácia com que ocorre o processo de hidratação. O método do calorímetro, que fornece dados sobre o fluxo instantâneo de calor e energia livre global das reações de hidratação, geralmente é empregado para essa finalidade devido à sua alta confiabilidade (ALBERTO; MOUGEL; ZOULALIAN, 2000; FERRAZ, 2011). Os resultados desse ensaio podem ser utilizados para analisar o tempo de pega, posterior endurecimento dos concretos e também para prever e mensurar o acréscimo de temperatura (MEHTA; MONTEIRO, 2008). Dessa forma, também é possível verificar como a presença de um material lignocelulósico influencia no processo de hidratação do cimento (ALBERTO; MOUGEL; ZOULALIAN, 2000).

2.2 Fibras vegetais

As características das fibras vegetais dependem do local da planta e de que parte da planta é retirado, da planta de origem, condições climáticas, idade das plantas e métodos de extração (KABIR; LAU; CARDONA, 2012). As fibras vegetais são de origem orgânica e podem ser obtidas da maioria das plantas (BARROS, 2006).

Em engenharia de materiais, fibra é qualquer material cuja geometria é caracterizada pela razão comprimento/diâmetro alta. Entretanto, biologicamente a fibra é uma única célula, composta de parede celular (primária e secundária) e lume. Assim, algumas estruturas vegetais comumente chamadas de fibras devido à sua alta razão comprimento/diâmetro, na verdade são feixes formados pela união lateral de várias fibras. Nesses casos, as fibras individuais são mantidas unidas pelas lamelas médias e paredes primárias, que são ricas em pectinas. As pectinas das lamelas médias estão incrustadas de lignina, o que pode dificultar a individualização de fibras que compõe um feixe. A lignina, que fornece rigidez à parede celular, está localizada na lamela média e na parede secundária. Ambas as pectinas e ligninas podem estar mais ou menos fortemente associadas às microfibrilas de celulose. Hemiceluloses são depositadas como o constituinte da parede celular amorfo e sem orientação, que ocupa espaços entre as microfibrilas de celulose nas paredes primária e secundária. Cada microfibrila é formada pela união de várias fibrilas elementares, e são estruturas ultrafinas embutidas na matriz

de hemiceluloses e lignina (BUSCHLE-DILLER; FANTER; LOTH, 1999; WANG et al., 2003; MILOSAVLJEVIC et al., 2004).

As células chamadas fibras são formadas pelas paredes primária, secundária, terciária e os lumens (espaço que resulta da morte do protoplasma da célula). As fibras são unidas umas às outras pela lamela média (LM), que consiste de lignina e hemiceluloses (DE ANDRADE; CHAWLA; DE TOLEDO FILHO, 2008), como mostra a Figura 1.

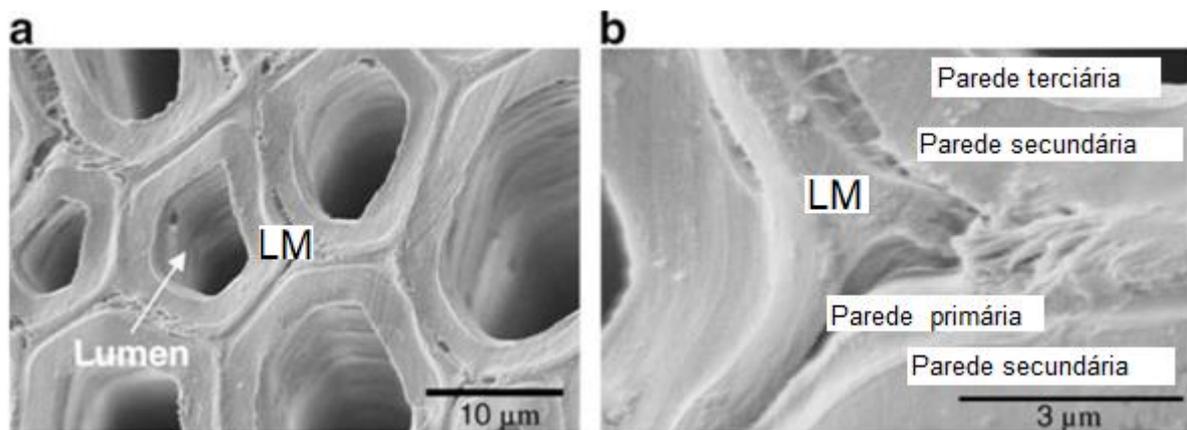


Figura 1- Microestrutura da fibra de sisal mostrando: a) células – fibras com lúmen e lamela média; e b) detalhe da lamela média e paredes celulares. Fonte: DE ANDRADE; CHAWLA; DE TOLEDO FILHO, 2008.

A diferença entre os diversos tipos de fibras está no tamanho das paredes celulares, na área total da fibra e na área real (diminuindo-se a área total do lúmen). No caso de estruturas constituídas de feixes de fibras, o número de fibras que os compõe pode variar. Dessa forma, as fibras possuem características físicas e mecânicas diferentes (FIDELIS et al., 2013).

São categorizadas como materiais lignocelulósicos por serem formadas principalmente por celulose, hemiceluloses e lignina que compõem a parede celular (ORNAGHI JUNIOR, 2014). A celulose é uma cadeia linear constituída de moléculas de glucose e possui uma conformação plana em forma de fita. A unidade de repetição (Figura 2) é constituída por dois anéis de anidrogucose unidos entre si por um oxigênio covalentemente ligado a C1 de um anel de glucose e a C4 do anel adjacente, denominada de ligação glucosídica β 1 \rightarrow 4. A fórmula geral da celulose é $(C_6H_{10}O_5)_n$, sendo $n = 10\ 000$ a $15\ 000$ e dependente do material de origem de celulose (AZIZI SAMIR; ALLOIN; DUFRESNE, 2005). As ligações de hidrogênio entre hidroxilas e oxigênio das moléculas de anel adjacentes estabilizam o vínculo e resultam na configuração linear da cadeia de celulose (MOON et al., 2011).

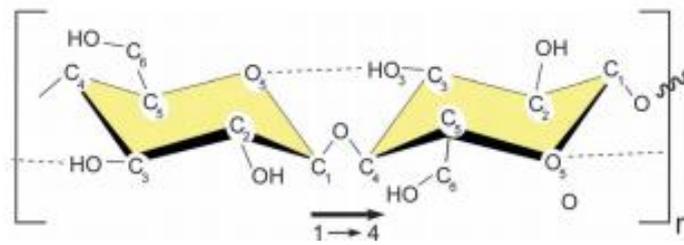


Figura 2- Esquema da unidade de repetição da cadeia de celulose, mostrando a direção da ligação β 1 \rightarrow 4 e ligações de hidrogênio intracadeia (linha pontilhada). Fonte: MOON et al., 2011.

Durante a biossíntese, ligações de van der Waals e ligações de hidrogênio intermoleculares entre grupos hidroxila e oxigenados de moléculas adjacentes promovem o empilhamento paralelo de múltiplas cadeias de celulose que formam fibrilas elementares que, por sua vez, se agregam ainda mais entre si formando microfibrilas maiores (5-50 nm de diâmetro e vários micrômetros de comprimento). A rede de ligação de hidrogênio intra e inter-cadeia torna a celulose um polímero relativamente estável, fornecendo às microfibrilas de celulose alta rigidez axial. As microfibrilas de celulose constituem-se de regiões altamente ordenadas (cristalinas) interligadas por regiões desordenadas de estrutura amorfa (Figura 3) (NISHIYAMA, 2009).

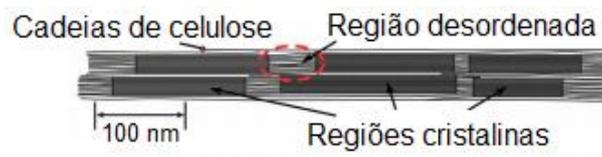


Figura 3- Microfibrila de celulose com uma das configurações sugeridas das regiões cristalinas e amorfas. Fonte: MOON et al., 2011.

A celulose é primariamente responsável pela resistência das fibras à tração devido seu alto grau de polimerização e orientação linear (LOPES et al., 2010).

As hemiceluloses são polissacarídeos presentes na parede celular das plantas que têm ligação principal β - (1 \rightarrow 4) e apresentam configuração equatorial. Hemiceluloses podem ter suas cadeias principais constituídas da repetição de quatro monômeros: xiloglucanos, xilanos, mananos e glucomananos (Figura 4). Nas ramificações da cadeia vários monossacarídeos podem ocorrer, tais como: glicose; galactose; manose; ácidos glucurônicos; arabinose; xilose; fucose; e ramnose. A estrutura detalhada das hemiceluloses e sua abundância variam amplamente entre diferentes espécies e tipos de células. O papel biológico mais importante das hemiceluloses é de contribuir para o fortalecimento da parede celular pela interação com celulose e, em algumas paredes, com lignina (SCHELLER; ULVSKOV, 2010).

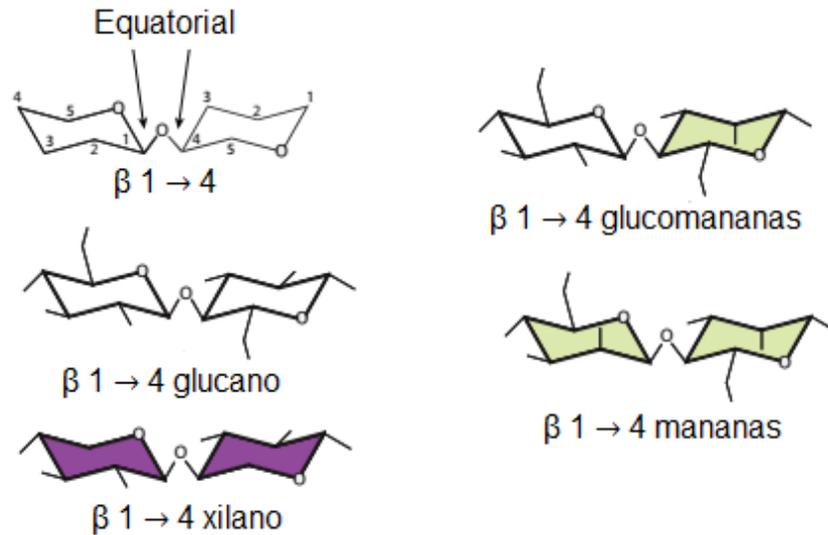


Figura 4- Tipos de monômeros dissacarídeos que podem compor as hemiceluloses β - (1 \rightarrow 4) com configuração em C1 e C4. Fonte: SCHELLER; ULVSKOV, 2010.

A lignina é a segunda matéria-prima (GOSELINK et al., 2004) e o polímero aromático natural mais abundante na natureza (LORA; GLASSER, 2002), cuja principal função na parede celular das plantas é “cimentar” as fibras.

A lignina é tridimensional e composta por três monômeros de álcool cinâmico diferentes: álcool p-cumárico, álcool coniferílico e álcool sinapílico (Figura 5). As proporções de cada monômero diferem em função das espécies de plantas. As gramíneas normalmente contêm os três monômeros, enquanto que a lignina de árvores coníferas contêm principalmente álcool coniferílico e lignina de árvores decíduas contêm álcoois coniferílico e sinapílico (DORRESTIJN et al., 2000).

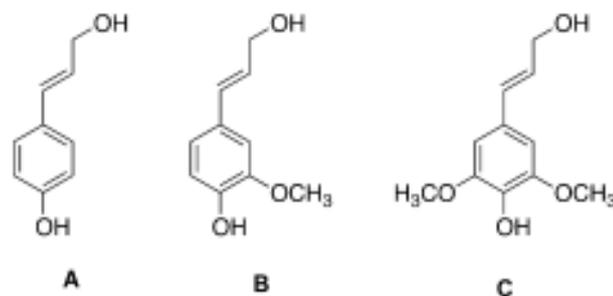


Figura 5. Três monômeros monolignol padrão. A= p- cumárico; B= Álcool coniferílico; C= Álcool sinapílico. Fonte: DORRESTIJN et al., 2000.

A estrutura da lignina é bem mais complexa em relação à da celulose e das hemiceluloses devido à presença de diversas unidades precursoras e ao grande número de combinações

possíveis entre as mesmas (MARABEZI, 2009). A Figura 6 ilustra genericamente a molécula de lignina.

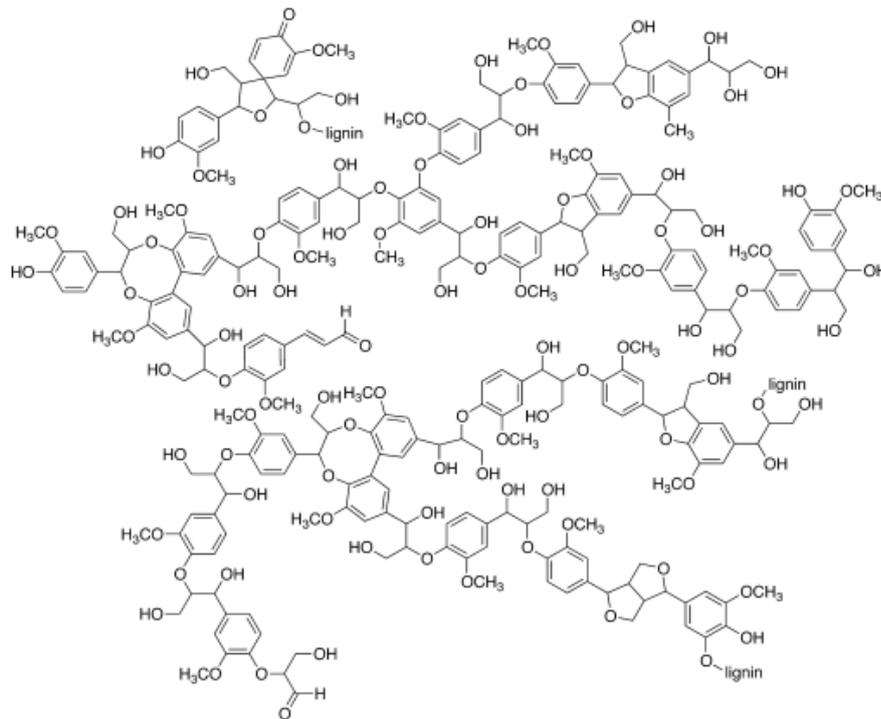


Figura 6. Estrutura padrão de lignina das coníferas. Fonte: SAKAKIBARA, 1980.

Os extrativos são compostos químicos presentes na parede celular, mas não são integrantes da sua estrutura. Geralmente formados por misturas de graxas, ácidos graxos, álcoois graxos, fenóis, terpenos, esteroides, resinas ácidas, resinas, ceras e outros compostos orgânicos. Estes compostos existem nas formas de monômeros, dímeros e polímeros (ROWELL et al., 2005).

Por fim, os minerais presentes na biomassa vegetal podem ser inorgânicos e orgânicos (por exemplo oxalatos), embora os orgânicos sejam considerados como uma exceção à regra pelos mineralogistas (KOSTOV, 1993). Os minerais compõem a maior parte do material inorgânico, tais como: fases amorfas, mineralóides pouco cristalinos e espécies minerais (VASSILEV et al., 2012). O teor de matéria mineral é amplamente variável entre diferentes plantas, como o verificado de 0,3 – 16% (base massa seca) para bagaço de cana, polpa celulósica de bambu, resíduo da colheita do milho e do café, casca de arroz, raspas de cedro vermelho, *Pinus* e *Eucalyptus* (PROTÁSIO et. al., 2013).

2.3 Qualidade de fibras vegetais para a produção de compósitos

As propriedades mecânicas, químicas e físicas das fibras vegetais são fortemente dependentes da colheita, influenciadas pelo clima, localização, condições climáticas e características do solo. Essas propriedades também são afetadas durante o processamento de fibras nos processos de maceração, aquecimento, branqueamento e fiação (JÄHN et al., 2002). As fibras de celulose possuem resistência relativamente alta, alta rigidez e baixa densidade (GASSAN; BLEDZKI, 1996).

O módulo de elasticidade das fibras naturais a granel, como a madeira, é de cerca de 10 GPa. Fibras de celulose com módulo de até 40 GPa podem ser separadas da madeira por processo de polpação química. Tais fibras podem ser subdivididas em microfibrilas dentro do módulo elástico de 70 GPa (MALONEY; LEE; ROWELL, 1995). A resistência à tração das fibras naturais depende da duração do teste da amostra, que é de importância principal com relação à eficiência de reforço (KALIA et al., 2011). Outras propriedades das fibras dependem de fatores como tamanho, maturidade e métodos de extração. Propriedades como densidade, resistividade elétrica, resistência à tração final e módulo inicial estão relacionadas à estrutura interna e à composição química das fibras (GASSAN; BLEDZKI, 1996). As propriedades desejáveis para as fibras incluem excelente resistência à tração e módulo, alta durabilidade, baixa densidade aparente, boa moldabilidade e reciclabilidade.

2.4 O Açaizeiro

O açaizeiro *Euterpe oleraceae* Mart. é uma palmeira da família *Arecaceae* amplamente difundida e cultivada na Amazônia brasileira. A *Euterpe oleraceae* tem se destacado pela importância econômica para a fruticultura regional, sobretudo para o estado do Pará, onde a produção e a comercialização da polpa movimentam grandes mercados (NEVES et al., 2015). O fruto possui bom valor nutricional e constitui-se numa das bases alimentares da dieta das populações dos Estados do Pará e Amapá. Sua composição é caracterizada por um elevado teor de lipídios, proteínas, fibras e antocianinas (YOKOMIZO et al., 2010). As maiores áreas ocupadas com essa espécie encontram-se na Amazônia Oriental brasileira, mais precisamente na região do estuário do rio Amazonas, considerada como seu centro de origem e onde encontram-se densas e diversificadas populações que ocupam com maior frequência terrenos, que em função do fluxo e refluxo das marés, estão submetidos à inundação periódica (NASCIMENTO et al., 2008).

A cor do fruto maduro é púrpura a quase preta. Por meio do despulpamento, manual ou mecânico, obtêm-se a polpa que pode ser consumida *in natura* ou em uma variedade de bebidas e alimentos, como creme, licor, geleia, mingau, sorvetes e doces (ROGEZ, 2000; RODRIGUES et al., 2006; MATIAS DOS SANTOS et al., 2008).

O elevado consumo dos frutos de açaí está relacionado aos benefícios à saúde devido a sua elevada capacidade antioxidante (LICHTENTHÄLER et al., 2005, SCHAUSS et al., 2006, PACHECO-PALENCIA; HAWKEN; TALCOTT, 2007) atribuída, principalmente, às antocianinas. Entretanto, outros compostos fenólicos tais como ácido ferúlico, epicatequina e ácido p-hidroxibenzóico também contribuem com a ação anti-radical livre observada na polpa desta fruta (DEL POZO-INSFRAN; BRENES; TALCOTT, 2004). Outro fator relacionado ao consumo do açaí está na cultura local, sendo base alimentar da dieta das populações do estado do Pará e Amapá (YOKOMIZO et al., 2016).

O fruto do açaí possui formato arredondado e por volta de 70% dele é resíduo, sendo 3% fibras lignocelulósicas. O resíduo pode ser utilizado para bioenergia, entretanto a separação das fibras da semente é recomendável, pois a queima dos componentes juntos poderia resultar em um carvão heterogêneo, uma vez que eles mostraram diferentes composições químicas e comportamentos térmicos (BUFALINO et al., 2018).

Apesar das potenciais aplicações para as sementes envoltas por fibras, este resíduo representa um grave problema ambiental. As utilizações dos recursos naturais foram enfatizadas para diminuir os resíduos e tratar os problemas de descarte (SUBRAMONIAM et al., 2013; AL-OQLA et al., 2014; AL-OQLA; SAPUAN, 2014), mas também para reduzir a poluição ambiental e melhorar os sistemas de gestão ambiental sustentável (KALIA; KAITH; KAUR, 2011; SUBRAMONIAM et al., 2013; LECETA et al., 2014).

2.5 Fibras do mesocarpo do açaí

As fibras do mesocarpo do açaí, são um resíduo da extração da polpa que se encontram superficialmente fixadas ao redor da semente do fruto (BUFALINO et al., 2018). É um material lignocelulósico e fibroso de formato elíptico com espessura e comprimento médios de 130 μm e 18 mm, respectivamente. Apresenta massa específica um pouco mais elevada que a da água, em torno de 1,11 g/cm^3 . A fração parede (FP) é maior que 90%, o que indica alta rigidez. Como consequência, esta fibra apresenta baixo coeficiente de flexibilidade, sendo inferior a 10% (LIMA JUNIOR, 2007).

O Índice de Runkel (relação entre a espessura da parede e diâmetro do lume da fibra) é um indicativo da flexibilidade das fibras, fornecendo informações sobre a sua capacidade de união, relacionado com a resistência à tração e ao arrebentamento (FOELKEL; BARRICHELO, 1975). O baixo índice de Runkel de 919 da fibra do mesocarpo do açaí indica que a ligação entre as fibras é improvável, enquanto que o índice de enfiamento é alto, fato que pode ser observado na fabricação dos materiais compósitos (LIMA JÚNIOR, 2007).

Oliveira et al. (2016) verificaram que a temperatura de degradação inicial da fibra *in natura* foi de 276 °C em atmosfera de N₂. O comportamento térmico da fibra do açaí é semelhante ao observado para as principais fibras naturais já utilizadas industrialmente, o que indica a possibilidade de novas e promissoras aplicações dessa matéria-prima.

Já foi verificado que a fibra do mesocarpo do açaí apresenta boa adesão em matrizes de cimento. Entretanto, os compósitos que demonstraram as melhores propriedades mecânicas foram aqueles com menor teor (0,3%) da fibra *in natura*, uma vez que o aumento dessa variável ocasionou maior absorção de água e porosidade aparente dos produtos (LIMA JÚNIOR, 2007). Possivelmente, pré tratamentos podem melhorar as características deste material para aplicação em compósitos.

2.6 Pré tratamentos de fibras lignocelulósicas para aplicação como reforço em biomateriais

Com a modificação da superfície das fibras vegetais por pré-tratamentos físicos e químicos, é possível diminuir problemas de compatibilidade com matrizes, otimizando a adesão entre as fases e melhorando a qualidade final dos compósitos (IOZZI et al., 2010; KALIA; KAITH; KAUR, 2009).

2.6.1 Pré tratamentos físicos de materiais lignocelulósicos

O pré-tratamento térmico na faixa de 180°C a 230°C de materiais lignocelulósicos para aplicação em compósitos resulta na remoção de hemiceluloses, enquanto que para celulose há aumento da cristalinidade e diminuição do grau de polimerização. A lignina não é, consideravelmente, afetada (PELAEZ-SAMANIEGO et al., 2013).

Há também uma diminuição irreversível da capacidade de retenção de água das fibras celulósicas pela formação de ligações de hidrogênio nas cadeias de celulose quando submetidas a ciclos de secagem e reidratação. Este procedimento não modifica comprimento da fibra, mas causa uma redução na espessura da parede celular. Essa mudança pode ser quantificada pela

redução percentual nos valores de retenção de água (CLARAMUNT, ARDANUY; GARCÍA-HORTAL, 2010).

