



**GERALDO APARECIDO DA SILVA**

**EFEITO DOS COMPONENTES DA MADEIRA E BAMBU NA  
HIDRATAÇÃO DO CIMENTO**

**LAVRAS – MG  
2020**

**GERALDO APARECIDO DA SILVA**

**EFEITO DOS COMPONENTES DA MADEIRA E BAMBU NA HIDRATAÇÃO DO  
CIMENTO**

Dissertação de Mestrado apresentado a Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do curso de pós graduação em Ciências e Tecnologia da Madeira para obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Saulo Rocha Ferreira  
Orientador

**LAVRAS – MG  
2020**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Silva, Geraldo Aparecido.

Efeito dos Componentes da Madeira e Bambu na Hidratação do  
Cimento / Geraldo Aparecido Silva. - 2020.

80 p. : il.

Orientador(a): Saulo Rocha [Ferreira](#).

~  
Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de  
Lavras, 2020.

Bibliografia.

1. Compósitos cimento-madeira. 2. Interação cimento-madeira.  
3. Componentes da madeira que inibem a hidratação do cimento. I.  
Ferreira, Saulo Rocha. II. Título.

**GERALDO APARECIDO DA SILVA**

**EFEITO DOS COMPONENTES DA MADEIRA E BAMBU NA HIDRATAÇÃO DO  
CIMENTO**

**EFFECT OF WOOD AND BAMBOO COMPONENTS ON CEMENT HIDRATION**

Dissertação de Mestrado apresentado a  
Universidade Federal de Lavras como  
parte das exigências do curso de pós-  
graduação em Ciências e Tecnologia da  
Madeira para obtenção do título de  
Mestre.

APROVADA em 04 de dezembro de 2020  
Dr. Saulo Rocha Ferreira UFLA  
Dr. Keoma Defáveri do Carmo e Silva UFLA  
Dr. Fabrício de Campos Vitorino UFRJ



---

Prof. Dr. Saulo Rocha Ferreira  
Orientador



**LAVRAS-MG  
2020**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço aquele ou aquela, que de energia, move muito além do que nossos olhos alcançam, dando extrema complexidade a tudo, até mesmo nas coisas que ingenuamente acreditamos serem simples.

Agradeço minha mãe (Dona Graciola) pelo imenso incentivo que me proporcionou estudar. Me lembro quando fui aprovado no vestibular, e a carta de aviso chegou em nossa casa. Eu estava em outra cidade em busca de emprego, então não fiquei sabendo de imediato. Essa senhorinha não mediu esforços para que eu ficasse sabendo e retornasse para começar preparar as coisas para nova jornada. Anos se passaram e poucos dias após a defesa desta dissertação, essa grandiosa senhora foi infectada por Covid e veio a óbito. Não está sendo nada fácil lidar com esta perda.

Agradeço minha mãe Maria José, que mesmo com todo sofrimento que a vida lhe proporcionou, jamais deixou de me dar atenção e carinho. Sempre me incentivou em ir adiante nas coisas que eu acreditava. Infelizmente já se faz mais de uma década que ela faleceu, vítima de AVC.

Agradeço a minha companheira de vida, Loreнна, pelo carinho incondicional, companheirismo, amor e confiança. Esta garota de olhos puxados e sorriso encantador, nem imagina o quanto teve contribuição em todas as coisas que me aconteceram desde que a conheci.

Aos velhos amigos, Gustavo e Rafa, pelo apoio maravilhoso de sempre.

A meu Orientador Saulo, pela imensa paciência e pelos ensinamentos que ficarão guardados com muito carinho.

Aos colegas e amigos que no início do mestrado, contribuíram com imenso carinho, apontando caminhos e dando dicas importantíssimas. Valeu Evelise, Carine, Mariana, Felipe Salomão, Tati, Mateus, Maíra, Jonas, Lucas, Juliano, Eduardo, Leonardo, Thaianе e Yone.

Aos professores e técnicos do PPGCTM pelos ensinamentos e disponibilidade em ajudar. Agradeço em especial a Raisal, por todas as dúvidas por ela solucionadas e pelo imenso carinho e simpatia.