Outros tratamentos podem ser utilizados para modificação das fibras lignocelulósicas. A simples imersão em água fria pode eliminar materiais orgânicos da superfície de fibras extraídas de palmeiras (AQUINO, 2003). Este pré-tratamento, quando realizado em resíduo madeireiro de *Pinus* spp. por 48 horas, propiciou aumentos significativos da resistência à compressão de compósitos cimento-madeira quando comparados aos produzidos com *Pinus* spp. *in natura* (MIRANDA DE LIMA; IWAKIRI; LOMELÍ-RAMÍREZ, 2011).

O pré-tratamento das fibras de coco por imersão em água quente a 80°C por 90 minutos resultou em um compósito com propriedades mecânicas superiores e menor inibição na cura do cimento em relação aos produzidos com fibras não tratadas (FERRAZ et al., 2011). Possivelmente, a imersão em água também seja eficaz para modificação de outras fibras lignocelulósicas. Estes pré-tratamentos evitam a utilização de reagentes químicos, são de fácil execução e menor custo em relação aos tratamentos alcalinos e de branqueamento. Portanto, se eficientes, devem ser selecionados para a produção dos compósitos.

2.6.2 Pré tratamentos químicos de materiais lignocelulósicos

O tratamento alcalino com NaOH é utilizado para remover parte da lignina, das hemiceluloses e de outros compostos presentes na superfície externa da fibra, além de aumentar sua rugosidade e resistência à degradação térmica (OLIVEIRA; MARQUES; MERAT, 2013), promovendo melhor adesão entre o conjunto fibra-matriz (FARUK et al., 2012). Os grupos hidroxilas presentes nas fibras são alteradas pela reação com o NaOH (FERRAZ, 2011).

O branqueamento remove os resíduos dos componentes amorfos (lignina e hemiceluloses) ainda presentes nas fibras após polpação, tornando-as mais cristalinas se comparadas ao material não-branqueado. O aumento da fração cristalina confere à celulose maior polaridade na superfície, o que melhora a capacidade de adesão das fibras (CORREIA, 2015; FERNANDES, 2017).

2.7 Compósitos cimentícios reforçados com fibras vegetais

O emprego de fibras vegetais como reforço em matrizes é uma tecnologia antiga, cujos primeiros relatos foram há mais de sete mil anos na Pérsia (SILVA; GHAVAMI; ALMEIDA, 2004; MACÊDO, SOUZA; NETO, 2012).

Para aplicação de fibras como reforço de compósitos, elas devem ser facilmente dispersas na mistura, ter boas propriedades mecânicas e possuir uma configuração geométrica apropriada (WANG; WU; LI, 2000). A adição de fibras vegetais em argamassas e concretos tem como finalidade melhorar as propriedades desses materiais quando submetidos à esforços mecânicos, entretanto deve haver estabilidade e aderência das fibras no interior da matriz cimentícia para que seja garantida a durabilidade desses compósitos (BETIOLI, 2003).

Outra finalidade de se reforçar matrizes com fibras incluem o aumento da resistência à tração, flexão e ao impacto. Esses efeitos se dão pela diminuição da abertura de fissuras, prevenindo ou retardando seu aparecimento, pois as fibras conferem ao material maior capacidade de absorção de energia antes da ruptura (SILVA et al., 2008).

2.7.1 Compatibilidade entre cimento e fibras vegetais

As principais desvantagens do uso de fibras vegetais em compósitos à base de cimento são as vulnerabilidades a decomposição de certos componentes químicos no meio alcalino do cimento, bem como a incompatibilidade química entre as fases (BERALDO et al., 1998; PEHANICH; BLANKENHORN; SILSBEE, 2004). Materiais lignocelulósicos contêm muitas substâncias que podem dissolver-se durante a hidratação do cimento e afetar sua cristalização (FAN et al., 2012).

Os compostos fenólicos, os ácidos, os açúcares solúveis e as resinas classificadas como extrativos orgânicos se solubilizam em contato ao meio alcalino criado pelo cimento e reagem impedindo sua cristalização e seu endurecimento (HOFSTRAND, MOSLEMI; GARCIA, 1983; BERALDO et al., 1998; IWAKIRI, 2006).

Os extrativos são frequentemente citados como principais responsáveis pela inibição da solidificação do cimento (SIMANTUPANG et al., 1978). Entretanto, as hemiceluloses, mesmo em pequenas quantidades (0,1%), diminuem significativamente a intensidade de cura do cimento (MILLER; MOSLEMI, 2007). As hemiceluloses solúveis em água são hidrolisadas e convertidas em ácido carboxílico na pasta de cimento alcalino e os produtos dessa degradação alcalina são três vezes mais eficientes que os extrativos para inibir a hidratação do cimento (GOVIN et al., 2005).

O efeito de inibição dos minerais na pega do cimento também já foi citado na literatura (PEHANICH; BLANKENHORN; SILSBEE, 2004; VASSILEV et al., 2013).

Dessa forma, a aplicação de fibras vegetais pode retardar ou até impedir a pega do cimento, sendo os componentes no segundo caso classificados como incompatíveis. Este fenômeno de interação é geralmente expresso pela redução da resistência física e mecânica de compósitos de cimento. Para alguns autores, não é recomendável o uso de materiais lignocelulósicos, como componente aglomerados de cimento Portland, que tenham concentração elevada de hemiceluloses solúveis e elevada heterogeneidade (diferenças de qualidade locais e sazonais) de fibras (BALEY, 2002; MACÊDO et al., 2011).

O entendimento e superação desse fenômeno que ocasiona baixa durabilidade das fibras vegetais em meio alcalino é importante para subsidiar a produção adequada de compósitos cimentícios (BERALDO, CHEN; AZZINI, 2003; TOMCZAK, 2010).

O termo compatibilidade, quando utilizado na área de desenvolvimento de compósitos à base de cimento e de fibras vegetais, se refere ao grau de inibição da reação exotérmica de hidratação do cimento (JORGE; PEREIRA; FERREIRA, 2004; PAPADOPOULOS, 2008). Nesse caso, a fibra vegetal será dita compatível caso não influencie ou pouco influencie essa reação (MOSLEMI; LIM, 1984). A 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 tipos de painéis (LATORRACA, IWAKIRI; LELIS, 1999). As curvas de reação do cimento sofrem influência com a presença de fibras vegetais, ocorrendo aumento inicial da temperatura, seguido por um período de dormência e, posteriormente, endurecimento do cimento com rápida elevação de temperatura (MOSLEMI; LIM, 1984).

Outras substâncias que, em menor ou maior grau, influenciam o processo de cura são os carboidratos, os açúcares e os compostos fenólicos (FRYBORT et al., 2008; FERRAZ et al., 2012).

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. 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 das fibras vegetais e conseqüente redução do desperdício e dos custos (WEI; ZHOU; TOMITA, 2000). A partir desse índice é possível classificar as fibras segundo sua inibição (TEIXEIRA et al., 2001) (Tabela 2).

Tabela 2- Índice de inibição utilizado para classificar a compatibilidade dos materiais lignocelulósicos com o cimento.

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

Fonte: Teixeira et al. (2001).

2.8 Painéis aglomerados de cimento

O processo de produção dos painéis aglomerados de cimento do tipo CBPBs é relativamente simples. Trata-se da mistura de partículas ou fibras de madeira (ou materiais não-madeireiros), cimento, aditivos e água em uma betoneira (misturador), que em seguida é prensada em condições ambientes para consolidar placas. Esse processo é similar ao da produção de aglomerados com adesivos sintéticos (LATORRACA, 2000).

CBPBs apresentam muitas vantagens em relação aos painéis aglomerados colados com resinas orgânicas, tais como melhor desempenho mecânico e maior resistência ao fogo e ao ataque de insetos e fungos. Adicionalmente, eles apresentam propriedades como alta resistência à umidade e estabilidade dimensional quando submetidos à imersão em água, podendo assim, servir como material de baixo custo para construção de paredes. Essas são características promissoras para países tropicais. Além disso, a prensagem em condições ambientes permite economia de energia (LEE, 1984; SAVASTANO JUNIOR, WARDEN; COUTTS, 2003; ZHAO et al., 2013).

3 OBJETIVOS

3.1 Geral

Investigar a compatibilidade entre cimento Portland e fibras do mesocarpo da semente do açaí nas condições *in natura* e submetidas a pré-tratamentos físicos e químicos para aplicação como reforço em painéis aglomerados de cimento do tipo CBPB's.

3.2 Específicos

- Avaliar o efeito de diferentes pré-tratamentos físicos e químicos nas características das fibras do açaí;
- Selecionar o melhor pré-tratamento de fibras do mesocarpo do açaí para analisar a compatibilidade entre cimento Portland;
- Avaliar as propriedades físico-mecânicas de painéis CBPBs produzidos com as fibras do mesocarpo do açaí nas condições *in natura*.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Coleta das fibras do mesocarpo do açaí

O resíduo foi obtido de vários estabelecimentos comerciais na cidade Macapá/AP, após o despulpamento do fruto do açaí (*E. oleracea*). O material foi lavado e seco em condições ambiente. Os resíduos foram processados em moinho martelo da marca SL-33 SOLAB com intuito de separar as fibras superficiais das sementes. Em seguida, o material foi peneirado com o auxílio de um agitador A-200 RETSCH, no qual foi posicionada uma peneira de 4 mesh para retenção de sementes inteiras sobre uma peneira de 10 mesh para coleta de pedaços quebrados de sementes e, por baixo desta, foi posicionada a base das peneiras (fundo sem abertura) para coleta das fibras. Aproximadamente 40 kg de frutos foram processados em uma bateadeira local até obtenção de, pelo menos, 4 kg de fibras.

4.2 Massa específica das fibras na condição *in natura*

Três porções de 0,10 g de massa de fibras secas em condições ambiente foram pesadas em uma balança digital modelo BL320H da marca SHIMADZU com resolução de 0,01 g. As fibras não foram secas e nem saturadas antes da análise. Em seguida, as mesmas, foram imersas em uma proveta com resolução de 0,10 mL, contendo 6 mL de álcool etílico, anotando-se as variações de volume.

Determinou-se o volume deslocado de álcool etílico, conforme a metodologia de Sarmiento e Freire (1997) para fibras de bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). A opção pelo álcool etílico é em função de sua relativa baixa densidade, para se evitar que as fibras com eventuais densidades acima da água fiquem na superfície do líquido durante o ensaio. A análise foi realizada com as fibras na umidade condicionada pelo ambiente de 89% em Macapá. A massa específica foi calculada por meio da fórmula:

$$Me = \frac{m}{v}$$

Onde:

Me= massa específica aparente (g/cm³);

m= massa (g);

v= volume deslocado (cm³).

4.3 Pré tratamento das fibras do açaí

As fibras do mesocarpo do açaí foram tratadas por processos físicos e químicos com o intuito de modificar sua estrutura química e morfológica (Tabela 3). Para cada condição, aproximadamente 60 g de fibras foram obtidas.

Tabela 3 - Tipos de tratamentos.

Nomenclatura	Tratamento
In natura	Sem tratamento
AF	Imersão em água fria (21°C) por 24 horas
AQ	Imersão em água fervente (90°C) por 2 horas
T180	Tratamento térmico em mufla à 180°C por 20 minutos
T200	Tratamento térmico em mufla à 200°C por 20 minutos
T220	Tratamento térmico em mufla à 220°C por 20 minutos
A2	Tratamento alcalino 2 vezes
A2B	Tratamento alcalino 2 vezes + Branqueamento 1 vez
A2B2	Tratamento alcalino 2 vezes + Branqueamento 2 vezes

Os seguintes parâmetros foram utilizados para os pré-tratamentos:

- Tratamentos térmicos: fibras mantidas em mufla a 180°C, 200°C ou 220°C por 20 min após a temperatura máxima ser atingida;
- Imersão em água fria (21°C) por 24 h e posterior lavagem contínua até observação de água sem coloração;
- Imersão em água fervente (90°C) por 2 h e posterior lavagem contínua até observação de água sem coloração;

- Tratamento alcalino: fibras imersas em solução de NaOH a 5% na proporção de 10g/1L por 1 h sob agitação mecânica constante de 350 rpm e temperatura de 80 °C. Ao final do tratamento, as fibras foram constantemente lavadas até pH constante. Esse procedimento foi realizado duas vezes.
- Tratamento alcalino + branqueamento: o tratamento alcalino foi realizado duas vezes conforme a metodologia anterior. Para branqueamento, as fibras foram imersas em solução de 24% de H₂O₂ e 4% de NaOH (1v:1v) na proporção de 10g/1L por 2 h sob agitação mecânica constante de 350 rpm e temperatura de 60°C. Foram avaliadas fibras branqueadas uma e duas vezes. Ao final do tratamento, as fibras foram constantemente lavadas até pH constante.

4.4 Caracterização das fibras *in natura* e modificadas

Para análise de difração de raios-X, os difratogramas foram capturados em um difratômetro modelo D2 PhaserBuker operando em 30 kV, 10 mA e radiação CuK α ($\lambda = 1,54 \text{ \AA}$). As fibras foram compactadas nos sulcos de porta-amostras de acrílico. O escaneamento foi realizado com ângulo de varredura variando entre 5° e 80°. O índice de cristalinidade foi calculado a partir da intensidade máxima obtida no pico de cristalinidade principal no difratograma e da intensidade mínima localizada entre dois picos cristalinos pela fórmula sugerida por Segal et al. (1959):

$$IC = \frac{(I_{002} - I_{am})}{I_{002}} \times 100$$

Onde:

IC=índice de cristalinidade (%);

I₀₀₂= intensidade máxima do pico cristalino localizado a 2 θ =22,6;

I_{am} = intensidade mínima obtida entre os picos localizados a 2 θ =16,5 e 2 θ =22,6.

A morfologia das fibras foi analisada por microscopia eletrônica de varredura (MEV). As amostras não precisaram de nenhuma preparação prévia. As micrografias de MEV foram obtidas por um microscópio eletrônico de varredura da marca HITACHI, modelo TM3030PLUS com uma voltagem de 15 kV. Os diâmetros das fibras foram medidos com o auxílio do Software Image J.

As análises térmicas foram conduzidas em um analisador térmico modelo STA 449 F5 Jupiter (NETZSCH) com uma taxa de aquecimento de 10°/min. A variação de temperatura foi da condição ambiente até 1000°C em meio inerte.

4.5 Análise da compatibilidade entre cimento e fibras do mesocarpo do açáí

O aglomerante utilizado neste trabalho foi o cimento Portland CP V, de alta resistência inicial, contemplado pela norma NBR 5733 (ABNT, 1991). A compatibilidade entre o reforço e a matriz foi analisada pelas técnicas descritas a seguir.

4.5.1 Calorimetria

Foi utilizada uma caixa térmica de 34 L, quatro garrafas térmicas de 1 L, termopares e um sistema de aquisição de dados que foi conectado a um microcomputador. Testes de reprodutibilidade foram realizados antes da utilização do equipamento para as medidas de calorimetria.

Foram preparados quatro sacos plásticos (8 x 5 cm) por análise contendo 15 g de cimento Portland CP V (NBR 5733,1991) e 1,5 g de biomassa particulada cada. Em cada um desses sacos, foram inseridos cimento e fibras para homogeneização, em seguida sendo adicionados 6 mL de água. Em um intervalo de tempo de no máximo 5 minutos após a adição da água, o material foi misturado.

Um termopar foi inserido em cada saco plástico em contato com a mistura cimento-fibra-água. Os termopares foram ligados a um sistema de aquisição de dados para registrar a variação da temperatura em função do tempo. Cada saco plástico contendo a mistura cimento-fibra-água foi introduzido dentro das garrafas térmicas. As garrafas térmicas foram armazenadas dentro da caixa térmica e envolvidas com lã de vidro. A caixa térmica foi hermeticamente fechada, a fim de evitar a perda de calor para o ambiente.

Os testes de calorimetria foram realizados por um período de 24 h para avaliar a influência das fibras *in natura* e pré-tratadas na hidratação do cimento. Para cada tratamento, quatro repetições foram testadas no ensaio de calorimetria.

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

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

Onde:

T_{cim} = Temperatura máxima da mistura cimento e água (°C);

T_{m} = Temperatura máxima da mistura cimento, água e fibra de açai (°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 açai, água e cimento (h);

S_{cim} = Incremento máximo de temperatura da curva na mistura cimento e água (°C/h);

S_{m} = Incremento máximo de temperatura da curva na mistura cimento, água e fibra de açai (°C/h).

4.5.2 Difração de raios X

Pastas foram preparadas nas proporções de 1:2,75 de fibra/cimento e 1:3 de água/cimento. Além das fibras, foi feita pasta utilizando cinzas das fibras *in natura*. As pastas foram fixadas nos porta amostras com o auxílio de uma espátula logo após a mistura do cimento, fibras e água em um saco plástico.

Os difratogramas foram captados em um difratômetro da BRUKER, modelo D2 Phaser, operando com 30 kV, 30 mA e radiação $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda = 1,54 \text{ \AA}$). O tempo de preparo da amostra não ultrapassou 10 minutos. O ensaio foi realizado a uma taxa de $2\theta/\text{min}$ de 5° a 80° e durou aproximadamente 15 minutos. O tempo de ensaio inicial foi contabilizado com auxílio de um cronometro digital acionado a partir da mistura das pastas. O tempo de ensaio total de DRX para cada pasta foi de 7 dias, sendo realizadas medições imediatamente após mistura da pasta (0 hora), além de 24 horas, 3 dias e 7 dias após preparo da amostra.

4.5.3 Ensaios mecânicos

6 Corpos-de-prova cilíndricos com dimensões de 40mm de altura e 20mm de diâmetro foram preparados para execução dos ensaios destrutivos das misturas cimento-fibra após o material compósito ter endurecido, de acordo com a NBR 7215 (ABNT, 1996). As proporções de fibra/cimento e de água/cimento foram de 0,05:1 e 1:3, respectivamente.

Foi utilizado o processo de cura ambiente, sem imersão dos corpos de prova em solução de água e cal. O rompimento dos corpos de prova por compressão foram feitos após 7 e 28 dias. Após o teste os dados foram analisados utilizando teste de ANOVA e Tukey.

4.5.4 Medição de pH das fibras imersas em água

O acompanhamento do pH das fibras foi feito utilizando-se pHmetro de bancada GEHAKA, modelo PG 1800. As medições foram realizadas em água deionizada, sendo realizadas medições antes e após adicionar as fibras. O acompanhamento foi realizado à cada 2 horas até completar 10 horas e por fim em 24 horas. Foi usado 50 mL de água e 0,2 g de fibra para o teste.

4.6 Componentes e produção dos compósitos

Os painéis aglomerados de cimento foram produzidos, utilizando fibras do mesocarpo do açaí, cimento Portland, água destilada e CaCl_2 como acelerador de pega. Para o cálculo de cada componente (fibra, cimento, água e aditivo), foi utilizada a metodologia sugerida por Souza (1994). As quantidades dos componentes necessários para a formação de três painéis foram pesadas. Para a definição da proporção dos componentes na mistura, foram consideradas as seguintes relações: fibra/cimento de 0,25:2,75; água/ cimento de 1:2,5; taxa de água de hidratação/cimento de 25% e 4% de cloreto de cálcio, com base na massa do cimento.

Os cálculos foram realizados para uma densidade nominal dos painéis de $1,20 \text{ g/cm}^3$. As fibras foram alocadas em uma caixa plástica. O CaCl_2 foi dissolvido na água e aplicado às fibras *in natura* por aspersão. Por fim, o cimento foi peneirado e adicionado lentamente. Os componentes foram manualmente misturados para a formação de uma massa homogênea. O “colchão” foi formado por deposição da massa em caixa formadora de aço com dimensões de 150 x 150 mm, posicionadas sobre uma chapa de alumínio. Para controle da espessura final dos painéis, foram utilizados espaçadores de ferro de 15 mm de espessura.

Os painéis foram prensados a temperatura ambiente, com pressão específica de 4 toneladas durante 10 minutos. A pressão foi cessada, mas os painéis ficaram mantidos na prensa durante 24 horas. Previamente aos ensaios físicos e mecânicos, os painéis foram mantidos em caixa de isopor por um período de 28 dias a temperatura de $20 \pm 1^\circ\text{C}$.

4.7 Caracterização física e mecânica dos compósitos

Após o processo de climatização de 28 dias dos painéis, foram retirados corpos-de-prova para ensaios de absorção de água (AA) e inchamento em espessura (IE), após 2 e 24 horas de imersão

em água, densidade aparente (DA), flexão estática para determinação do módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR). No teste de flexão estática houve adaptação da norma, sendo utilizados corpos de prova menores, de 150 mm de comprimento e 50mm de largura. Para avaliação das propriedades físico-mecânicas dos painéis foram os procedimentos recomendados pelas normas D-1037 (ASTM, 1999) e DIN 52362 (DIN, 1982).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Massa específica das fibras na condição *in natura*

As fibras da semente do açaizeiro apresentaram massa específica levemente mais elevada que a da água, em torno de $1,01 (\pm 0,01) \text{ g/cm}^3$. A fibra do açaí possui densidade inferior quando comparada com fibra de sisal ($1,33$ a $1,5 \text{ g/cm}^3$), linho ($1,4$ a $1,5 \text{ g/cm}^3$) e fibra de coco ($1,15$ a $1,46 \text{ g/cm}^3$) (AL-OQLA et al., 2015). As fibras lignocelulósicas, mesmo sendo menos densas que fibras de vidro, podem resultar em compósitos com resistência similar a compósitos com essas fibras sintéticas (JOSEPH et al., 1999).

5.2 Caracterização das fibras *in natura* e modificadas

Após os tratamentos nas fibras, sua cor e aparência mudaram, os tratamentos AF e AQ não causaram mudanças visuais proeminentes, sendo muito similares a fibra *in natura*. Os tratamentos térmicos ocasionaram escurecimento das fibras quando comparadas com *in natura*, ficando mais escuras a cada aumento de temperatura. Os tratamentos químicos causaram mudanças visuais mais proeminentes nas fibras, as fibras A2 aparentam estar mais escura e solta do que as fibras *in natura*. As fibras A2B e A2B2 ficaram mais soltas, menores em espessura e claras do que as fibras *in natura* (Figura 7).

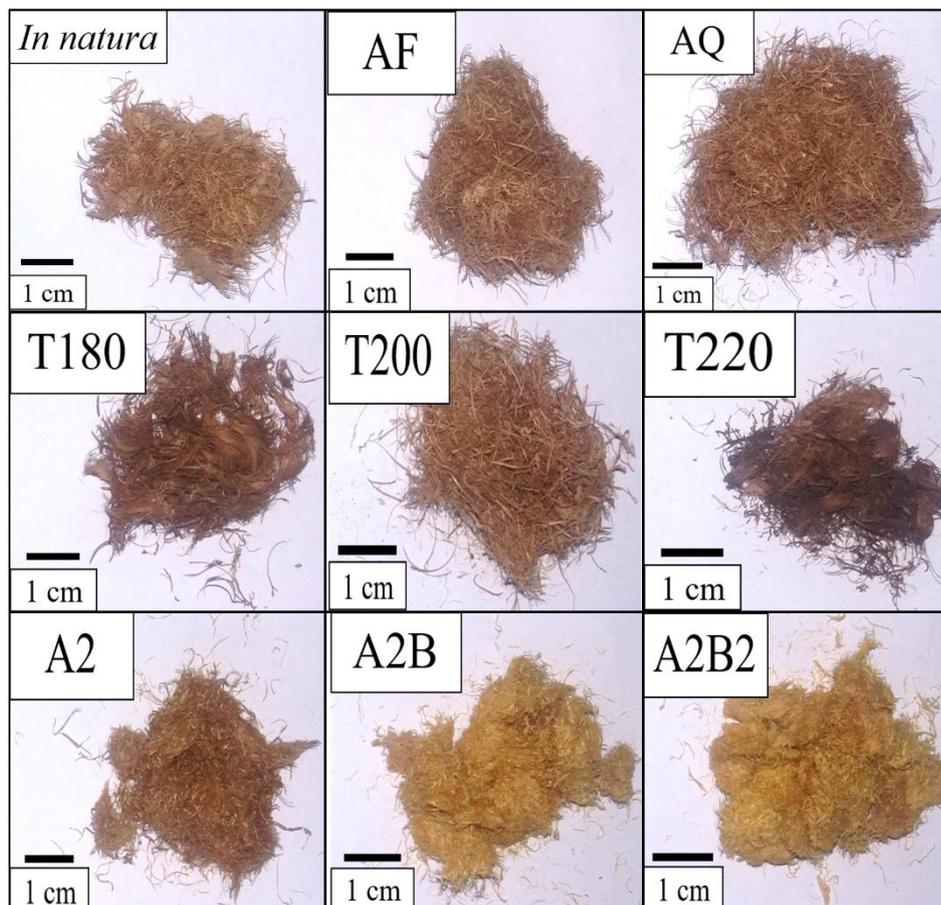


Figura 7- Fotografia das fibras *In natura*: sem tratamento; AF: Fibras tratadas com água fria; AQ: Fibras tratadas com água quente; T180: Fibras tratadas em mufla a 180°C; T200: Fibras tratadas em mufla a 200°C; T220: Fibras tratadas em mufla a 220°C; A2: fibras modificadas por tratamento alcalino duas vezes; A2B: fibras modificadas por tratamento alcalino duas vezes e branqueamento; e A2B2: fibras modificadas por tratamento alcalino duas vezes seguidos de branqueamento por duas vezes.

A cristalinidade das fibras do mesocarpo de açaí é um indicativo de seu potencial como reforço para painéis cimento–fibra, já que, as fases cristalinas e amorfas das fibras lignocelulósicas afetam as propriedades mecânicas do painel. Quanto maior a cristalinidade, mais elevadas são as propriedades de densidade, rigidez, estabilidade dimensional e resistência química (HU; HSIEH, 2001).

O índice de cristalinidade das fibras do açaí após tratamento com água fria permaneceu similar ao *in natura*, entretanto o tratamento com água quente aumentou esse índice em 1,73%. O tratamento térmico a 180°C aumentou o índice de cristalinidade em 0,58%, enquanto que os tratamentos térmicos a 200°C e 220°C reduziram esse valor em 1,09 e 2,11%, respectivamente. Todos os tratamentos químicos causaram aumento dos índices das fibras. O maior aumento de 29,49% foi observado para tratamento A2B2 (Figura 8).

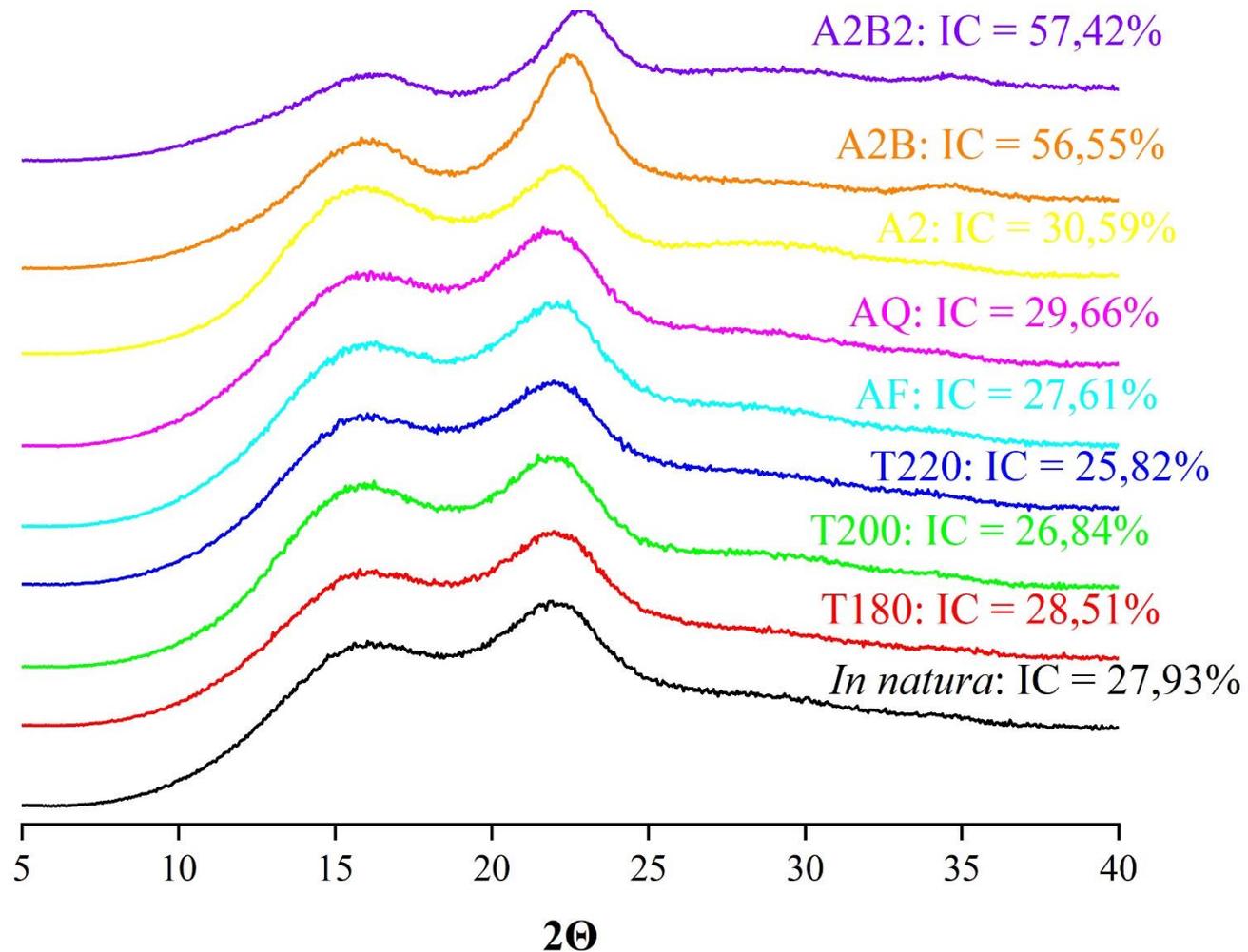


Figura 8 - Difratogramas das fibras do mesocarpo do açai. IC: índice de cristalinidade; *in natura*: sem tratamento; AF: Fibras tratadas com água fria; AQ: Fibras tratadas com água quente; T180: Fibras tratadas em mufla a 180°C; T200: Fibras tratadas em mufla a 200°C; T220: Fibras tratadas em mufla a 220°C; A2: fibras modificadas por tratamento alcalino duas vezes; A2B: fibras modificadas por tratamento alcalino duas vezes e branqueamento; e A2B2: fibras modificadas por tratamento alcalino duas vezes seguidos de branqueamento por duas vezes.

A variação de índices de cristalinidade descrita na literatura é de 60 a 80% para fibras sem tratamento (IOLEVICH, 2008). Assim, o valor observado para fibras do mesocarpo do açaí é menor em relação a esse padrão. Esse valor possivelmente se deve ao baixo teor de celulose da fibra, em torno de 33% (PESSOA et al., 2010).

A diminuição do índice de cristalinidade após tratamentos térmicos de 200°C e 220°C possivelmente ocorreu devido à degradação da celulose, que ocorre a partir de 200°C (YOSOMIYA et al., 1989).

Os tratamentos químicos promovem uma maior remoção do material amorfo e de extrativos, o que resulta em um melhor empacotamento das microfibrilas de celulose, resultando em aumento do teor de cristalinidade da amostra, o que se reflete no aumento de intensidade e estreitamento dos picos da celulose (PICKERING, 2008), apontando potencial de reforço dos painéis usando a fibra do mesocarpo do açaí. Apenas parte da lignina solubilizada é removida durante o tratamento com NaOH, resultando na formação de monômeros (BEUKES; PLETSCHE, 2011). Portanto, o branqueamento com peróxido de hidrogênio visa maximizar a deslignificação após o processo alcalino (LÓPEZ et al. 2003). O branqueamento com peróxido remove a lignina residual por oxidação (JI et al. 2015).

Os picos que ocorreram em todos os difratogramas nos ângulos 16,5° e 22,6° são representativos da celulose nativa I (NISHIYAMA et al., 2003). O tratamento alcalino pode resultar na transformação da celulose I em celulose II e, quando ocorre isso, uma dualidade proeminente pode ser observada no pico cristalino que ocorre aproximadamente em 22,6° (CORRÊA et al., 2010). Esse efeito não ocorreu em nenhuma das amostras ou pelo menos não resultou em proeminência evidente.

As micrografias das fibras do açaí demonstram que as fibras *in natura* têm geometria cilíndrica, com aproximadamente 210,4µm de diâmetro e canais de pontoações nas superfícies. As fibras tratadas com água fria e água quente apresentaram poucos canais desobstruídos. As fibras das condições AF, AQ, T180, T200 e T220 não apresentam modificações morfológicas proeminentes quando comparados com a fibra *in natura*. As fibras com tratamentos AF, AQ, T180, T200 e T220 aparentam ter superfície mais lisa em comparação a fibra *in natura*. Nos tratamentos químicos é possível observar fibras com diâmetro inferior quando comparados com fibra *in natura*, indicando que as fibras *in natura* ocorrem em feixes de fibras (Figura 9).

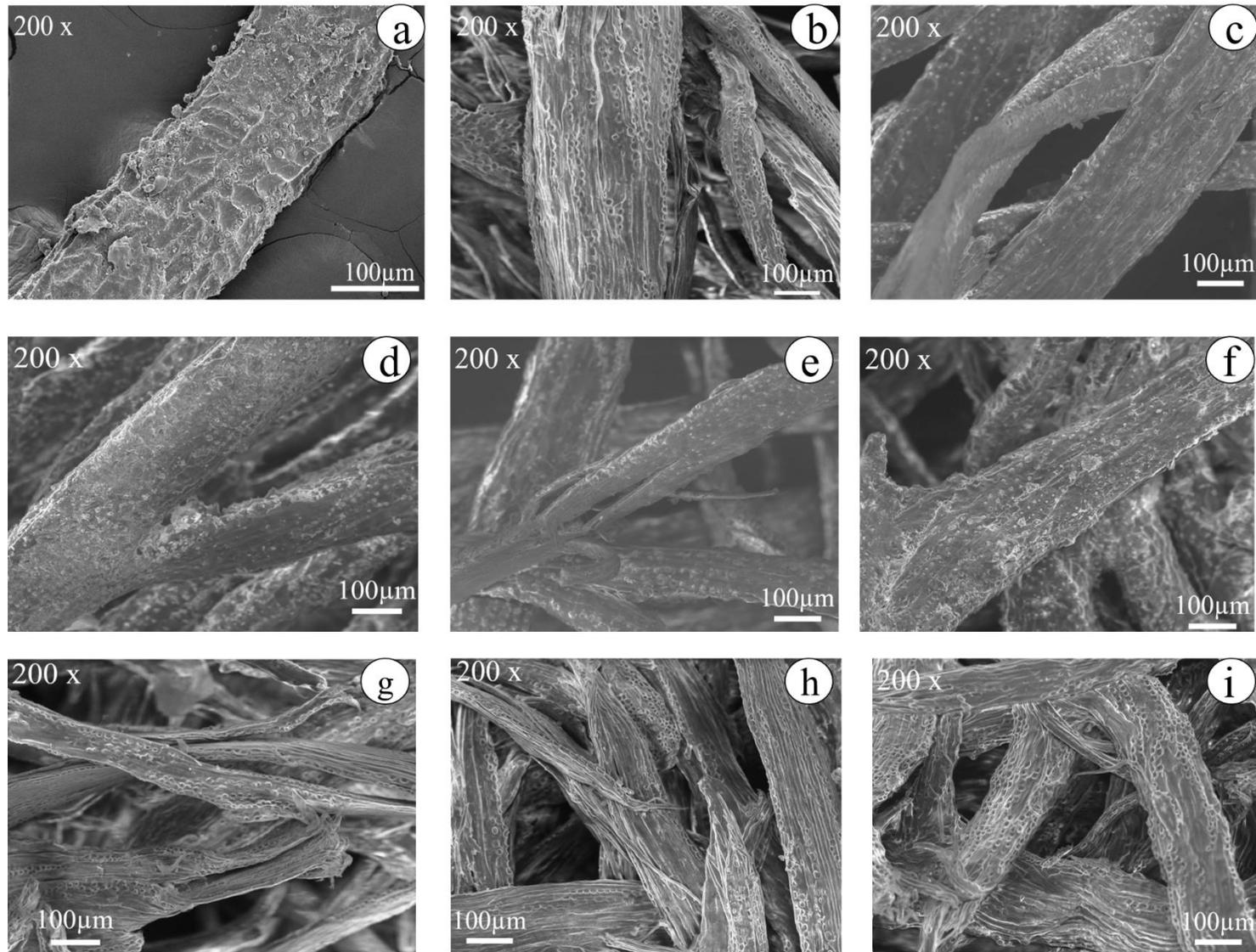


Figura 9- Micrografias de MEV das fibras do mesocarpo do açaí: a) *in natura*; b) AF; c) AQ; d) T180; e) T200; f) T220; g) A2; h) A2B; e i) A2B2.

Durante o tratamento alcalino, as hemiceluloses são facilmente hidrolisadas e removidas, já para a lignina espera-se uma degradação parcial (BUFALINO et al., 2015). Quando isto ocorre, esses componentes são removidos das superfícies das fibras tornando-as mais rugosas. Como pode ser visto nas Figuras 9h e 9i, o branqueamento resultou em desfibrilação parcial e abertura de feixes de fibras. Verificou-se também que a eliminação da camada superficial foi capaz de aumentar a área de contato, pois as fibras ficaram mais expostas. A remoção de impurezas superficiais nas fibras vegetais é vantajosa para a adesão fibra-matriz, uma vez que facilita tanto o interligamento mecânico quanto a reação de adesão entre as fases (IZANI et al., 2013). Nos tratamentos A2B e A2B2 é possível observar que parte das fibras teve sua morfologia degradada.

Os tratamentos das fibras do mesocarpo do açaí ocasionaram mudanças nas suas propriedades térmicas em relação a condição *in natura*, conforme demonstrado nas curvas de TG e DTG (Figura 10 e 11).

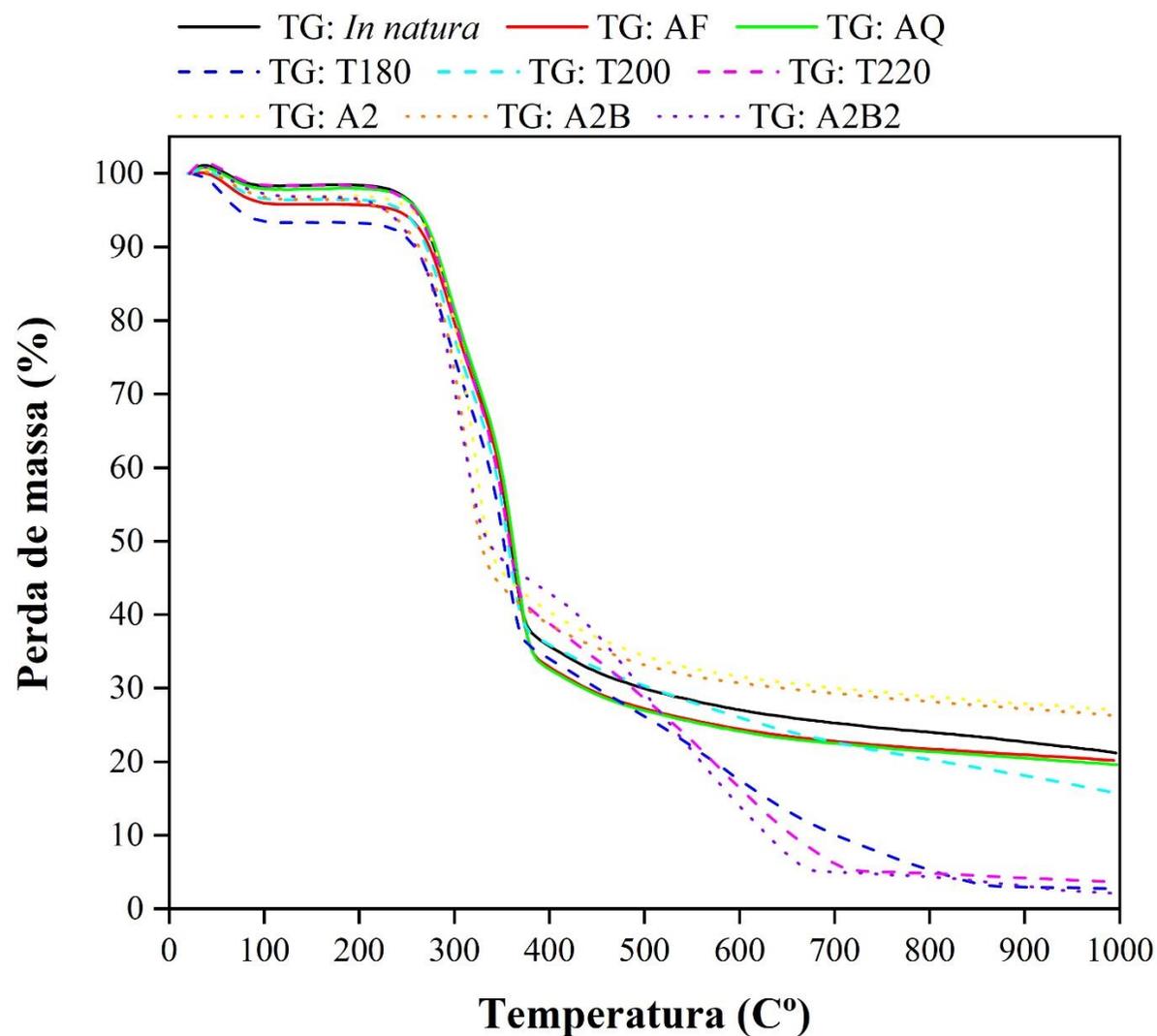


Figura 10- Curvas de TG das fibras *In natura*: sem tratamento; AF: Fibras tratadas com água fria; AQ: Fibras tratadas com água quente; T180: Fibras tratadas em mufla a 180°C; T200: Fibras tratadas em mufla a 200°C; T220: Fibras tratadas em mufla a 220°C; A2: fibras modificadas por tratamento alcalino duas vezes; A2B: fibras modificadas por tratamento alcalino duas vezes e branqueamento; e A2B2: fibras modificadas por tratamento alcalino duas vezes seguidos de branqueamento por duas vezes.

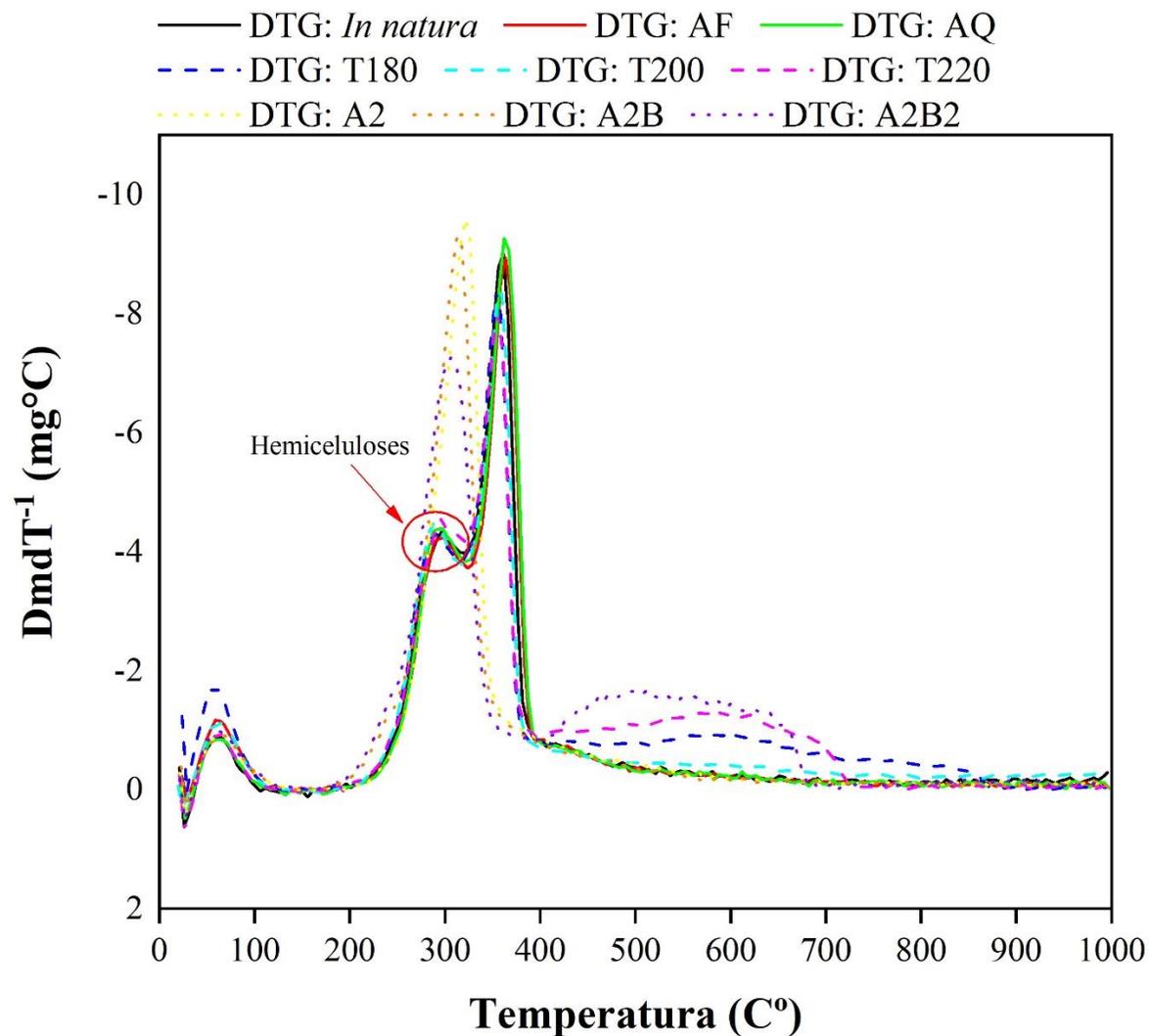


Figura 11- Curvas de DTG das fibras *In natura*: sem tratamento; AF: Fibras tratadas com água fria; AQ: Fibras tratadas com água quente; T180: Fibras tratadas em mufla a 180°C; T200: Fibras tratadas em mufla a 200°C; T220: Fibras tratadas em mufla a 220°C; A2: fibras modificadas por tratamento alcalino duas vezes; A2B: fibras modificadas por tratamento alcalino duas vezes e branqueamento; e A2B2: fibras modificadas por tratamento alcalino duas vezes seguidos de branqueamento por duas vezes.