## RESUMO

O desenvolvimento e aplicação de compósitos cimento-madeira é crescente nas últimas décadas. O interesse por este material se deve as suas vantagens em relação aos materiais convencionais, bem como a tendência global do uso de bio-agregados. Os maiores benefícios na utilização desse tipo de agregado são a redução da densidade e custo do produto final. Apesar dos benefícios existem alguns desafios na produção de produtos à base de cimento com bio-agregados. A maior parte dos materiais empregados para essa finalidade são derivados da madeira. Esses materiais apresentam grande quantidade de carboidratos (açúcares) em sua composição, que inibem a hidratação do cimento, afetando sua resistência. Este trabalho tem como objetivo aprofundar o entendimento de como a madeira e seus componentes afetam a hidratação de matrizes a base de cimento. Três espécies vegetais foram estudadas, o pinos (*Pinus taeda*) com mais de 28 anos de plantio, bambu (*Bambusa vulgaris*) acima de três anos e mandacaru (*Cereus jamacaru*). Após moagem em moinho martelo e separação granulométrica com passagem em 40 mesh e retenção em 60 mech, parte do material lignocelulósico de cada espécie passou por três etapas de lavagens com água deionizada, em chapa aquecedora a 80 °C por 1 hora cada, para retirada dos extrativos solúveis em água. Após determinar absorção, densidade aparente e umidade de cada material lignocelulósico moído, foi realizado a secagem em estufa por 48 h a 100°C. Em seguida foi realizada a caracterização química para quantificar os teores de extrativos celulose, hemicelulose e lignina de cada espécie de acordo com NBR 14853 (ABNT, 2010); NBR 7989 (ABNT, 2010); Browning (1963) e Kennedy, Phillips e Willians (1987). Após moldagem junto ao cimento e água em proporção de 33% de partícula em relação a massa do cimento, parte da mistura foi revestida em filmes plásticos para evitar entrada de CO<sub>2</sub> e parte foi utilizada de imediato na análise de calorimetria para quantificação de fluxo de calor. A hidratação das misturas revestidas em filmes plásticos foi interrompida com acetona em diferentes idades, para realização da análise termogravimétrica (TGA). Foi utilizado 10mg da mistura de cimento com cada material lignocelulósico, em cadinho de alumina, com fluxo de 50 ml/min de nitrogênio e taxa de aquecimento de 10°C por minuto, até atingir temperatura de 900°C. Também foi realizada análise de calorimetria para mistura dos componentes: Lignina, pectina, celulose e glucose em proporções de 1, 2 e 4% em relação a massa do cimento. Como resultados, *Bambusa vulgaris* e *Pinus taeda* apresentaram composição química similar. Foi quantificado teor de extrativo mais elevado para *Cereus jamacaru*. Os componentes glucose e pectina apresentaram maior inibição na hidratação. As partículas de *Cereus jamacaru* sem tratamento, interferiram mais negativamente na hidratação do cimento. Diferente das outras espécies estudadas, *Cereus jamacaru* antes do tratamento, apresentou 17,64% de extrativos em sua composição química, tornando possível concluir que os extrativos apresentaram maior inibição na hidratação do cimento, devido correlação dos resultados obtidos para as misturas de cimento e partículas lignocelulósicas e os resultados das misturas de cimento com os componentes isolados.

**Palavras chaves:** Bio-agregado, Caracterização físico-química, Componentes lignocelulósicos, extrativos.

## ABSTRACT

The development and application of cement-wood composites has been increasing in recent decades. The interest in this material is due to its advantages over conventional materials, as well as the global trend in the use of bioaggregates. The biggest benefits in using this type of aggregate are the reduction in density and cost of the final product. Despite the benefits, there are some challenges in the production of cement-based products with bioaggregates. Most of the materials used for this purpose are derived from wood. These materials have a large amount of carbohydrates (sugars) in their composition, which alter and inhibit the hydration of the cement affecting its resistance. This work aims to deepen the understanding of how wood and its components affect the hydration of cement-based matrices. Three plant species were studied, *Pinus taeda* from a population with more than 28 years of planting, *Bambusa vulgaris* over three years and *Cereus jamacaru*. After grinding in a hammer mill and granulometric separation with 60 mesh retention, part of the lignocellulosic material of each species went through three stages of washing with deionized water, in a hot plate at 80°C for 1 hour each, to remove the water-soluble extracts. After determining absorption, apparent density and moisture of each ground lignocellulosic material, drying in an oven was carried out for 48 h at 103°C. Then, chemical characterization was performed to quantify the levels of cellulose, hemicellulose and lignin extracts of each species. After molding with the cement and water in a proportion of 33% of particle in relation to the cement mass, part of the mixture was coated in the calorimetry analysis to quantify the heat flow. The hydration of mixtures coated on plastic films was interrupted with acetone at different ages, to perform the thermogravimetric analysis (TGA). 10 mg of cement mixture was used with each lignocellulosic material, in an alumina crucible, with a flow of 50 ml/min of nitrogen and a heating rate of 10°C per minute, until reaching a temperature of 900°C. Calorimetry analyses were also performed to mix the components: Lignin, pectin, cellulose and glucose in proportions of 1%, 2% and 4% in relation to the cement mass. As a result, *Bambusa vulgaris* and *Pinus taeda* showed similar chemical composition. Higher extractive content was quantified for *Cereus jamacaru*. The glucose and pectin components showed greater inhibition in hydration. The *Cereus jamacaru* particles interfered more negatively in the cement hydration than the *Bambusa vulgaris* and *Pinus taeda* particles, making it possible to conclude that the extractives showed greater inhibition in the cement hydration, due to the correlation of the results obtained for the mixtures of lignocellulosic particles and the results of mixtures with the components.