É possível observar que depois de determinado aumento de temperatura (258 a 281°C), as amostras atingem a temperatura de início de degradação, ou seja, de degradação irreversível da biomassa que pode ser considerada a temperatura máxima de trabalho para processamento de materiais lignocelulósicos (SENA NETO et al., 2013). Todos os tratamentos resultaram diferenças nessa temperatura de degradação inicial se comparados ao *in natura* (Tabela 4). Nas análises de TG, entre 30°C e 100°C ocorreu a perda de massa referente a umidade presente nas amostras. A segunda etapa do processo, que ocorreu aproximadamente no intervalo entre 200°C e 900°C, é atribuída principalmente à despolimerização (quebra das ligações glicosídicas) e degradação da celulose (YOSOMIYA et al., 1989).

Embora exista uma variedade na composição das hemiceluloses, as análises de TG desses constituintes mostram que sua conversão ocorre principalmente na faixa de temperatura de 200 a 350°C (LV; WU, 2012; WIDYAWATI et al., 2001; YU et al., 2007; PENG; WU, 2010). Nas análises da DTG é possível observar um pico entre 200°C e 322°C nas amostras *in natura*, AF, AQ, T180, T200 e T220, relativo às hemiceluloses. Nos tratamentos A2, A2B e A2B2, é possível observar o desaparecimento deste pico de hemiceluloses ou que o mesmo tenha diminuído, sugerindo que somente os tratamentos químicos obtiveram sucesso em remover hemiceluloses (Figura 11).

Tabela 4- Parâmetros obtidos das curvas de TG e DTG.

Tratamento	Umidade (%)	Temperatura de degradação inicial (°C)	Resíduo (%)
<i>In natura</i>	1,74	258	21
AF	4,11	258	20
AQ	2,2	264	19,5
T180	6,77	256	2,7
T200	3,65	270	15,8
T220	1,75	258	3,6
A2	3,18	281	27
A2B	3,59	271	26
A2B2	3,18	263	2,1

A principal etapa de degradação térmica da lignina ocorre em uma ampla faixa de temperatura de 200 a 450°C, com uma taxa de decomposição mais alta geralmente compreendida entre 360 e 400°C (WANG et al., 2009; SHEN et al., 2010; MONTEIL-RIVERA et al., 2013), a remoção parcial ou total desses compostos resulta no aumento da temperatura de degradação inicial das fibras tratadas. Os tratamentos A2 e A2B apresentaram maior teor de resíduos, o que possivelmente aconteceu devido a incorporação de produtos químicos pelas fibras.

5.3 Compatibilidade entre cimento e fibras

É possível observar redução da temperatura máxima e de deslocamento da curva nas pastas com fibras em comparação a pasta de cimento e água. Esse efeito ocorre devido ao retardo que as fibras causaram na hidratação no cimento. A fibra *in natura* foi a que causou maior efeito de redução da temperatura máxima de reação do cimento. Os tratamentos AF, AQ, T180, A2, A2B e A2B2 conseguiram as maiores temperaturas de reação quando comparados com fibras *in natura*, sendo as temperaturas máximas alcançadas de 35,42°C, 35,97°C, 35,64°C, 35,63°C, 36,22°C e 36,25°C, respectivamente (Figura 12, 13 e 14).

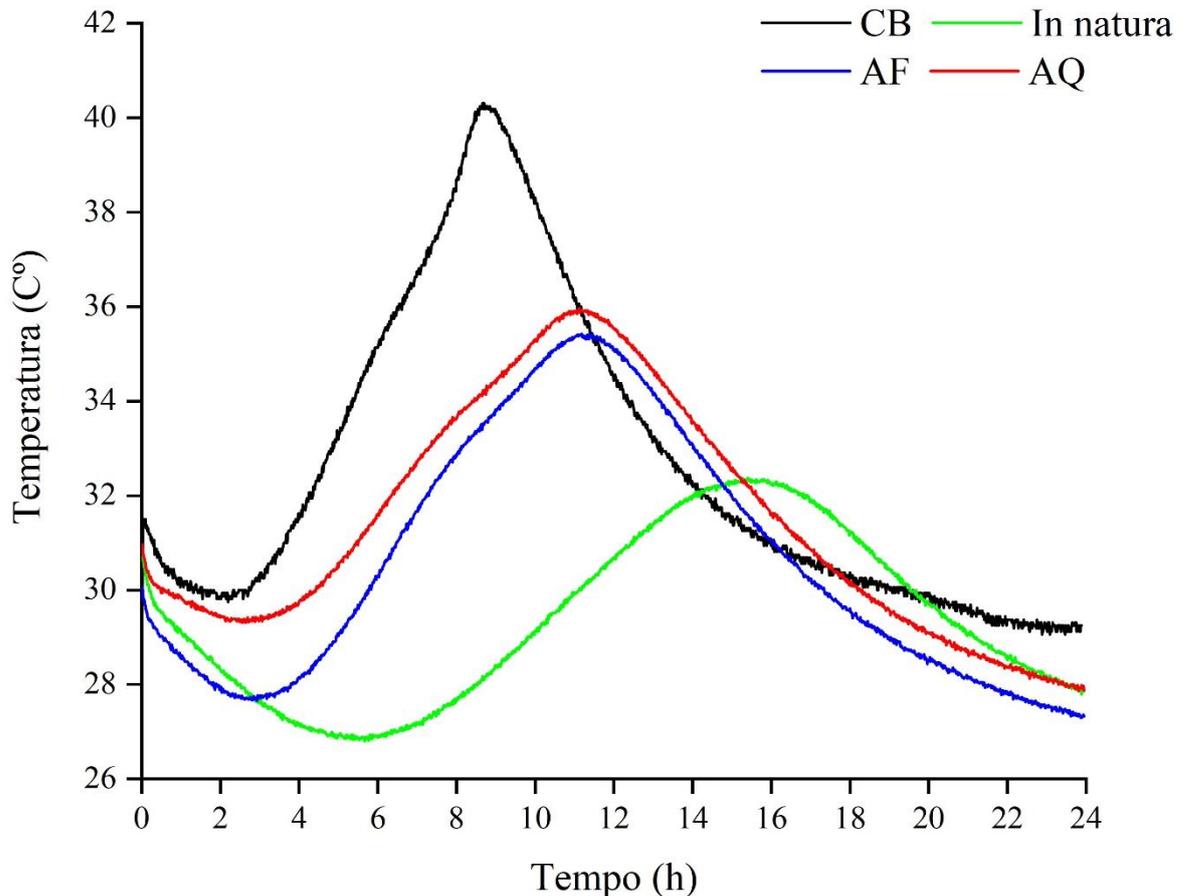


Figura 12 – Curvas de calorimetria das pastas CB: Cimento sem fibras; *In natura*: Fibras sem tratamento; AF: Fibras tratadas com água fria e AQ: Fibras tratadas com água quente.

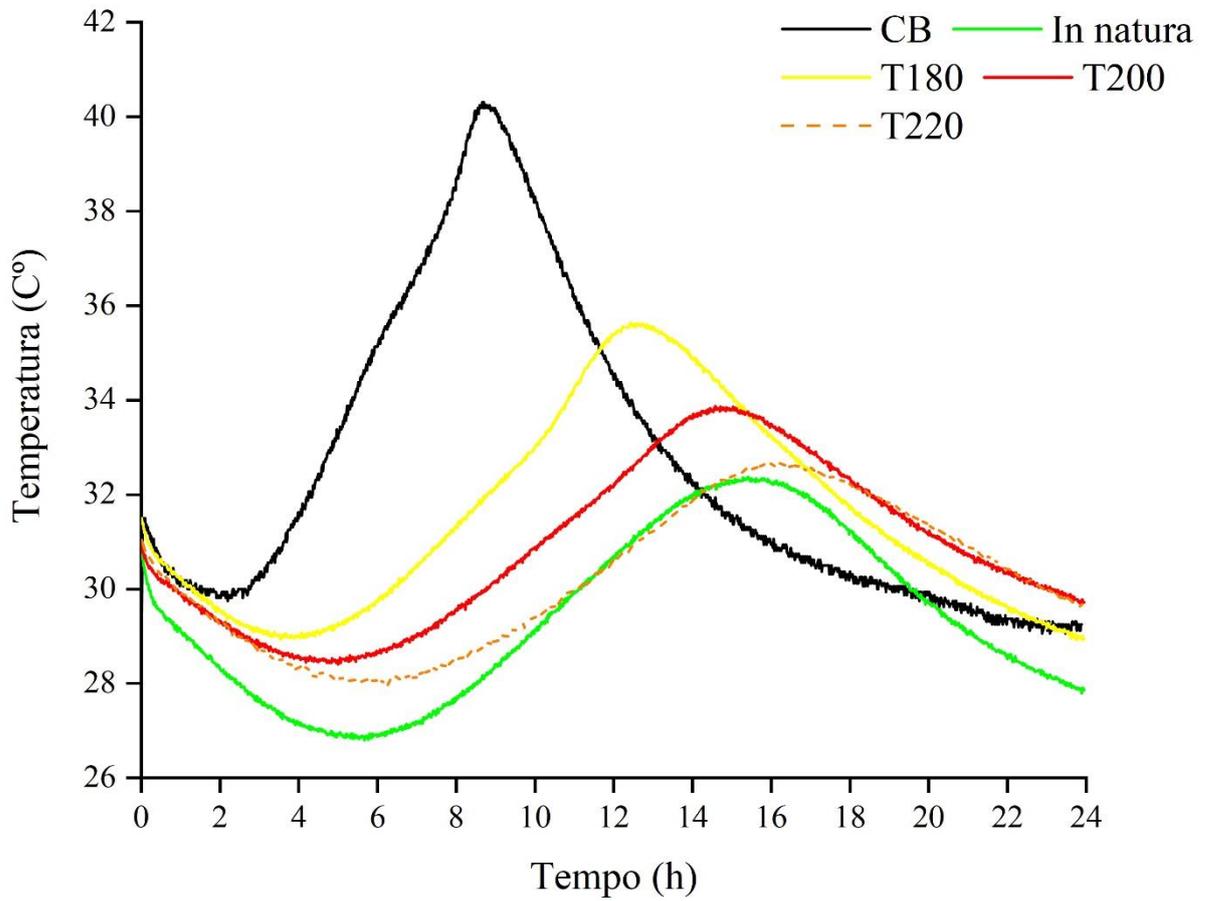


Figura 13 – Curvas de calorimetria das pastas CB: Cimento sem fibras; *In natura*: Fibras sem tratamento; T180: Fibras tratadas em mufla à 180°C; T200: Fibras tratadas em mufla à 200°C e T220: Fibras tratadas em mufla à 220°C.

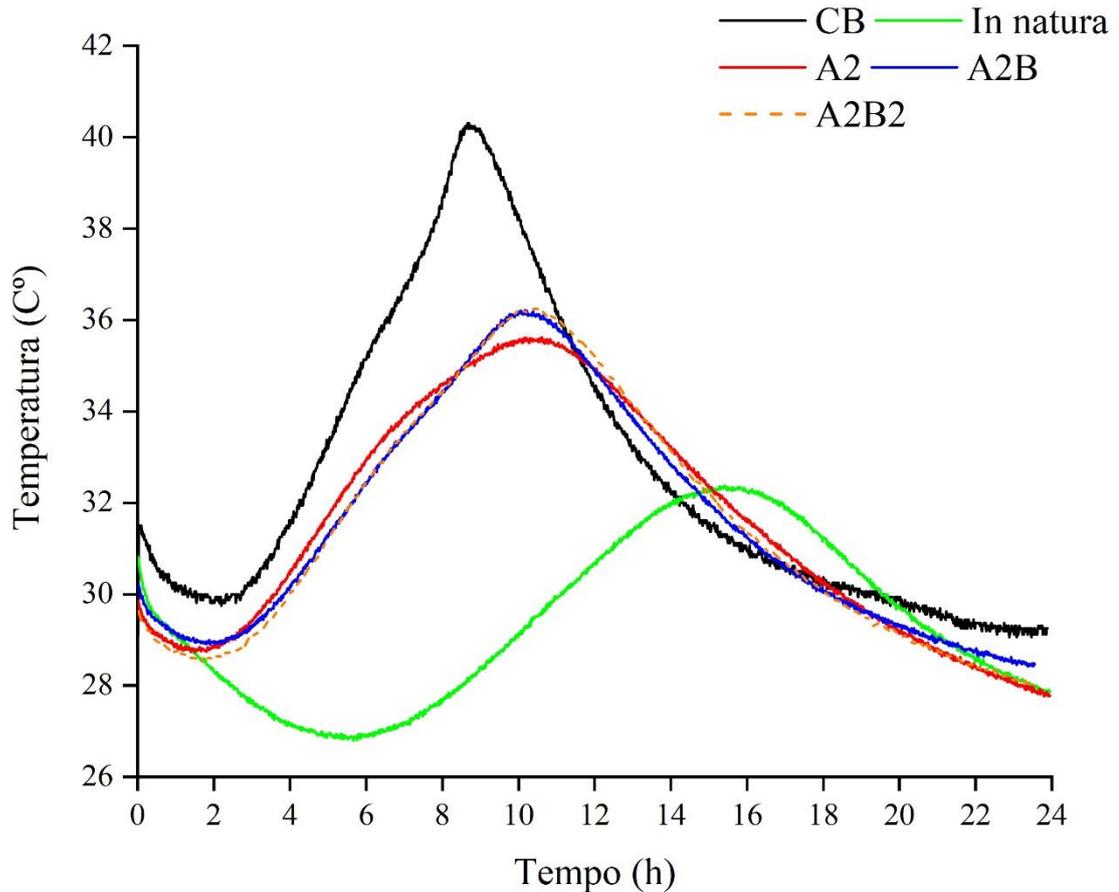


Figura 14 – Curvas de calorimetria das pastas CB: Cimento sem fibras; *In natura*: fibras sem tratamento; A2: fibras modificadas por tratamento alcalino duas vezes; A2B: fibras modificadas por tratamento alcalino duas vezes e branqueamento; e A2B2: fibras modificadas por tratamento alcalino duas vezes seguidos de branqueamento por duas vezes.

A calorimetria isotérmica é um método confiável para averiguar a hidratação do cimento. Essa técnica tem a vantagem de fornecer dados sobre fluxo instantâneo de calor e energia livre global das reações de hidratação (ALBERTO; MOUGEL; ZOULALIAN, 2000). A inibição promovida pelas fibras lignocelulósicas, sobre a reação de hidratação do cimento, é influenciada pelos tipos e teores de extrativos presentes na fibra (NAZERIAN; GOZALI; GHALEHNO 2011). Os efeitos sobre a reação são a redução da temperatura máxima e/ou o aumento do tempo para ser atingida essa temperatura (ODLER, 1998).

O CB (cimento sem fibras) alcançou temperatura máxima de 40,31°C em 8,6 horas. Enquanto que a pasta com fibra *in natura* atingiu temperatura máxima de 32,37°C em 15 horas. A pasta com fibras *in natura* apresentou maior atraso, evidenciado pela temperatura inferior e tempo que levou para alcançar a temperatura máxima da reação. Com exceção das fibras T220, todas as fibras tratadas tiveram temperatura máxima maior e menor tempo para alcançar essa temperatura, quando comparadas com a pasta de fibras *in natura*. Todas as pastas tiveram tempo

para alcançar a temperatura máxima maior e temperatura máxima menor quando comparadas com CB (Tabela 5).

Tabela 5- Parâmetros obtidos das curvas de calorimetria.

Tratamento	Tempo para alcançar temperatura máxima (h)	Temperatura máxima (C°)	Varição de temperatura (C°/h)	Inibição da cura (%)
CB	8,67	40,31	2,73	----
<i>In natura</i>	15,42	32,37	2,45	1,55
AF	11,18	35,42	2,55	0,23
AQ	11,12	35,97	2,62	0,12
T180	12,43	35,64	2,63	0,18
T200	14,58	33,87	2,57	0,62
T220	15,82	32,69	2,52	1,18
A2	10,62	35,63	2,63	0,09
A2B	10,17	36,22	2,68	0,03
A2B2	10,42	36,25	2,68	0,04

Todos os tratamentos foram efetivos em reduzir o índice de inibição no cimento. A fibra A2B foi a que obteve melhor resultado. De acordo com a classificação de Teixeira et al. (2001), todas as condições de fibra apresentam baixo índice de inibição para cura do cimento. Dessa forma, os resultados das pastas com fibras apontam para seu potencial uso para confecção de painéis de fibra-cimento em todas as condições. Entretanto, o baixo rendimento em relação à quantidade de fibras e soluções utilizadas nos tratamentos químicos encareceriam a produção dos compósitos, já que a quantidade de fibra resultante do processo é muito baixa. Embora os tratamentos melhorarem a fibra *in natura*, ainda assim, a fibra apresenta baixo teor de inibição.

A análise de raios-X das pastas permitiu o monitoramento das reações de hidratação do cimento, por meio da evolução da intensidade dos picos para cada fase. O esperado era que os picos correspondentes a fase gipsum (G) presente no cimento Portland diminuam em intensidade com o passar do tempo, enquanto os picos correspondentes ao produto da reação, portlandita (P) e etringita (E), apareçam e aumentem de intensidade. Este efeito foi observado para as pastas contendo apenas cimento e água (Figura 15 e 16).

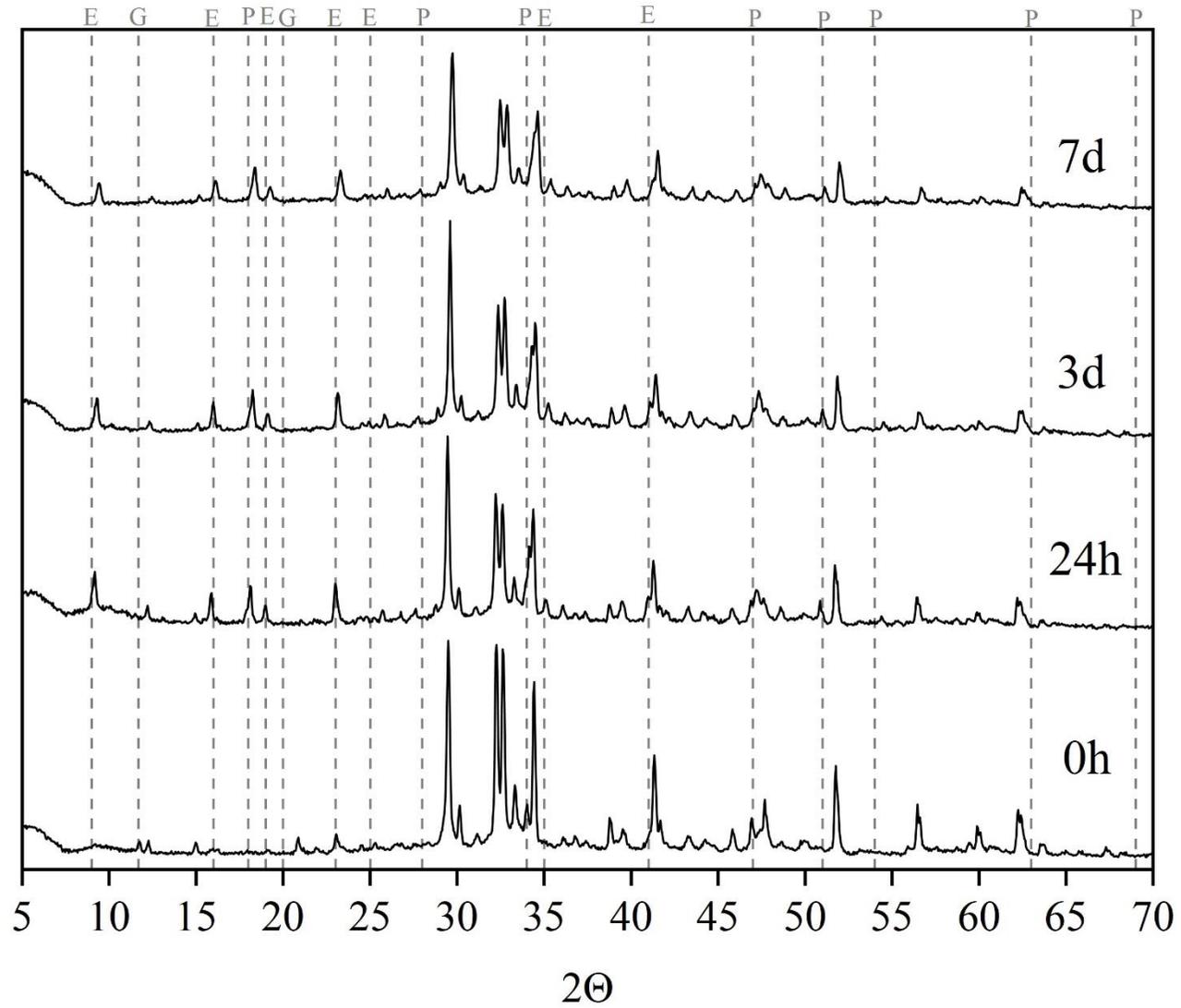


Figura 15 - Difratoqramas da pasta de CB (cimento sem fibras). E: fase etringita; G: fase gipsum e P: fase portlandita.

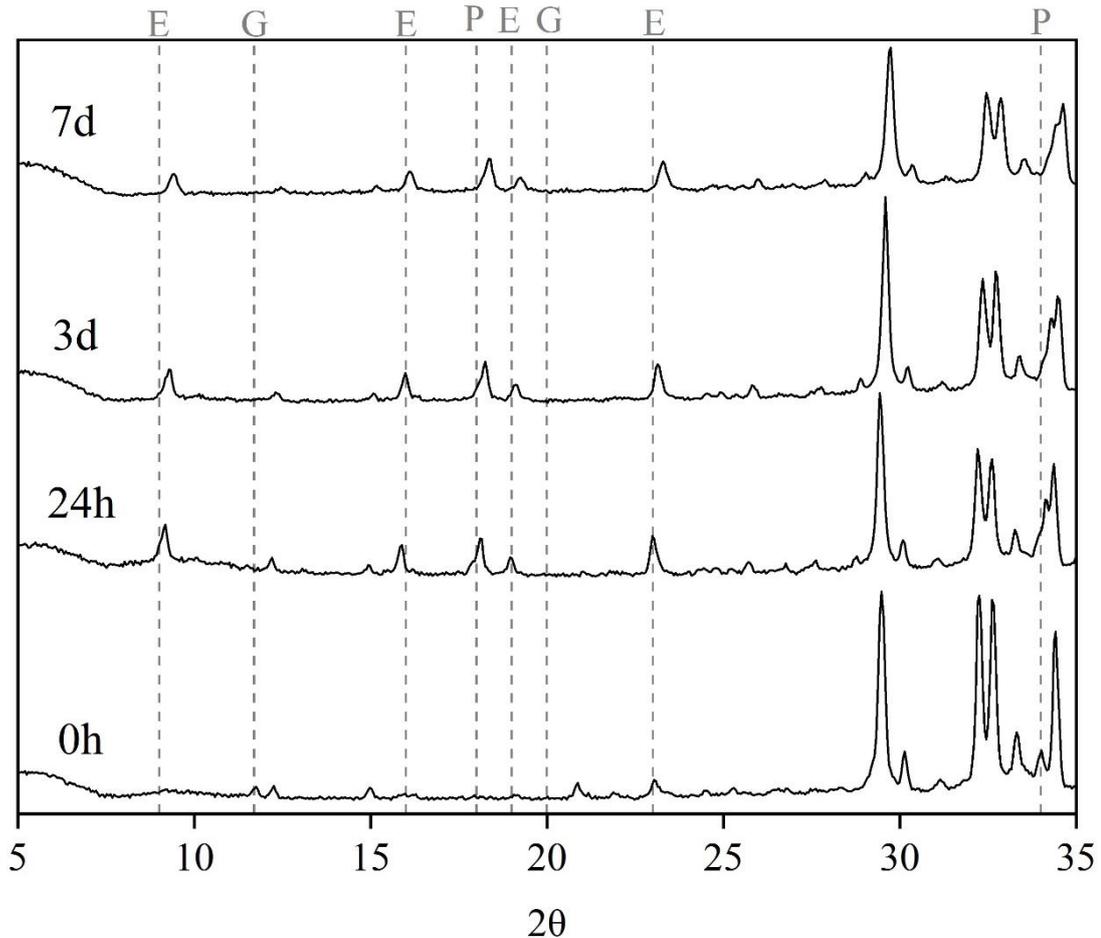


Figura 16 - Difratomogramas da pasta de CB (cimento sem fibras), na faixa de 5° a 35°. E: Fase Etringita; G: Fase Gipsum e P: Fase Portlandita.

No CB a fase gipsum pode ser observada a 0h e sendo consumida nos estágios iniciais da reação de hidratação, evidenciado pelo seu desaparecimento após 24 horas. Após a dissolução do gipsum na solução ocorre a formação de etringita (DANNER et al., 2016; MACIEL et al. 2019; LIU et al., 2017). A fase portlandita e etringita já aparecem a partir de 24 horas, assim como estão presentes em 3 dias e 7 dias (Figura 16).

As fases hidratadas do cimento foram demonstradas nos difratogramas de raios-X das amostras de pasta de cimento com fibras sem tratamento e tratadas, além da pasta contendo as cinzas, nas condições de 0h, 24h, 3 dias e 7 dias (Figuras 17 a 26).

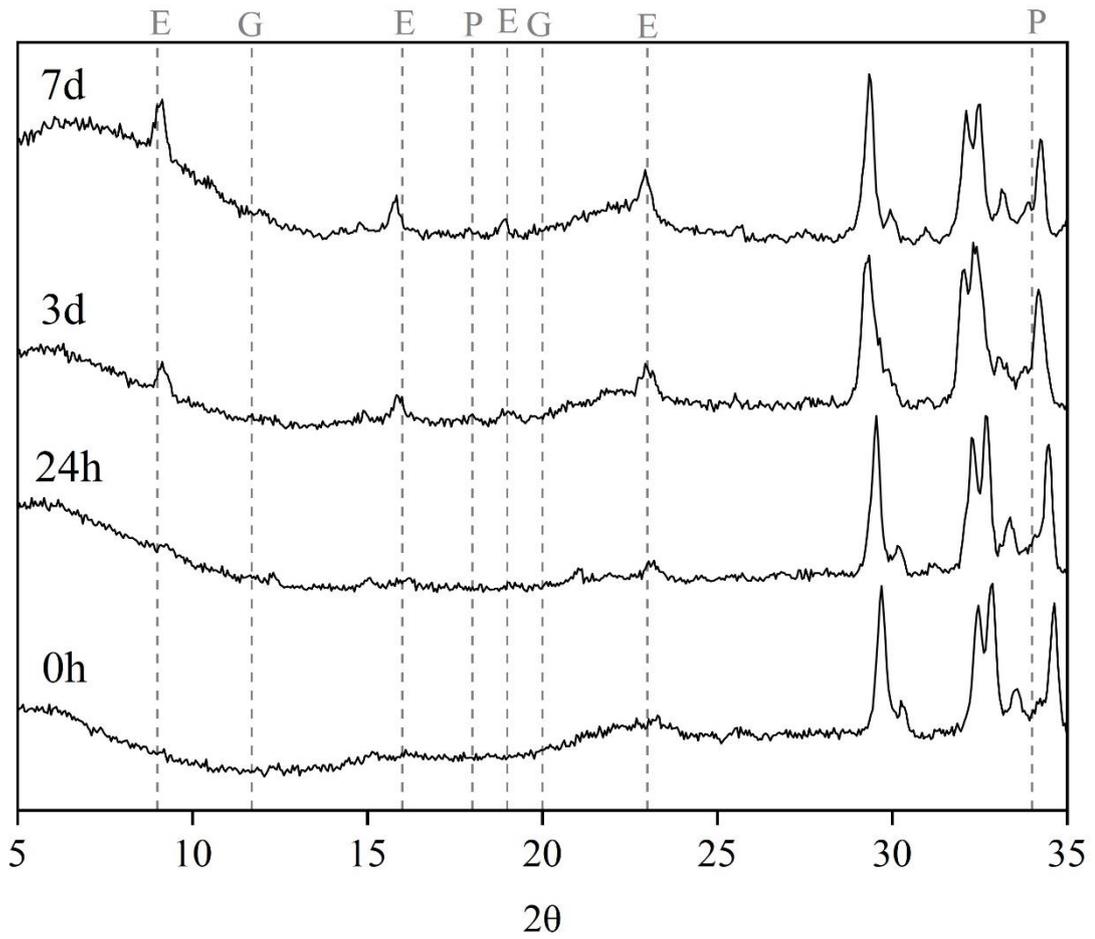


Figura 17 - Difratoogramas da pasta de cimento com fibras *in natura*. E: fase etringita; G: fase gipsum e P: fase portlandita.

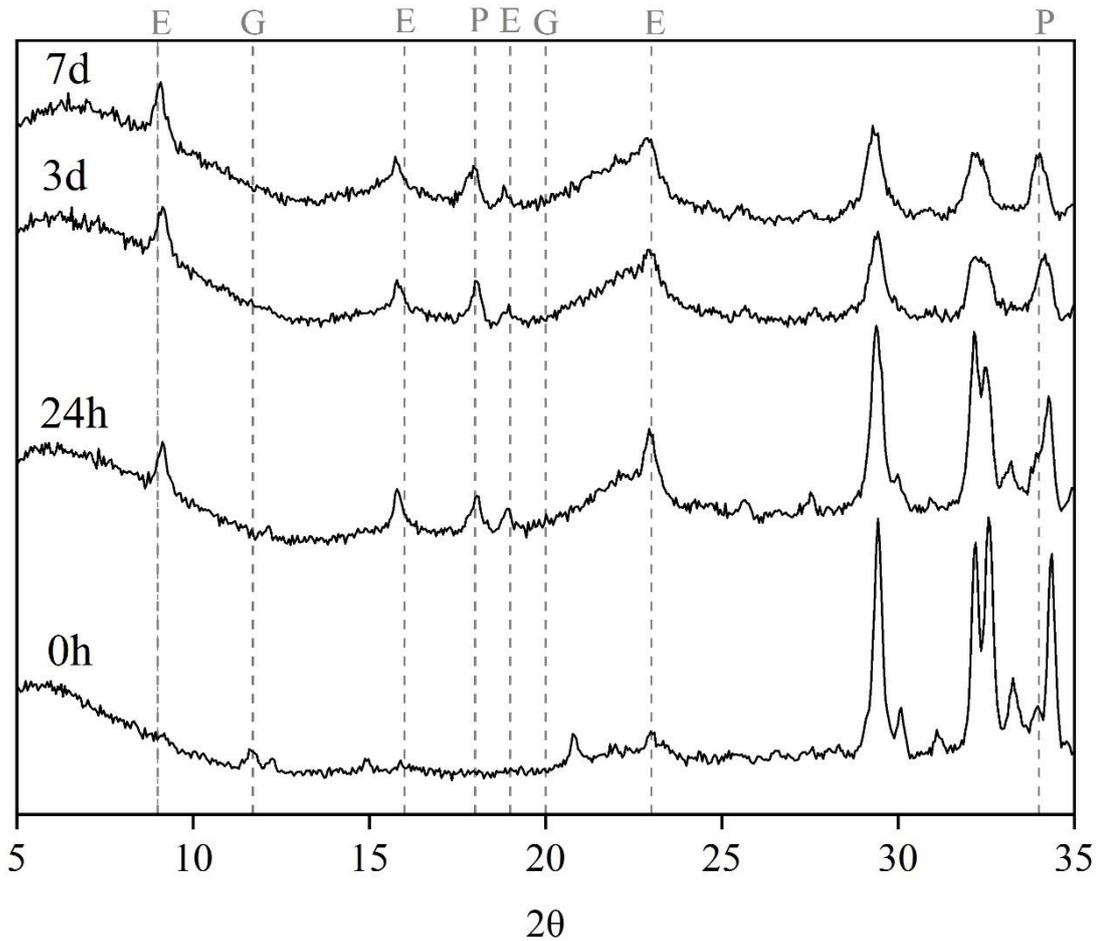


Figura 18 - Difratoogramas da pasta de cimento com fibras AQ (Tratamento em Água Quente). E: fase etringita; G: fase gipsium e P: fase portlandita.

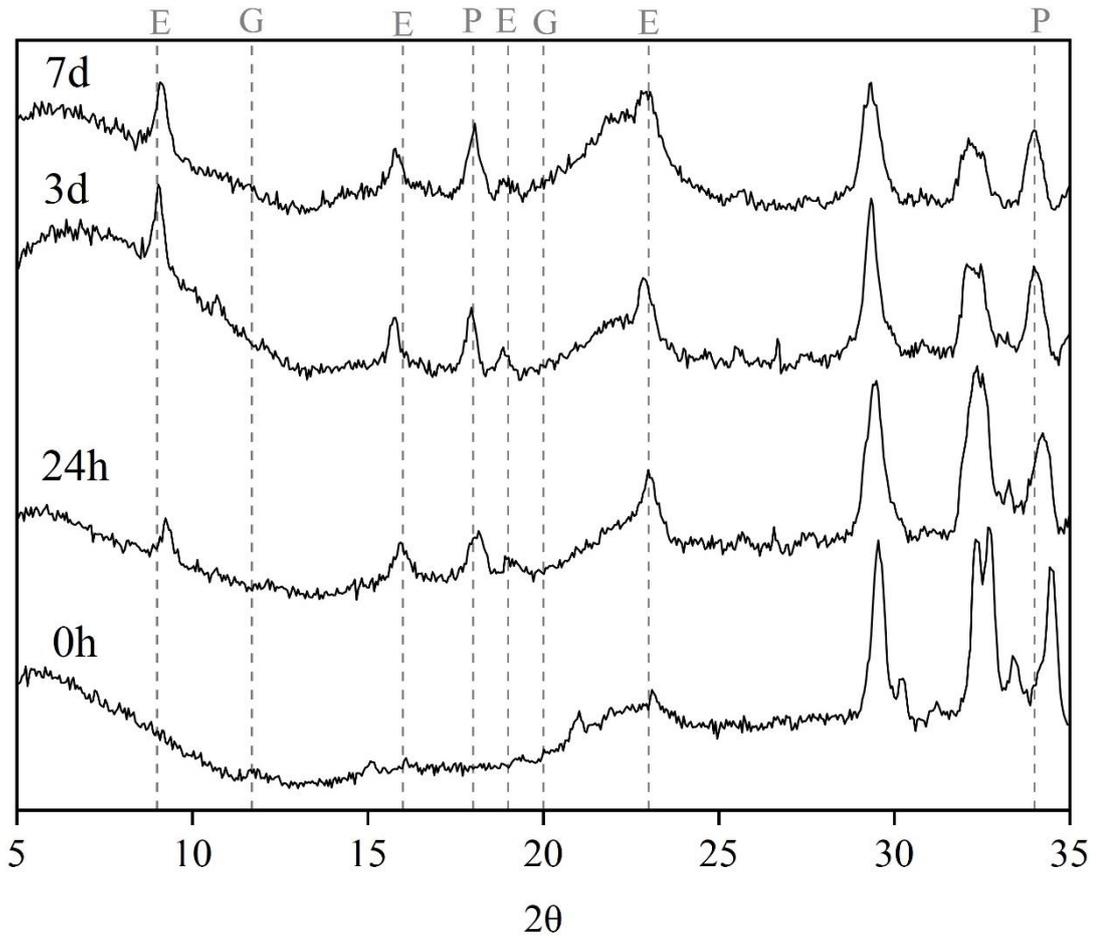


Figura 19 - Difratoogramas da pasta de cimento com fibras AF (Tratamento em Água Fria). E: fase etringita; G: fase gipsum e P: fase portlandita.

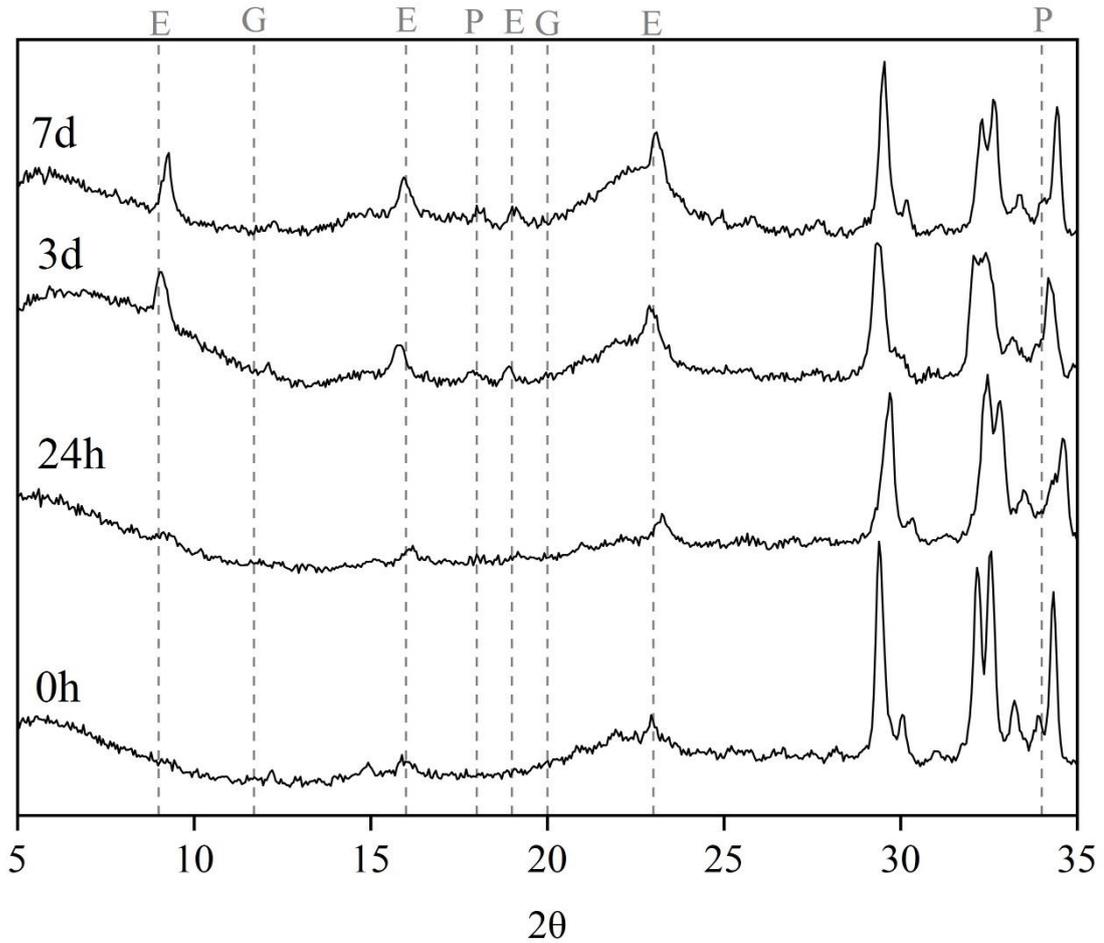


Figura 20 - Difratoogramas da pasta de cimento com fibras T180 (Tratamento em mufla à 180°C). E: fase etringita; G: fase gipsium e P: fase portlandita.

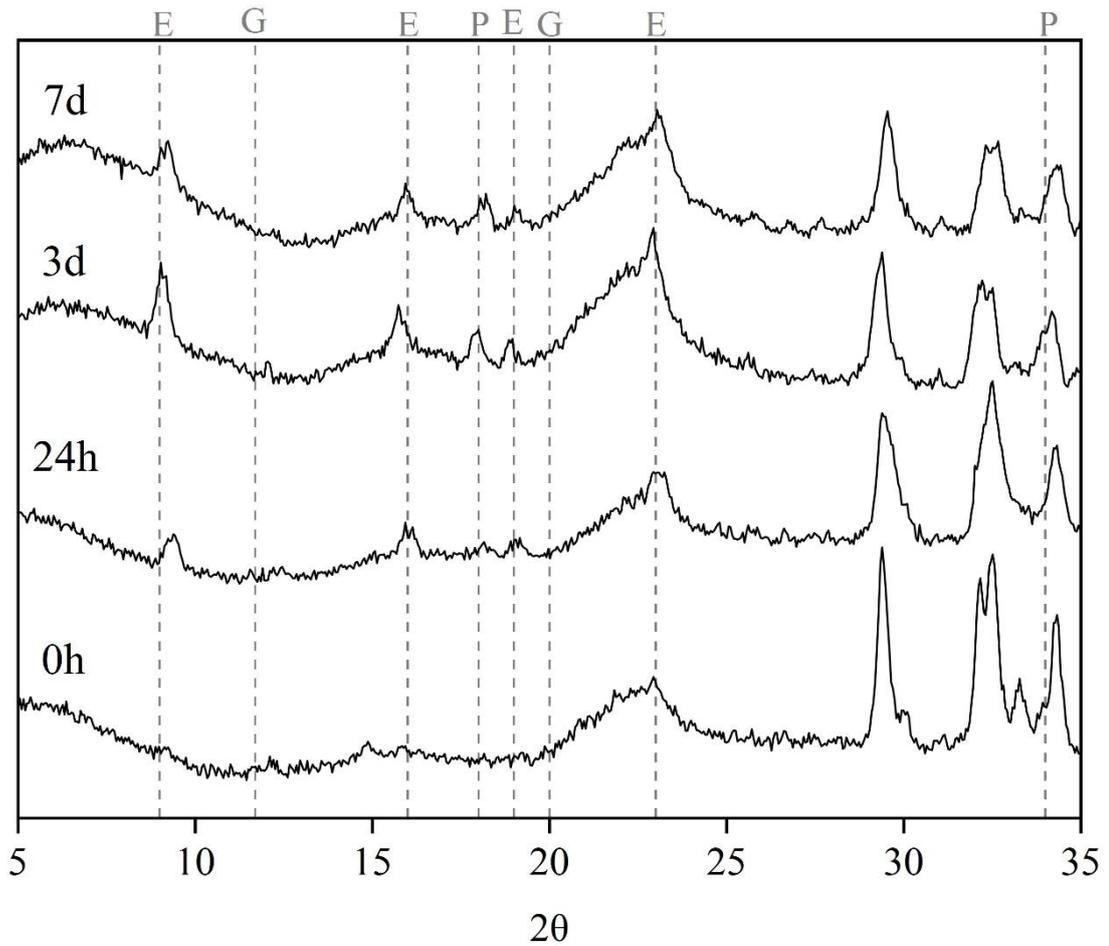


Figura 21 - Difratoogramas da pasta de cimento com fibras T200 (Tratamento em mufla à 200°C). E: fase etringita; G: fase gipsum e P: fase portlandita.

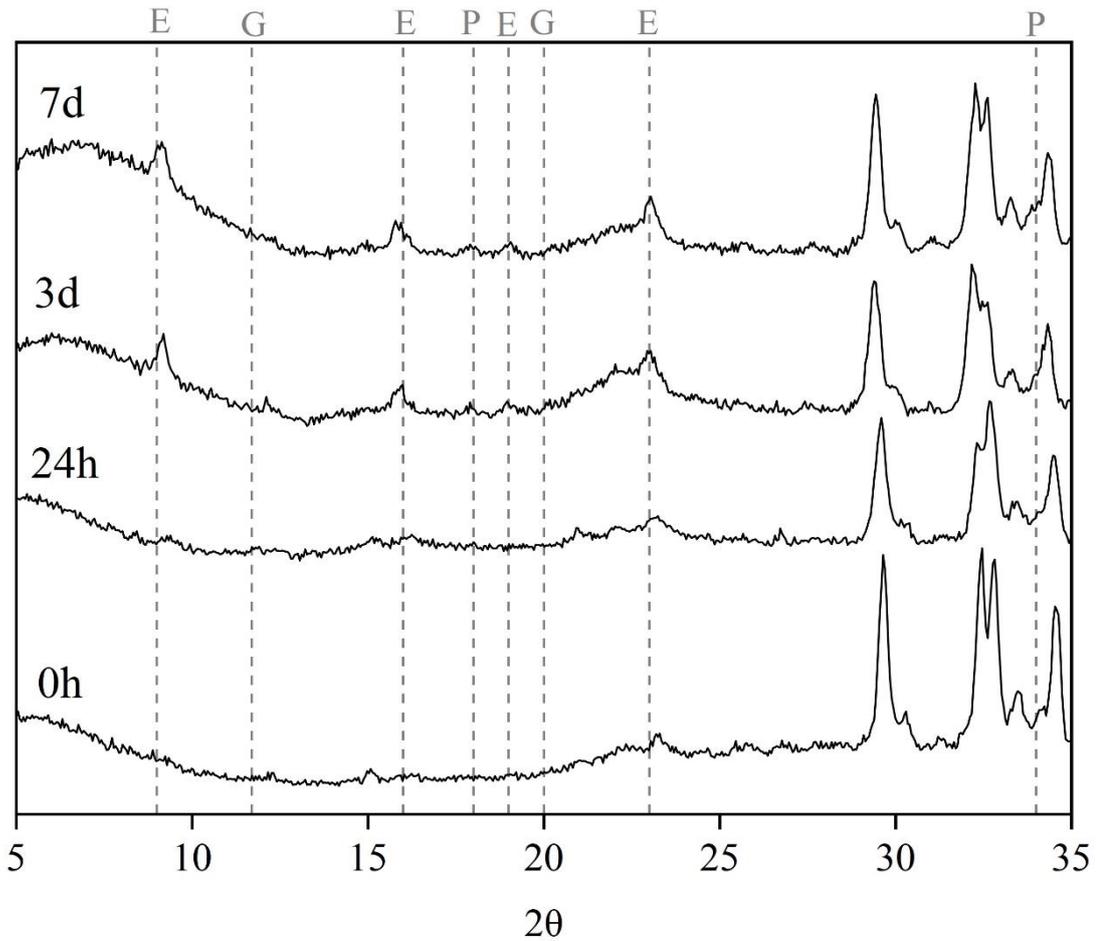


Figura 22 - Difratoogramas da pasta de cimento com fibras T220 (Tratamento em mufla à 220°C). E: fase etringita; G: fase gipsium e P: fase portlandita.