Key words: Bio-aggregate, Physico-chemical, Characterization, lignocellulosic, Components. Extractive.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	10
2 JUSTIFICATIVA .....	13
3 OBJETIVO .....	14
3.1 Objetivo Geral .....	14
3.2 Objetivos específicos .....	14
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	15
4.1 Madeira .....	15
4.1.1 Classificação das madeiras .....	17
4.1.2 Propriedades físicas da madeira.....	18
4.1.3 Composição química da madeira .....	18
4.2 Cimento Portland .....	20
4.2.1 Compósitos cimento-madeira .....	21
4.2.2 Hidratação do cimento .....	21
4.2.3 Compatibilidade entre materiais vegetais e matrizes a base de cimento .....	23
5 MATERIAIS E MÉTODOS .....	26
5.1 Materiais utilizados.....	26
5.2 Moagem e peneiramento dos materiais lignocelulósicos .....	27
5.3 Ciclo de lavagem das partículas lignocelulósicas.....	27
5.4 Caracterização física dos materiais.....	28
5.4.1 Determinação da Absorção de água das partículas.....	28
5.4.2 Determinação da Densidade Aparente.....	29
5.4.3 Umidade higroscópica .....	29
5.5 Análises Químicas dos Materiais Lignocelulósicos .....	29
5.6 Análise Termogravimétrica .....	31
5.7 Moldagem dos compósitos .....	31

5.8 Caracterização dos compósitos produzidos .....	34
5.8.1 Estado fresco.....	34
5.8.2 Estado endurecido.....	36
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
6.1 Análise físico-química dos materiais lignocelulósicos.....	37
6.2 Análise química dos materiais .....	38
6.3 Calorimetria .....	40
6.4 Mapeamento EDS dos Componentes .....	50
6.5 Análise Termogravimétrica .....	52
7. CONCLUSÃO .....	73
8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	74
9. REFERÊNCIAS .....	75

## 1 INTRODUÇÃO

A busca por tecnologias que visem menores danos ao meio ambiente tem aumentado nos últimos anos, desta forma tem sido constantes os trabalhos em busca da utilização de produtos de origem renovável. De acordo com Castro (2012), embora seja um dos mais importantes setores para o desenvolvimento social e econômico, a construção civil gera grandes impactos ambientais. Para Glória (2015) é urgente a busca de novas tecnologias que agridam menos o meio ambiente, pois indústrias como a da construção civil consomem muitos recursos naturais e se enquadram como grandes geradoras de resíduos. Diferente dos agregados minerais utilizados na matriz a base de cimento, os produtos lignocelulósicos por serem renováveis, tendem a contribuir de forma positiva para menores implicações danosas ao meio ambiente.

Neste contexto, os compósitos cimento-madeira vem se destacando, dando origem a produtos com menores densidades e com propriedades físicas e mecânicas que atendem diversas aplicações, tais como paredes pré-fabricadas, pisos, bancadas e forros. Wang *et al.* (2017) definem que fibras vegetais adicionadas aos materiais de construção são eficazes no reforço, na resistência e na estabilidade dimensional dos materiais. Para Ardanuy *et al.* (2015) os compósitos que unem fibras vegetais ao cimento quando comparados com compósitos que utilizam agregados minerais apresentam melhor tenacidade, resistência à flexão, resistência à fissuração e ductilidade. Savastano Jr e Santos (2008) definem que materiais lignocelulósicos juntamente com o cimento, podem ser empregados em diversos setores na construção civil, como na produção de telhas de cobertura, painéis de cimento-madeira e componentes pré-fabricados no qual pode representar significativa contribuição para o rápido crescimento da infra-estrutura dos países em desenvolvimento.