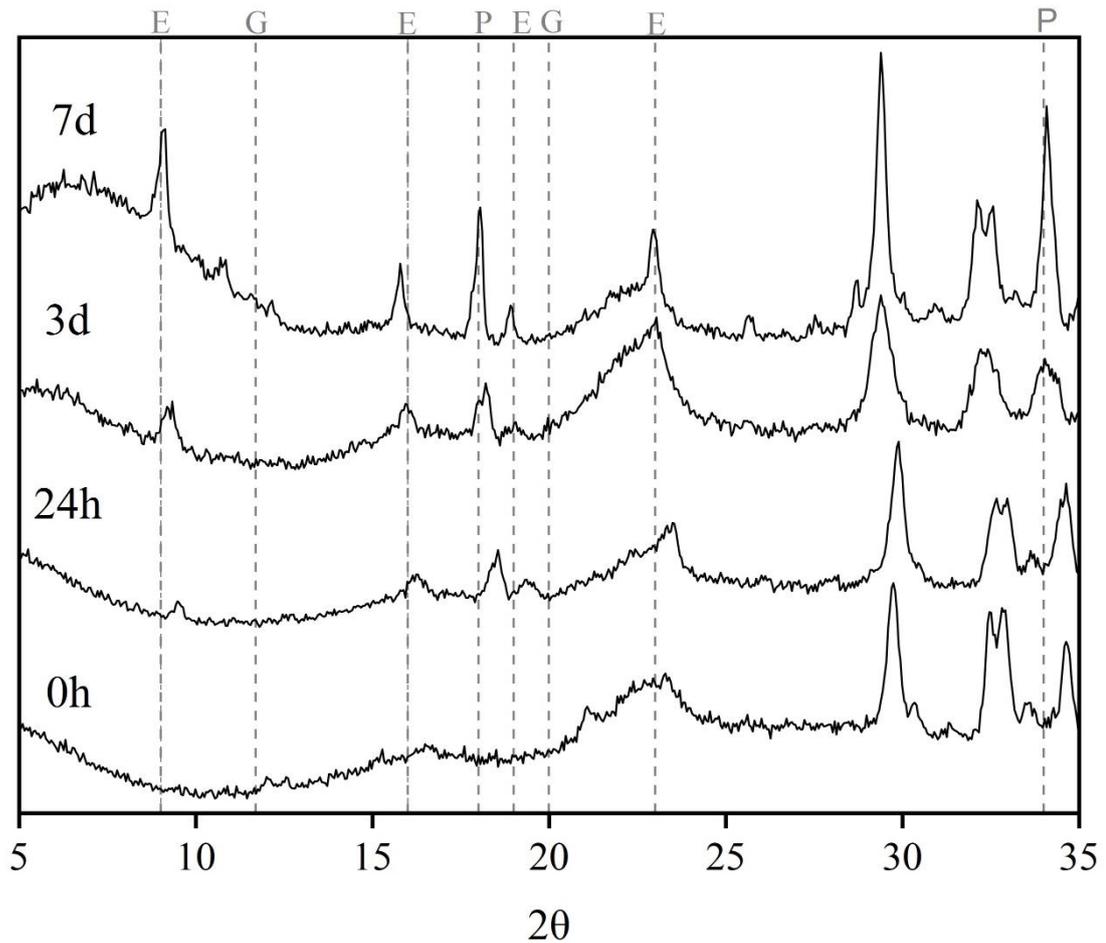


Figura 23 - Difrátogramas da pasta de cimento com fibras A2 (Tratamento Alcalino duas vezes). E: fase etringita; G: fase gipsum e P: fase portlandita.

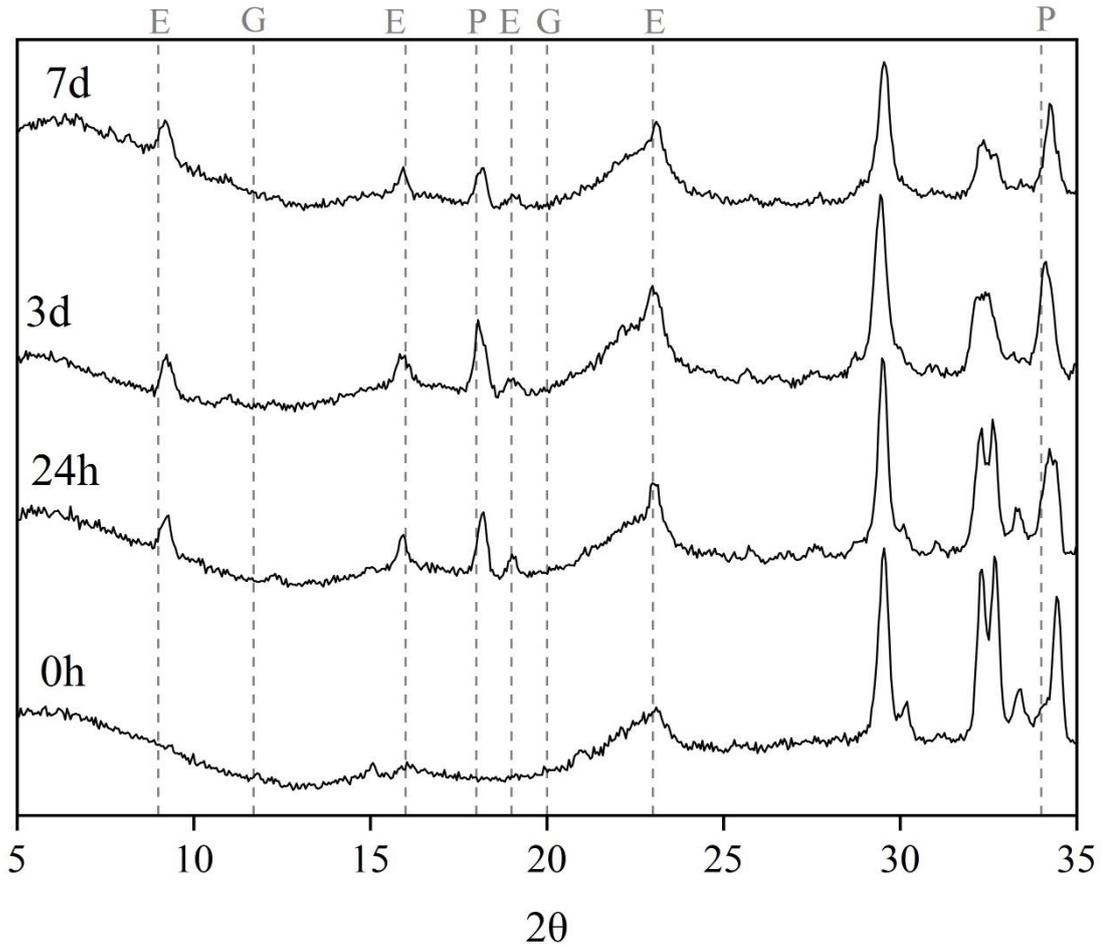


Figura 24 - Difratoogramas da pasta de cimento com fibras A2B (Tratamento Alcalino duas vezes e Branqueamento). E: fase etringita; G: fase gipsum e P: fase portlandita.

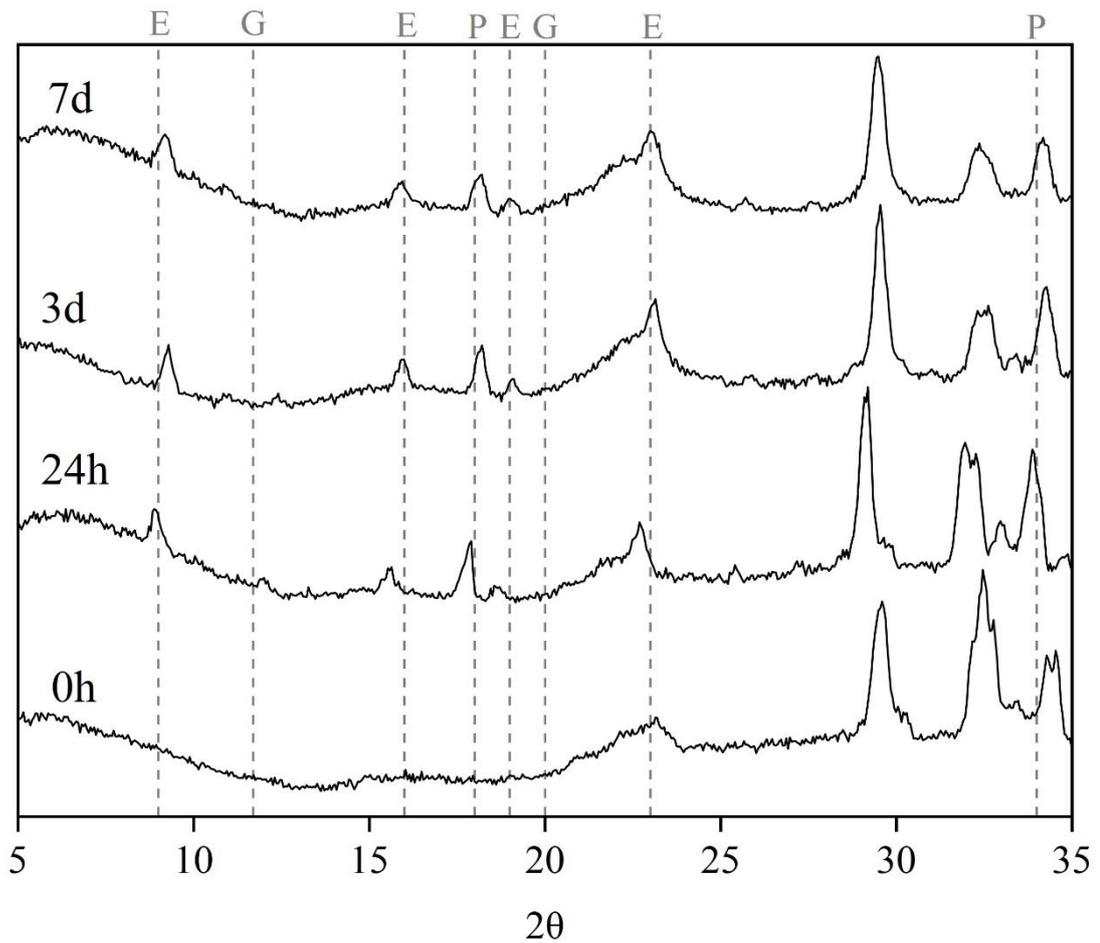


Figura 25 - Difrátogramas da pasta de cimento com fibras A2B2 (Tratamento Alcalino duas vezes e Branqueamento duas vezes). E: fase etringita; G: fase gipsum e P: fase portlandita.

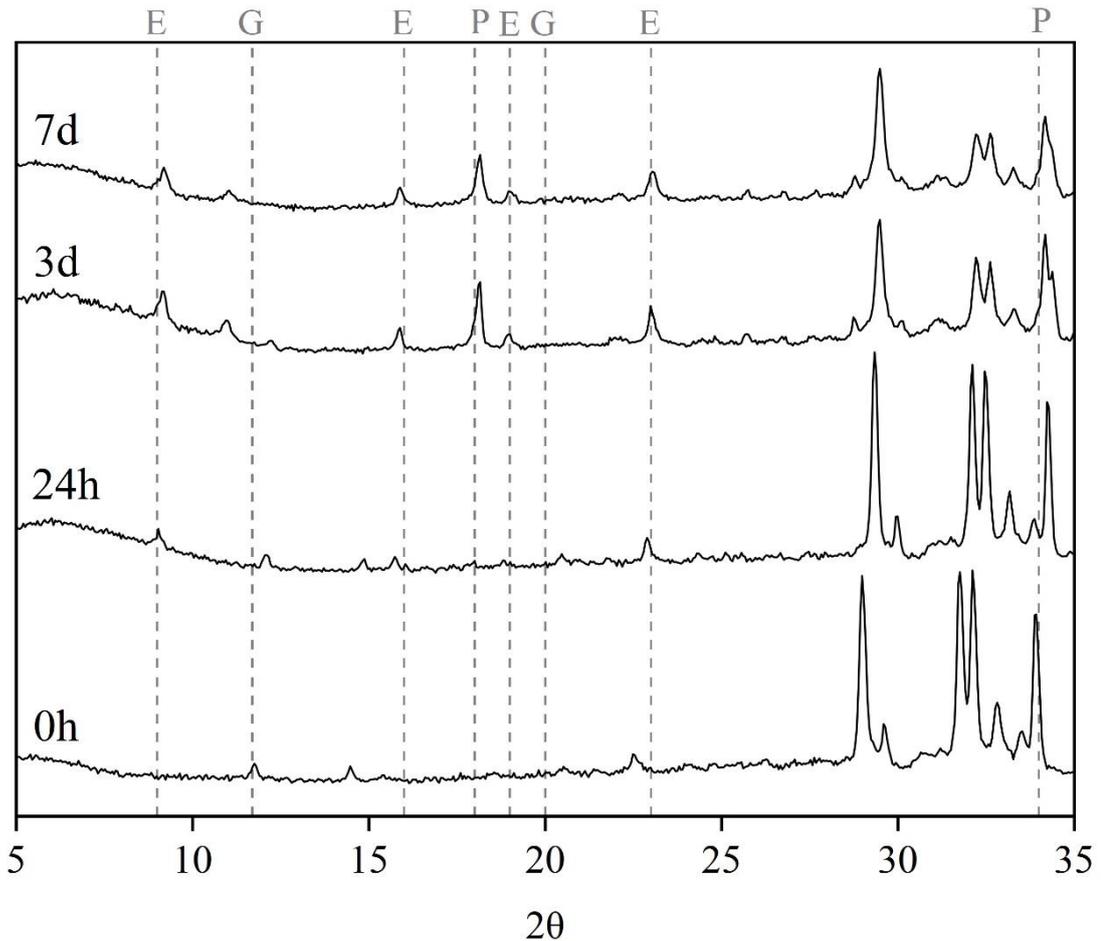


Figura 26 - Difratomogramas da pasta de cimento com cinzas da fibra *in natura*. E: Fase Etringita; G: Fase Gypsum e P: Fase Portlandita.

Na pasta contendo fibras *in natura*, a fase gipsium está presente em 0h, não aparecendo após 24h. Após 24h, a fase Portlandita ainda não se formou, entretanto, a fase etringita está presente. Em 3 dias já foi observado aparecimento da fase portlandita. As intensidades dos picos são inferiores quando comparados com CB.

Nas pastas contendo fibras nas condições AQ, AF, T180, T200, T220, A2, A2B e A2B2 foi observado comportamento similar, apresentando normalmente a formação das fases. A fase gipsium está presente em 0h, não aparecendo após 24h em todas estas condições. Após 24h, as fases portlandita e etringita estão presentes, assim como em 3 dias e 7 dias. A pasta de cinzas/cimento não apresentou efeito de retardo da hidratação do cimento e observou-se normalmente a formação das fases etringita e portlandita.

Sabe-se que portlandita precipita sobre a fibra durante a hidratação do cimento (ARDANUY et al., 2011). A grande quantidade de portlandita degrada as cadeias moleculares da celulose e

reduz seu grau de polimerização pela cristalização desta fase em suas cavidades, que por sua vez reduz sua flexibilidade e resistência (WEI; MEYER, 2015).

Todas as fases tiveram picos inferiores quando comparadas com o CB. As pastas com material lignocelulósico geralmente reagem de forma mais lenta (PEREIRA et al., 2006), fazendo com que fases etringita e portlandita não sejam formadas da mesma forma que ocorre no CB. A pasta *in natura* foi a única que apresentou atraso na formação da fase portlandita, entretanto, foi a que apresentou maiores picos das fases etringita e portlandita. As fibras lignocelulósicas absorvem íons Ca^{2+} resultante da hidratação do cimento e sofrem mineralização, enrijecendo-se (ARDANY et al., 2011). No ambiente alcalino do cimento, a lignina, presente em materiais lignocelulósicos, pode absorver íons Ca^{2+} impedindo formação de portlandita (KOCHOVA et al., 2017). Esse efeito não foi observado em nenhuma das pastas com fibras. As fibras não causaram impedimento total na formação das fases hidratadas do cimento, corroborando com análise de calorimetria que indica baixa inibição das fibras no cimento.

As resistências à compressão axial dos corpos de prova com fibras foram inferiores ao CB, tanto em 7 dias quanto em 28 dias. Após cura 7 e 28 dias de cura, os cilindros contendo fibras em qualquer condição apresentaram diferenças significativas comparadas com CB. Entretanto, a diferença entre os tratamentos contendo fibras após 7 dias não foi significativa a 0,05. Já após 28 dias, os cilindros com fibras *in natura* resultaram em diferença significativa quando comparados aos tratamentos AQ, AF, T200, A2B e A2B2. O tratamento A2 possui diferença significativa quando comparado com o A2B (Figuras 27 e 28).

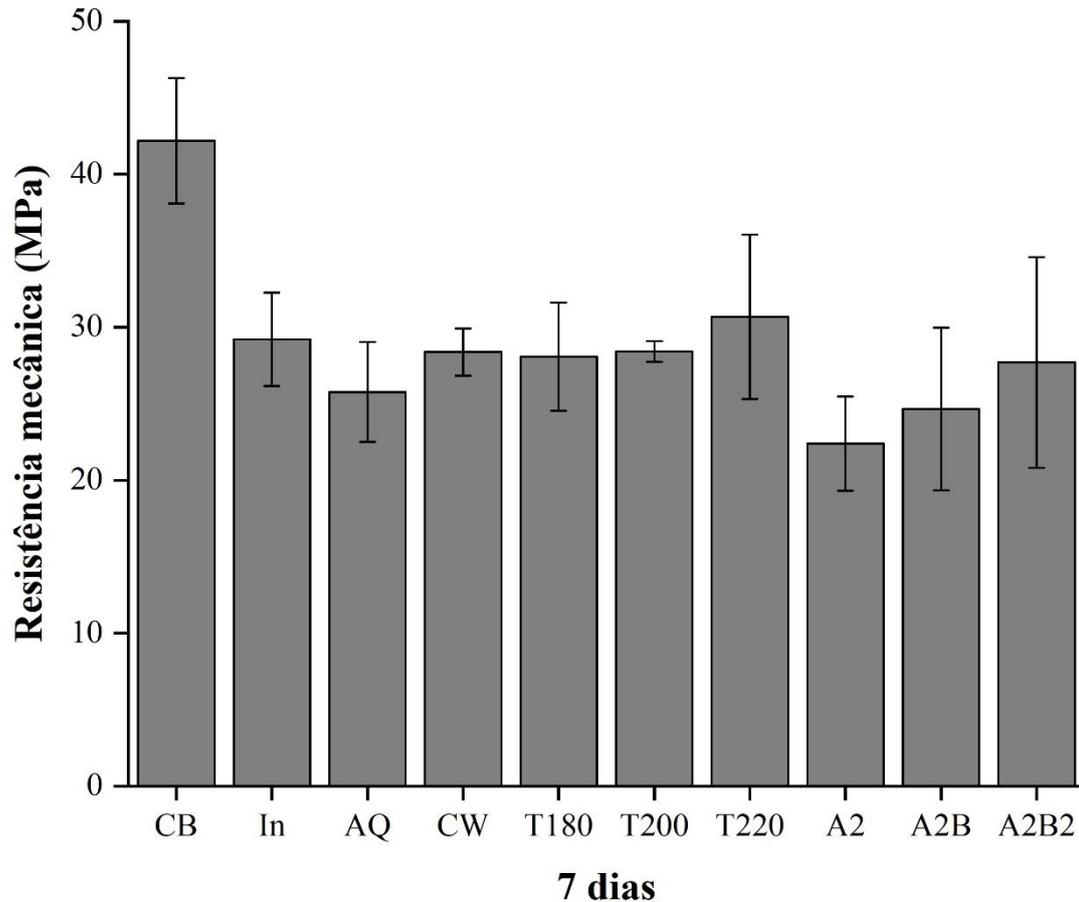


Figura 27 – Ensaio de compressão axial em corpos de prova com 7 dias de cura. CB: Cimento sem fibras; In: Fibras sem tratamento; AF: Fibras tratadas com água fria; AQ: Fibras tratadas com água quente; T180: Fibras tratadas em mufla à 180°C; T200: Fibras tratadas em mufla à 200°C; T220: Fibras tratadas em mufla à 220°C; A2: fibras modificadas por tratamento alcalino duas vezes; A2B: fibras modificadas por tratamento alcalino duas vezes e branqueamento; e A2B2: fibras modificadas por tratamento alcalino duas vezes seguidos de branqueamento por duas vezes.

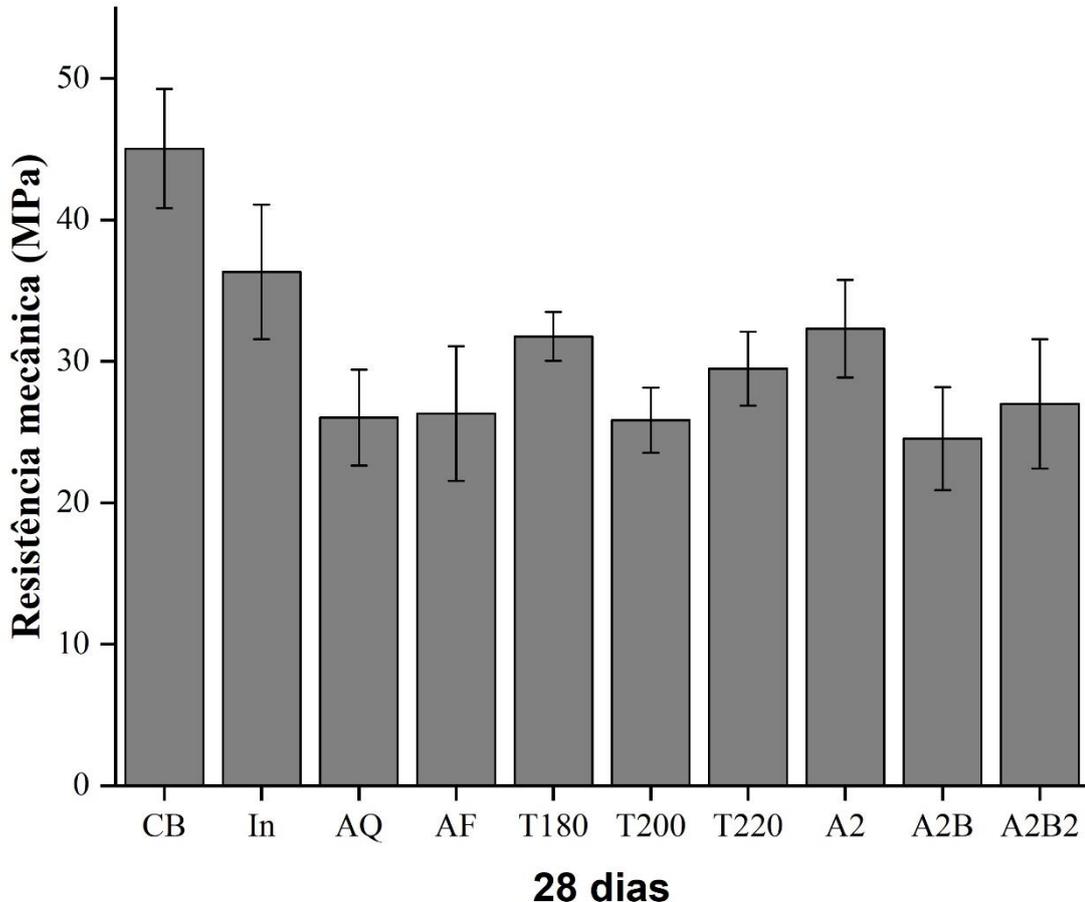


Figura 28 – Ensaio de compressão axial em corpos de prova com 28 dias de cura. CB: Cimento sem fibras; In: Fibras sem tratamento; AF: Fibras tratadas com água fria; AQ: Fibras tratadas com água quente; T180: Fibras tratadas em mufla à 180°C; T200: Fibras tratadas em mufla à 200°C; T220: Fibras tratadas em mufla à 220°C; A2: fibras modificadas por tratamento alcalino duas vezes; A2B: fibras modificadas por tratamento alcalino duas vezes e branqueamento; e A2B2: fibras modificadas por tratamento alcalino duas vezes seguidos de branqueamento por duas vezes.

A queda na resistência à compressão quando fibras são adicionadas ao cimento pode ser atribuída à taxa de absorção de água das fibras, superior a 80%, inibindo o efeito de parede e produzindo forte fluxo de água na direção da fibra provocando um aumento local da relação água/aglomerante elevando a porosidade na zona de transição entre a fibra e a matriz (SAVASTANO JÚNIOR; AGOPYAN, 1999).

É importante ressaltar que a diminuição da resistência a compressão não representa, necessariamente, um impeditivo para utilização do produto compósito. Considerando o valor mínimo de 34 MPa para o cimento Portland CP-V da NBR-5733 (ABNT, 1991), observa-se que apenas o tratamento *in natura* chegou a esse valor após 28 dias, esse resultado aponta para a possibilidade técnica do uso de fibras do mesocarpo do açaí com cimento Portland CP V sem custo de pré-tratamento.

A evolução do pH das fibras em solução aquosa foi medida para tentar explicar principalmente a ineficiência dos pré-tratamentos químicos em aumentar a compatibilidade entre cimento e fibra. As fibras *in natura*, AQ, AF, T180, T200 e T220 mantiveram o pH do meio na faixa de 5 a 6, enquanto que as fibras tratadas aumentaram estes valores substancialmente (Figura 29).

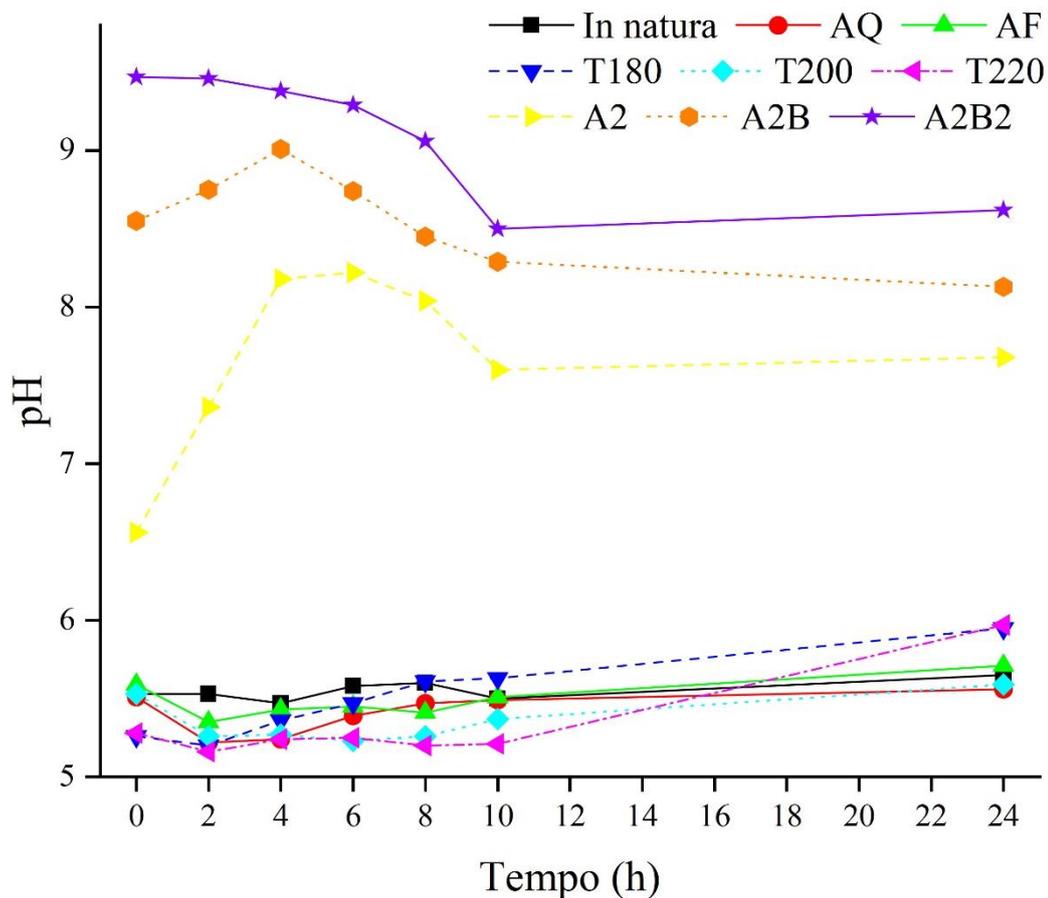


Figura 29 – Medidas de pH das fibras imersas em água deionizada, fibras *In natura*: sem tratamento; AF: Fibras tratadas com água fria; AQ: Fibras tratadas com água quente; T180: Fibras tratadas em mufla a 180°C; T200: Fibras tratadas em mufla a 200°C; T220: Fibras tratadas em mufla a 220°C; A2: fibras modificadas por tratamento alcalino duas vezes; A2B: fibras modificadas por tratamento alcalino duas vezes e branqueamento; e A2B2: fibras modificadas por tratamento alcalino duas vezes seguidos de branqueamento por duas vezes.

Com a remoção de hemiceluloses comprovada na análise TG, o aumento da compatibilidade deveria ter consequentemente ocorrido. Entretanto, verificou-se que, mesmo depois das sucessivas lavagens das fibras após cada tratamento, as fibras tratadas quimicamente mantêm a capacidade alcalinizar o meio.

O efeito dos álcalis na taxa de hidratação e na natureza e na morfologia dos produtos da hidratação influenciam nas propriedades de engenharia do cimento; como tempo de endurecimento, desenvolvimento de resistência, encolhimento e expansão de volume (JAWED; SKALNY, 1978). Isso ocorre porque o nível de pH também tem uma influência muito significativa na deterioração do cimento. Podendo alterar a microestrutura e modificar a composição química das pastas de cimento (DELAGRAVE et al., 1996). Além disso, solutos na água, particularmente NaOH e KOH, reduzem a taxa de fluxo através da pasta, aumentando a viscosidade da água.

5.4 Caracterização física e mecânica dos compósitos

Os painéis CBPB's com fibra do mesocarpo do açai possuem propriedades físicas semelhante às encontradas para painéis comerciais similares, entretanto a resistência mecânica foi inferior (Tabela 6).

Tabela 6-Parâmetros obtidos das análises físicas e mecânicas do compósito em comparação com compósitos comerciais. AA: Absorção Aparente; IE: Inchamento em espessura; MOE; Módulo de elasticidade; MOR: Módulo de ruptura.

Produto	Umidade (%)	AA 2h (%)	AA 24h (%)	IE 2h (%)	IE 24h (%)	Densidade (g/cm ³)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	Autor
CBPB de açai	13,37	13,45	15,72	0,5	1,36	1,23	534,842	1,586	
Bison®	6 a 12%	-	-	≤ 1	≤ 1,5	1,25	≥ 3000	≥ 9	-
Amroc®	-		-	-	≤ 1,5	1	≥ 4500	≥ 9	-
Viroc®	9 a 12%		-	-	≤ 1,5	1,35	≥ 4500	≥ 9	-
Fibras de cavalinha (<i>Equitesium</i> sp.)	-	-	6,07	-	0,78	1,1	3709,56	14,25	NAGHIZAD EH et al., 2012
Bambu (<i>Guadua magna</i>)	10,5	4,33	19,28	1,2	0,92	1,24	3022	7,36	DE ARAÚJO et al., 2011
Fibras de Curauá (<i>Ananas erectifolius</i>) com NaOH	-	4,53	5,07	0,32	0,22	0,36	2047,07	3,55	BILCATI, 2012

O IE 24h e densidade da placa com fibras *in natura* estão próximos dos valores encontrados para placas com padrões internacionais e de outros trabalhos. Entretanto os valores de MOE e MOR estão muito inferiores as placas encontradas. Isso inviabiliza a comercialização internacional deste tipo de compósito. Entretanto, isso não inviabiliza sua utilização local para outras finalidades. Apesar da baixa inibição da fibra no cimento, a resistência do painel não foi alta.

As propriedades finais dos compósitos de fibra-cimento dependem, além dos componentes da fibra e da matriz, do processo de fabricação. O compósito deve possuir uma dispersão homogênea das fibras na matriz, interação bem balanceada entre a matriz de cimento e as fibras, baixa porosidade da matriz e uma porcentagem otimizada de fibras, suficiente para reforçar o material enquanto permite a continuidade da matriz (ARDANUY; CLARAMUNT; TOLEDO FILHO, 2015). A relação água/cimento pode ter sido insuficiente para o compósito e a quantidade de fibras podem ter absorvido parte da água do cimento. O modo com que a fibra foi dispersa também pode ter afetado o produto final. Mais estudos desses aspectos se fazem necessários para aperfeiçoamento do compósito.

6 CONCLUSÕES GERAIS

As fibras do mesocarpo do açaí *in natura* são feixes de fibras cilíndricos com canais de pontoações na superfície obstruídos com microsilica e massa específica de 1,01 g/cm. Com exceção dos tratamentos térmicos realizados a temperaturas mais altas (200 e 220°C), todos os tratamentos aumentaram o índice de cristalinidade e temperatura de degradação das fibras. Apenas os tratamentos químicos removeram efetivamente hemiceluloses e modificaram a morfologia dos feixes de fibras, com diminuição do diâmetro, individualização e degradação parcial de fibras.

De acordo com as técnicas de análise de compatibilidade por resistência mecânica, os tratamentos propostos para as fibras de açaí não resultam em melhor compatibilidade química com o cimento, de forma que a fibra pode ser aplicada na condição *in natura* para a produção dos painéis.

De acordo com a técnica de calorimetria, todos tratamentos resultam em diminuição da inibição da hidratação do cimento pela presença das fibras de açaí.

A técnica de raios-X comprovou que, apesar das fibras *in natura*, ocasionarem atraso no aparecimento da fase portlandita, esse tratamento foi o que resultou em maior pico de formação para esta fase após 24 h. A pasta contendo cinzas de fibras *in natura* não apresentou atraso nas formações das fases hidratadas do cimento, possibilitando o uso das cinzas como agregado no cimento.

A fibra do mesocarpo do açaí tem grande potencial para produção de painéis CBPB considerando sua baixa inibição química sobre a cura do cimento independente de tratamento, mas as variáveis do processo de produção propostas neste trabalho devem ser ajustadas para que os painéis atinjam, além das físicas, propriedades mecânicas similares à painéis CBPB comerciais.

7 REFERÊNCIAS

- ALBERTO, M. M.; MOUGEL, E.; ZOULALIAN, A. Compatibility of some tropical hardwoods species with Portland cement using isothermal calorimetry. **Forest Products Journal**, v. 50, n. 9, p. 83-88, 2000.
- AL-OQLA, F. M.; SAPUAN, S. M. Natural fiber reinforced polymer composites in industrial applications: feasibility of date palm fibers for sustainable automotive industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 66, p. 347-354, 2014.
- AL-OQLA, F. M.; SAPUAN, S. M.; ISHAK, M. R.; NURAINI, A. A. Predicting the potential of agro waste fibers for sustainable automotive industry using a decision making model. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 113, p. 116-127, 2015.
- AL-OQLA, F.M., SAPUAN, S. M., ISHAK, M. R., NURAINI, A. A. Combined multi-criteria evaluation stage technique as an agro waste evaluation indicator for polymeric composites: date palm fibers as a case study. **BioResources**, v. 9, n. 3, p. 4608-4621, 2014.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL (ASTM). **ASTM D 1037** – Standard methods of evaluating the properties of wood-base fiber and particle panel materials. Philadelphia, 1999.
- AQUINO, R. C. M. P. **Desenvolvimento de compósitos de fibras de piaçava da espécie *Attalea funifera* Mart. em matriz de resina poliéster**. 2003. 151 p. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) -Universidade Estadual do Norte Fluminense, Rio de Janeiro, 2003.
- ARDANUY, M.; CLARAMUNT, J.; GARCIA-HORTAL, J. A.; BARRA, M. Fiber-matrix interactions in cement mortar composites reinforced with cellulosic fibers. **Cellulose**, v. 18, n. 2, p. 281 – 289, 2011.
- ARDANUY, M.; CLARAMUNT, J.; TOLEDO FILHO, R. D. Cellulosic fiber reinforced cement-based composites: A review of recent research. **Construction and building materials**, v. 79, p. 115-128, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND Disponível em: <http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/uploads/2016/05/BT106_2003.pdf> Acesso em: 02 de fevereiro de 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13999**: Determinação do resíduo (cinza) após a incineração a 525°C. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14853**: Determinação do material solúvel em etanol-tolueno e em diclorometano e em acetona. Rio de Janeiro, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5733**: Cimento Portland de alta resistência inicial, Rio de Janeiro, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7215**: Ensaio de Argamassa no Estado Fresco. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7989**: Pasta celulósica e madeira – Determinação de lignina insolúvel em ácido. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 65/03**: Cimento Portland: determinação dos tempos de pega. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5733**: cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991.

AZIZI SAMIR, M. A. S.; ALLOIN, F.; DUFRESNE, A. Review of recent research into cellulosic whiskers, their properties and their application in nanocomposite field. **Biomacromolecules**, v. 6, n. 2, p. 612-626, 2005.

BALEY, C. Analysis of the flax fibers tensile behavior and analysis of the tensile stiffness increase. **Composites Part A: applied science and manufacturing**, v. 33, n. 7, p. 415-422, 2002.

BARROS, A. R. F. **Compósitos híbridos: Desenvolvimento de configuração e efeitos de umidificação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)- Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

BERALDO, A. L.; CHEN, F. K. C. H.; AZZINI, A. Telhas onduladas de bambu – cimento. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 3. São Carlos, 2003. **Anais...** São Carlos: UFMS, 2003.

BERALDO, A. L.; PIMENTEL, L.L.; LIMA, I. L.; BARCHET, V. G. Efeito de tratamentos físicos - químicos sobre a resistência à compressão de compósitos madeira-cimento. IN: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 6. Florianópolis, 1998. **Artigo técnico**. Florianópolis: IBRAMEM, 1998.

BETIOLI, A. M. **Degradação de fibras de PET em Materiais à base de Cimento Portland**. 2003, 124 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

BEUKES N.; PLETSCHEKE, B. I. Effect of alkaline pre-treatment on enzyme synergy for efficient hemicellulose hydrolysis in sugarcane bagasse. **Bioresource technology**, v. 102, n. 8, p. 5207-5213, 2011.

BILCATI, G. K. **Produção de painéis de cimento Portland reforçados com fibra de curauá (*Ananas erectifolius*)**. 2015. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

BLEDZKI, A. K.; GASSAN, J. Alkali treatment of jute fibers: Relationship between structure and mechanical properties. **Journal of Applied Polymer Science**. v. 24, n. 4, p. 221-274, 1999.

BLEDZKI, A. K.; GASSAN, J. Einfluß von haftvermittlern auf das feuchteverhalten naturfaserverstärkter kunststoffe. **Die Angewandte Makromolekulare Chemie: Applied Macromolecular Chemistry and Physics**, v. 236, n. 1, p. 129-138, 1996.

BRASILEIRO, G. A. M.; VIEIRA, J. A. R.; BARRETO, L. S. Use of coir pith particles in composites with Portland cement. **Journal of Environmental Management**, v. 131, p. 228-238, 2013.

BUFALINO, L.; GUIMARÃES, A. A.; SILVA, B. M. D. S. E.; DE SOUZA, R. L. F.; DE MELO, I. C. N. A.; DE OLIVEIRA, D. N. P. S.; TRUGILHO, P. F. Local variability of yield and physical properties of açai waste and improvement of its energetic attributes by separation of lignocellulosic fibers and seeds. **Journal of Renewable and Sustainable Energy**, v. 10, n. 5, p. 053102, 2018.

BUFALINO, L.; SENA NETO, A. R. DE; TONOLI, G. H. D.; DE SOUZA FONSECA, A.; COSTA, T. G.; MARCONCINI, J. M.; COLODETTE, J. L.; LABORY, C. R. G.; MENDES, L. M. How the chemical nature of Brazilian hardwoods affects nanofibrillation of cellulose fibers and film optical quality. **Cellulose**, v. 22, n. 6, p. 3657-3672, 2015.

BULLARD, J. W.; JENNINGS, H. M.; LIVINGSTON, R. A.; NONAT, A.; SCHERER, G. W.; SCHWEITZER, J. S.; SCRIVENER, K. L.; THOMAS, J. J. Mechanisms of Cement Hydration. **Cement and Concrete Research**, v. 41, n. 12, p. 1208 - 1223, 2011.

BUSCHLE-DILLER, G.; FANTER, C.; LOTH, F., Structural changes in hemp fibers as a result of enzymatic hydrolysis with mixed enzyme systems. **Textile research journal**, v. 69, n. 4, p. 244-251, 1999.

CLARAMUNT, J.; ARDANUY, M.; GARCÍA-HORTAL, J. A. Effect of drying and rewetting cycles on the structure and physicochemical characteristics of softwood fibres for reinforcement of cementitious composites. **Carbohydrate Polymers**, v. 79, n. 1, p. 200-205, 2010.

CORRÊA, A. C.; TEIXEIRA, E. de M.; PESSAN, L. A.; MATTOSO, L. H. C. Cellulose nanofibers from curaua fibers. **Cellulose**, v. 17, n. 6, p. 1183-1192, 2010.

CORREIA, V. DA C. **Produção de celulose nanofibrilada a partir de polpa organossolve de bambu para nanoreforço de compósitos cimentícios**. 2015, 167 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2015.

DANNER, T.; JUSTNES, H.; GEIKER, M.; LAUTEN, R. A. Early hydration of C3A–gypsum pastes with Ca- and Na-lignosulfonate. **Cement and Concrete Research**, v. 79, p. 333-343, 2016.

DE ARAÚJO, P. C.; ARRUDA, L. M.; DEL MENEZZI, C. H.; TEIXEIRA, D. E.; DE SOUZA, M. R. Lignocellulosic composites from Brazilian giant bamboo (*Guadua magna*): Part 2: Properties of cement and gypsum bonded particleboards. **Maderas. Ciencia y tecnología**, v. 13, n. 3, p. 297-306, 2011.

DE ANDRADE SILVA, F.; CHAWLA, N.; DE TOLEDO FILHO, R. D. Tensile behavior of high performance natural (sisal) fibers. **Composites Science and Technology**, v. 68, n. 15-16, p. 3438-3443, 2008.

DEL POZO-INSFRAN, D.; BRENES, C. H.; TALCOTT, S. T. Phytochemical composition and pigment stability of Açai (*Euterpe oleracea* Mart.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, n. 6, p. 1539-1545, 2004.

DELAGRAVE, A.; PIGEON, M.; MARCHAND, J.; REVERTÉGAT, É. Influence of chloride ions and pH level on the durability of high performance cement pastes (part II). **Cement and Concrete Research**, v. 26, n. 5, p. 749-760, 1996.

DORRESTIJN, E.; LAARHOVEN, L. J.; ARENDS, I. W.; MULDER, P. The occurrence and reactivity of phenoxy linkages in lignin and low rank coal. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 54, n. 1-2, p. 153-192, 2000.

FAN, M.; NDIKONTAR, M. K.; ZHOU, X.; NGAMVENG, J. N. Cement – bonded composites made from tropical woods: compatibility of wood and cement. **Construction and Building Materials**, v. 36, p. 135 – 140, 2012.

FARUK, O.; BLEDZKI, A. K.; FINK, H. P.; SAIN, M. Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000-2010. **Progress in Polymer Science**, v. 37, n. 11, p. 1552-1596, 2012.

FERNANDES, J. R.; MOISÉS, M. P.; GIROTTO, E. M.; FAVARO, S. L.; RADOVANOVIC, E. Silanized silica nanoparticles as compatibilizer of sisal fibers/polyethylene composites. **Polímeros**, v. 27, p. 61-69, 2017.

FERRAZ, J. M.; DEL MENEZZI, C. H. S.; SOUZA, M. R.; OKINO, E. Y. A.; MARTINS, S. A. Compatibility of pretreated coir fibers (*Cocos nucifera* L.) with Portland cement to produce mineral composites. **International Journal of Polymer Science**. v. 2012, p.1–7, 2012.

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.; **Produção e propriedades de painéis de fibra de coco verde (*Cocos nucifera* L.) em mistura com cimento Portland**. 2011. 78 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

FERREIRA, R. T. B.; BRANQUINHO, M. R.; LEITE, P. C. Transmissão oral da doença de Chagas pelo consumo de açai: um desafio para a vigilância sanitária. **Vigilância Sanitária em Debate**. v. 2, n. 4, p. 4-11, 2014.

FIDELIS, M. E. A.; PEREIRA, T. V. C.; GOMES, O. D. F. M.; DE ANDRADE SILVA, F.; TOLEDO FILHO, R. D. The effect of fiber morphology on the tensile strength of natural fibers. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 2, n. 2, p. 149-157, 2013.

FOELKEL, C.E.B.; BARRICHELO, L.E.G. Relações entre características da madeira e propriedades da celulose e papel. **O Papel**, São Paulo, v.36, n.9, p.49- 53, 1975.

FRYBORT, S.; MAURITZ, R.; TEISCHINGER, A.; MÜLLER, U. Cement bonded composites – A mechanical review. **BioResources**, v. 3, n. 2, p. 602-626, 2008.

GARTNER, E. M.; YOUNG, J. F.; DAMIDOT, D. A. JAWED, I. Hydration of Portland cement. In: BENSTED, J., BARNES, P. (ed.). **Structure and performance of cements**, London: Spon Press, 2002. cap. 3, p. 83.

GOSSELINK, R. J. A., DE JONG, E., GURAN, B., & ABÄCHERLI, A. Co-ordination network for lignin—standardisation, production and applications adapted to market requirements (EUROLIGNIN). **Industrial Crops and Products**, v. 20, n. 2, p. 121-129, 2004.

GOVIN, A.; PESCHARD, A.; FREDON, E.; GUYONNET, R. New insights into wood and cement interaction. **Holzforschung**, v. 59, n. 3, p. 330-335, 2005.

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

HOFSTRAND, 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.

HU, X. P.; HSIEH, Y. L. Effects of dehydration on the crystalline structure and strength of developing cotton fibers. **Textile Research Journal**, v. 71, n. 3, p. 231 – 239, 2001.

IOELOVICH, M. Cellulose as nanostructured polymer: short review. **BioResources**, v. 3, n. 4, p. 1403-1418, 2008.

IOZZI, M. A.; MARTINS, G. S.; MARTINS M. A.; FERREIRA, F. C.; JOB, A. E.; MATTOSO, L. H. C. Estudo da influência de tratamentos químicos da fibra de sisal nas propriedades de compósitos com borracha nitrílica. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 20, n. 1, p 25 – 32, 2010.

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

JACOB, M.; THOMAS, S.; VARUGHESE, K. T. Novel woven sisal fabric reinforced natural rubber composites: tensile and swelling characteristics. **Journal of composite materials**, v. 40, n. 16, p. 1471-1485, 2006.

IZANI, M. N.; PARIDAH, M. T.; ANWAR, U. M. K.; NOR, M. M.; H'NG, P. S. Effects of fiber treatment on morphology, tensile and thermogravimetric analysis of oil palm empty fruit bunches fibers. **Composites Part B: Engineering**, v. 45, n. 1, p. 1251-1257, 2013.

JÄHN, A.; SCHRÖDER, M. W.; FÜTING, M.; SCHENZEL, K.; DIEPENBROCK, W. Characterization of alkali treated flax fibres by means of FT Raman spectroscopy and environmental scanning electron microscopy. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 58, n. 10, p. 2271-2279, 2002.

JAWED, I.; SKALNY, J. Alkalies in cement: a review: II. Effects of alkalies on hydration and performance of Portland cement. **Cement and concrete research**, v. 8, n. 1, p. 37-51, 1978.

Jl, X.; CHEN, J.; WANG, Q.; TIAN, Z.; YANG, G.; LIU, S. Boosting oxygen delignification of poplar kraft pulp by xylanase pretreatment. **BioResources**, v. 10, n. 2, p. 2518-2525, 2015.

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.

JOSEPH, K.; TOLÊDO FILHO, R. D.; JAMES, B.; THOMAS, S.; CARVALHO, L. H. D. A review on sisal fiber reinforced polymer composites. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 3, p. 367-379, 1999.

KABIR, M. M.; LAU, H. W. K. T.; CARDONA, F. Chemical treatments on plant – based natural fibre reinforced polymer composites. **Composites: Part B**, v. 43, n. 7, p. 2883–2892, 2012.

KALIA, S.; DUFRESNE, A.; CHERIAN, B. M.; KAITH, B. S.; AVÉROUS, L.; NJUGUNA, J.; NASSIOPOULOS, E. Cellulose-based bio-and nanocomposites: a review. **International Journal of Polymer Science**, v. 2011, 2011.

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**, v. 49, n. 7, p. 1253-1272, 2009.

KALIA, S.; KAITH, B.; KAUR, I. **Cellulose fibers: bio-and nano-polymer composites: green chemistry and technology**. Springer Science & Business Media, 2011.

KAW, A. K. **Mechanics of Composite Materials**. 2 ed. Florida: CRC Press, 2005. 490 p.

KOCHOVA, K.; SCHOLLBACH, K.; GAUVIN, F.; BROUWERS, H. J. H. Effect of saccharides on the hydration of ordinary Portland cement. **Construction and Building Materials**, v. 150, p. 268 - 275, 2017.

KOSTOV, I. **Mineralogy**. Sofia: Technika, 1993, 734 p

LATORRACA, J. V. de F. ***Eucalyptus* spp. na produção de painéis de cimento madeira**. 2000. 191 f. 2000. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do 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.

LECETA, I.; ETXABIDE, A.; CABEZUDO, S.; DE LA CABA, K.; GUERRERO, P. Bio-based films prepared with by-products and wastes: environmental assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 64, p. 218-227, 2014.

LEE, A. W. C. Physical and mechanical properties of cement bonded southern pine excelsior board. **Forest Products Journal**, v. 34, n. 4, p. 30-34, 1984.

LICHTENTHÄLER, R.; BELANDRINO, R.; MAIA, J.; PAPAIOANNOPOULOS, M.; FABRICIUS, H.; MARX, F. Total antioxidant scavenging capacities of *Euterpe oleracea* e Mart.(açai). **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 56, n. 1, p. 68-75, 2005.

LIMA JÚNIOR, U. M. **Fibras da semente do açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.): avaliação quanto ao uso como reforço de compósitos fibrocimentícios.** 2007. 141 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia dos Materiais) - Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

LIU, Z.; JIAO, W.; SHA, A.; GAO, J. HAN, Z. XU, W. Portland Cement Hydration Behavior at Low Temperatures: Views from Calculation and Experimental Study. **Advances in Materials Science and Engineering**, v. 2017, 2017.

LOPES, F. F. M.; ARAUJO, G. T.; NASCIMENTO, J. W. B.; GADELHA, T. S.; SILVA, V. R. Estudo dos efeitos da acetilação em fibras de sisal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n. 7, p. 783-788, 2010.

LÓPEZ, F.; DIAZ, M. J.; EUGENIO, M. E.; ARIZA, J.; RODRIGUEZ, A.; JIMENEZ, L. Optimization of hydrogen peroxide in totally chlorine free bleaching of cellulose pulp from olive tree residues. **Bioresource Technology**, v. 87, n. 3, p. 255-261, 2003.

LORA, J. H.; GLASSER, W. G. Recent industrial applications of lignin: a sustainable alternative to nonrenewable materials. **Journal of Polymers and The Environment**, v. 10, n. 1-2, p. 39-48, 2002.

LV, G.; WU, S.. Analytical pyrolysis studies of corn stalk and its three main components by TG-MS and Py-GC/MS. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 97, p. 11-18, 2012.

MACÊDO, A. N.; LIMA A. M.; FONSECA F. O.; LAVÔR B. V. A. Análise estatística do comportamento mecânico à compressão do compósito cimento – madeira. **Revista Matéria**, v. 16, n. 2, p. 658 – 667, 2011.

MACÊDO, A. N.; SOUZA, A. A. C.; NETO, B. B. P. Chapas de cimento madeira com resíduos de indústria madeireira da região Amazônica. **Associação Nacional de Tecnologia de Ambiente Construído**, v. 12, n. 2, p. 131-150, 2012.

MACIEL, M. H.; SOARES, G. S.; ROMANO, R. C. O.; CINCOTTO, M. A. Monitoring of Portland cement chemical reaction and quantification of the hydrated products by XRD and TG in function of the stoppage hydration technique. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 136, n. 3, p. 1269-1284, 2019.

MAHMOOD, H.; MONIRUZZAMAN, M.; YUSUP, S.; AKIL, H. M. Pretreatment of oil palm biomass with ionic liquids: a new approach for fabrication of green composite board. **Journal of Cleaner Production**, v. 126, p. 677-685, 2016.

MALONEY, T. M.; LEE, S. M.; ROWELL, R. M. International encyclopedia of composites. **New York: VCHPublishers**, 1995.

MARABEZI, K. **Estudo sistemático das reações envolvidas na determinação dos teores de lignina e holocelulose em amostras de bagaço e palha de cana-de-açúcar.** 2009. 158 p. Dissertação (Mestrado em Físico-Química)-Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

MATIAS DOS SANTOS, G.; ARRAES MAIA, G.; MACHADO DE SOUSA, P. H.; CORREIA DA COSTA, J. M.; WILANE DE FIGUEIREDO, R.; MATIAS DO PRADO, G. Correlação entre atividade antioxidante e compostos bioativos de polpas comerciais de açaí (*Euterpe oleracea* Mart). **Archivos latinoamericanos de Nutricion**, v. 58, n. 2, p. 187-192, 2008.

MATOSKI, A. **Utilização de pó de madeira com granulometria controlada na produção de painéis de cimento-madeira**. 2005. 202p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008. 674 p.

MILLER, D. P., MOSLEMI, A. A. Wood-cement composites: effect of model compounds on hydration characteristics and tensile strength. **Wood and fiber science**, v. 23, n. 4, p. 472-482, 2007.

MILOSAVLJEVIC, S.; SKUNDRIC, P.; MIHAJLIDI, T.; TADIC, T.; JOCIC, D.; LUKIC, S.; JOVANCIC, P.; KOSTIC, M.; MIHAILOVIC, T.; ASANOVIC, K.; STANKOVIC, S.; RADETIC, M.; TOPALOVIC, T.; PEJIC, B.; KRGOVIC, M.; NIKOLIC, S.; BORNA, N.; MIJATOVIC, B. Hemp as Raw of the Future (Konoplja sirovina buducnosti, in Serbian). **Faculty of Technology and Metallurgy, Belgrade**, p. 8-29, 2004.

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.

MOHANTY, A. K.; MISRA, M.; DRZAL, L. T. **Natural fibers, biopolymers, and biocomposites**. Boca Raton: CRC, 2005. 896 p.

MONTEIL-RIVERA, F.; PHUONG, M.; YE, M.; HALASZ, A.; HAWARI, J. Isolation and characterization of herbaceous lignins for applications in biomaterials. **Industrial Crops and Products**, v. 41, p. 356-364, 2013.

MOON, R. J.; MARTINI, A.; NAIRN, J.; SIMONSEN, J.; YOUNGBLOOD, J. Cellulose nanomaterials review: structure, properties and nanocomposites. **Chemical Society Reviews**, v. 40, n. 7, p. 3941-3994, 2011.

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

NAGHIZADEH, Z.; Faezipour, M.; Ebrahimi, G.; Hamzeh, Y. Manufacture of lignocellulosic fiber-cement boards containing foaming agent. **Construction and Building Materials**, v. 35, p. 408-413, 2012.

NASCIMENTO, R. J. S.; COURI, S.; ANTONIASSI, R.; FREITA, S. Composição em ácidos graxos do óleo da polpa de açaí extraído com enzimas e com hexano. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 2, p. 498-502, 2008.

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.

NEVES, L. T. B. C.; CAMPOS, D. C. D. S.; MENDES, J. K. S.; URNHANI, C. O.; ARAÚJO, K. G. Quality of fruits manually processed of açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) and bacaba (*Oenocarpus bacaba* Mart.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, n. 3, p. 729-738, 2015.

NISHIYAMA, Y. Structure and properties of the cellulose microfibril. **Journal of Wood Science**, v. 55, n. 4, p. 241-249, 2009.

NISHIYAMA, Y.; SUGIYAMA, J.; CHANZY, H.; LANGAN, P. Crystal structure and hydrogen bonding system in cellulose I α from synchrotron X-ray and neutron diffraction. **Journal of American Chemical Society**. Washington, v. 125, n. 47, p. 14300-14306, 2003.

NORMEN FÜR HOLZFASERPLATEN SPANPLATTEN SPERRHOLZ. **DIN 52362** – Testing of wood chipboards, bending test, determination of bending strength. Germany, 1982.

ODLER, I. Hydration, setting and hardening of Portland cement. **Lea's Chemistry of cement and concrete**, 1998.

OLIVEIRA, D. N. P. S. de; BUFALINO, L.; CLARO, P. I. C.; TONOLI, G. H. D.; MENDES, L. M.; MARCONCINI, J. M. Alkali modifications of wood and non-wood fibers from the Amazonian region: crystalline and thermal properties. In: AMAZON & PACIFIC GREEN MATERIALS CONGRESS AND SUSTAINABLE CONSTRUCTION MATERIALS LAT-RILEM CONFERENCE, 6. Cali, 2016. **Anais...** Cali: Universidad del Valle, 2016.

OLIVEIRA, P. F.; MARQUES, M. F. V.; MERAT, L. C. Estudo de metodologias de tratamento alcalino em fibras vegetais de malva. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 12. Florianópolis, 2013. **Anais...** Florianópolis: Oceania Convention Center, 2013.

ORNAGHI JUNIOR, H. L. **Comportamento térmico de fibras vegetais e propriedades dinâmico-mecânicas de compósitos poliméricos com fibra de sisal**. 2014. 128 p. Tese (Doutorado em Engenharia)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

PACHECO-PALENCIA, L. A.; HAWKEN, P.; TALCOTT, S. T. Juice matrix composition and ascorbic acid fortification effects on the phytochemical, antioxidant and pigment stability of açaí (*Euterpe oleracea* Mart.). **Food Chemistry**, v. 105, n. 1, p. 28-35, 2007.

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.

PEHANICH, J. L.; BLANKENHORN, P. R.; SILSBEE, M. R. Wood fiber surface treatment level effects on selected mechanical properties of wood fiber – cement composites. **Cement and Concrete Research**, v. 34, n. 1, p. 59 – 65, 2004.

PELAEZ-SAMANIEGO, M. R.; YADAMA, V.; LOWELL, E.; ESPINOZA-HERRERA, R. A review of wood thermal pretreatments to improve wood composite properties. **Wood Science and Technology**, v. 47, n. 6, p. 1285-1319, 2013.

- PENG, Y.; WU, S. The structural and thermal characteristics of wheat straw hemicellulose. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 88, n. 2, p. 134-139, 2010.
- PEREIRA, C.; JORGE, F. C.; IRLE, M.; FERREIRA, J. M. Characterizing the setting of cement when mixed with cork, blue gum, or maritime pine, grown in Portugal I: temperature profiles and compatibility indices. **Journal of wood science**, v. 52, n. 4, p. 311-317, 2006.
- PESSOA, J. D. C.; ARDUIN, M.; MARTINS, M. A.; CARVALHO, J. E. U. D. Characterization of açai (*E. oleracea*) fruits and its processing residues. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 53, n. 6, p. 1451-1460, 2010.
- PICKERING, K. **Properties and performance of natural-fibre composites**. Elsevier, 2008.
- PROTÁSIO, T. DE P.; BUFALINO, L.; TONOLI, G. H. D.; JUNIOR, M. G.; TRUGILHO, P. F.; MENDES, L. M. Brazilian lignocellulosic wastes for bioenergy production: characterization and comparison with fossil fuels. **BioResources**, v. 8, n. 1, p. 1166-1185, 2013.
- QUARCIONI, V. A. **Influência da Cal hidratada nas idades iniciais da hidratação do cimento Portland – estudo em pasta**. 2008. 188 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- RODRIGUES, R. B.; LICHTENTHÄLER, R.; ZIMMERMANN, B. F.; PAPAGIANNPOULOS, M.; FABRICIUS, H.; MARX, F. Total oxidant scavenging capacity of *Euterpe oleracea* Mart. (açai) seeds and identification of their polyphenolic compounds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, n. 12, p. 4162-4167, 2006.
- ROGEZ, H. **Açai: preparo, composição e melhoramento da conservação**. Belém: EDFPA, 2000. 313 p.
- ROWELL, R. M.; PETERSEN, R.; HAN, J. S.; ROWELL, J. S.; TSHABALALA, M. A. Cell wall chemistry. In: ROWELL, R. M. Handbook of wood chemistry and wood composites. Boca Raton: CRC Press, 2005: p. 35-74.
- SAKAKIBARA, A. A structural model of softwood lignin. **Wood Science and Technology**, v. 14, n. 2, p. 89-100, 1980.
- SARMIENTO, C. R.; FREIRE, W. J. Argamassa de cimento e areia combinada com fibras de bagaço de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v. 17, n. 2, p. 1-8, 1997.
- SAVASTANO JÚNIOR, H.; AGOPYAN, V. Transition zone studies of vegetable fibre-cement paste composites. **Cement and concrete composites**, v. 21, n. 1, p. 49-57, 1999.
- SAVASTANO JUNIOR, H.; WARDEN, P. G.; COUTTS, R. S. P. Potential of alternative fibre cements as building materials for developing areas. **Cement and Concrete Composites**, v. 25, n. 6, p. 585-592, 2003.
- SCHAUSS, A. G.; WU, X.; PRIOR, R. L.; OU, B.; PATEL, D.; HUANG, D.; KABABICK, J. P. Phytochemical and nutrient composition of the freeze-dried Amazonian palm berry, *Euterpe*

oleraceae Mart. (Açaí). **Journal of agricultural and Food Chemistry**, v. 54, n. 22, p. 8598-8603, 2006.

SHELLER, H. V.; ULVSKOV, P. Hemicelluloses. **Annual Review of Plant Biology**, v. 61, p. 263-289, 2010.

SEGAL, L. G. J. M. A.; CREELY, J. J.; MARTIN Jr, A. E.; CONRAD, C. M. An empirical method for estimating the degree of crystallinity of native cellulose using the X-ray diffractometer. **Textile Research Journal**, v. 29, n. 10, p. 786-794, 1959.

SENA NETO, A. R.; ARAUJO, M. A. M.; SOUZA, F. V. D., MATTOSO, L. H. C.; MARCONCINI, J. M. Characterization and comparative evaluation of thermal, structural, chemical, mechanical and morphological properties of six pineapple leaf fiber varieties for use in composites. **Industrial Crops and Products**, v. 43, p. 529- 537, 2013.

SHEN, D. K.; GU, S.; LUO, K. H.; WANG, S. R.; FANG, M. X. The pyrolytic degradation of wood-derived lignin from pulping process. **Bioresource technology**, v. 101, n. 15, p. 6136-6146, 2010.

SILVA, F.A.; GHAVAMI, K.; ALMEIDA, J. R. M. Comportamento ao impacto de materiais compósitos cimentícios reforçados com polpa de bambu. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON NON-CONVENTIONAL MATERIALS AND TECHNOLOGY. Pirassununga, 2004. **Anais...** Pirassununga: Universidade de São Paulo, 2004.

SILVA, I. I. S. A.; LAGO, L. B.; SOARES, J. P.; SOUZA, P. S. L. Avaliação do uso de fibra de coco em compósitos cimentícios. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 50. Salvador, 2008. **Anais...** Salvador: IBRACON, 2008.

SILVA, R. V. da. **Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibra vegetais**. 2003. 157 p. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

SOUZA, M. R. **Durability of cement-bonded particle board made conventionally and carbon dioxide injection**. 1994. 123 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade de Idaho, Idaho, 1994.

SUBRAMONIAM, R.; HUISINGH, D.; CHINNAM, R.B.; SUBRAMONIAM, S. Remanufacturing Decision-Making Framework (RDMF): research validation using the analytical hierarchical process. **Journal of Cleaner Production**, v. 40, p. 212-220, 2013.

TAYLOR, H. F. W. **Cement chemistry**. Thomas Telford, 1997.

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.

TOMCZAK, F. **Estudos sobre a estrutura e propriedades de fibras de coco e curauá do Brasil**. 2010. 150 p. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciências dos Materiais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

VASSILEV, S. V.; BAXTER, D.; ANDERSEN, L. K.; VASSILEVA, C. G. An overview of the composition and application of biomass ash. Part 1. Phase-mineral and chemical composition and classification. **Fuel**, v. 105, n. 2, p. 40-76, 2013.

VASSILEV, S. V.; BAXTER, D.; ANDERSEN, L. K.; VASSILEVA, C. G.; MORGAN, T. J. An overview of the organic and inorganic phase composition of biomass. **Fuel**, v. 94, n. 1, p. 1-33, 2012.

WANG, H.; POSTLE, R.; KESSLER, R.; KESSLER, W. Removing pectin and lignin during chemical processing of hemp for textile applications. **Textile Research Journal**, v. 73, n. 8, p. 664-669, 2003.

WANG, S.; WANG, K.; LIU, Q.; GU, Y.; LUO, Z.; CEN, K.; FRANSSON, T. Comparison of the pyrolysis behavior of lignins from different tree species. **Biotechnology Advances**, v. 27, n. 5, p. 562-567, 2009.

WANG, Y.; WU, H. C.; LI, V. C. Concrete reinforcement with recycled fibers. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 12, n. 4, p. 314 – 319, 2000.

WEI, J.; MEYER, C. Degradation mechanism of natural fiber in the matrix of cement composites. **Cement and Concrete Research**, v. 73, p. 1 – 6, 2015.

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, 2000.

WIDYAWATI, M.; CHURCH, T. L.; FLORIN, N. H.; HARRIS, A. T. Hydrogen synthesis from biomass pyrolysis with in situ carbon dioxide capture using calcium oxide. **International journal of hydrogen energy**, v. 36, n. 8, p. 4800-4813, 2011.

YOKOMIZO, G. I.; DE QUEIROZ, J. A. L.; MOCHIUTTI, S.; PINHEIRO, I. D. N.; DA SILVA, P. A. R. Desempenho de progênies de açazeiros avaliadas para caracteres agronômicos no Estado do Amapá. **Embrapa Amapá-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2010.

YOKOMIZO, G. K. I.; MOCHIUTTI, S.; QUEIROZ, J. A. L. D.; SANTOS, G. R. D.; FURTADO, R. G.; BRANDÃO, A. P.; COLARES, I. B. PARAMETER ESTIMATES FOR GENETIC CHARACTERS OF ASSAI PALM TREES FRUITS IN AMAPÁ STATE. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 3, p. 985-993, 2016.

YOSOMIYA, R.; MORIMOTO, K.; NAKAJIMA, A.; IKADA, Y.; SUZUKI, T. **Adhesion and bonding in composites**. CRC Press, p. 376, 1989.

YU, H.; HUANG, Y.; YING, H.; XIAO, C. Preparation and characterization of a quaternary ammonium derivative of konjac glucomannan. **Carbohydrate polymers**, v. 69, n. 1, p. 29-40, 2007.

ZHAO, J.; YAO, Y.; CUI, Q.; WANG, X. M. Optimization of processing variables and mechanical properties in rubber-wood particles reinforced cement based composites manufacturing technology. **Composites Part B: Engineering**, v. 50, p. 193-201, 2013.