Jorge *et al.* (2004) definem que mesmo unindo características favoráveis, algumas madeiras alteram o tempo de pega do cimento Portland, ou seja, os materiais a base de cimento levam mais tempo para atingir o fim da pega ou em algumas situações, nem chegue a atingi-lo. Incompatibilidade é o termo que se aplica quando determinada madeira venha a alterar o tempo de pega após adicionada a pasta de cimento. Caso a adição do material lignocelulósico venha a retardar o tempo normal de hidratação do cimento, os materiais são incompatíveis, caso não exista alteração no tempo de hidratação ou exista de forma mínima, os materiais são considerados compatíveis.

Por causa da elevada incompatibilidade entre o cimento e os materiais lignocelulósicos, no que se refere a inibição da hidratação, alguns estudos foram desenvolvidos em busca de solucionar o problema. Alguns pesquisadores relacionam a incompatibilidade da madeira com

o cimento devido a presença de extrativos em sua composição. Semple e Evans (2000) ao trabalharem com *Pinus radiata*, aplicaram cerne e alburno separadamente junto ao cimento e obtiveram resultados diferentes em relação ao período de hidratação. Os compósitos feitos com alburno apresentaram resultados favoráveis em relação a compatibilidade, enquanto os adicionados de cerne não apresentaram boa compatibilidade. Os autores relacionaram a incompatibilidade da madeira do cerne com cimento devido a mesma conter elevada concentração de extrativos.

Miller e Moslemi (1991) também tiveram resultados semelhantes ao trabalharem com madeiras duras e madeiras macias, verificando assim que as madeiras macias apresentaram melhor compatibilidade. Também observaram melhor interação do alburno da madeira macia com o cimento em relação ao cerne da mesma, relacionando também melhor compatibilidade com a ausência de extrativos nas madeiras moles.

Entretanto, Semple *et al.* (2000) ao estudarem espécies de eucalipto com diferentes idades, verificaram que as espécies mais jovens com maiores quantidades de alburno, foram mais incompatíveis com o cimento em relação as árvores mais velhas que continham cernes mais desenvolvidos. Isso indica que o problema da incompatibilidade na situação, não se relaciona com os extrativos.

De acordo com Simatupang (1986) grande quantidade dos hidróxidos é formada durante o processo de hidratação do cimento, o que eleva o pH para 12 ou mais. Hemiceluloses podem ser dissolvidas e degradadas, formando açúcares simples em soluções alcalinas, afetando a resistência do cimento, elevando o tempo de pega em consequência da redução da temperatura de hidratação.

Bilis *et al.* (1968) observaram que o fungo manchador azul (*Ceratocystis pilífera*) presente na madeira *Pinho Souter* promoveu diminuição do tempo de pega após a madeira ser misturada ao cimento. Os autores relacionaram a boa compatibilidade da madeira com o cimento, devido ao provável consumo dos açúcares da madeira pelo fungo.

Algumas alternativas vem sendo utilizadas para reduzir o efeito negativo de algumas madeiras em compósitos a base de cimento e vem trazendo bons resultados. Latorraca (2000) e Savastano Junior *et al.* (2000) obtiveram resultados satisfatórios em relação a resistência mecânica dos compósitos, ao utilizarem aceleradores de pega. Lima (2005) descreve que os métodos de mineralização das partículas, substituição do cimento comum por cimento menos alcalinos e banho térmico são os tratamentos mais aplicados na produção de compósitos cimento madeira. Moslemi *at al.* (1983) verificaram que a extração com água quente, revelou

melhorias significativas na compatibilidade do larício ocidental, que é uma espécie altamente inibitória da hidratação sem tratamento. Gnanaharan e Dhamodaran (1985) tiveram resultados satisfatórios relacionados as propriedades mecânicas dos compósitos, utilizando somente extração em água fria para várias espécies tropicais.

A tendência de utilização da madeira como bio-agregado leva a constante busca em solucionar a questão da incompatibilidade, porém a maioria dos estudos tem se concentrado na utilização de espécies coníferas para aplicação em painéis a base de cimento. Em países como o Brasil que possuem ampla diversidade de espécies florestais dicotiledôneas, as buscas de soluções relacionadas a compatibilidade são ainda mais complicadas, devido principalmente ao elevado grau de heterogeneidade entre as espécies, o que leva determinado método a obter diferentes resultados ao se trabalhar com mais de uma espécie.

Alguns pesquisadores em trabalhos recentes buscaram adicionar madeiras de árvores eudicotiledôneas a matrizes cimentícias. Santos *et al.* (2008) usaram Candeia (*Eremanthus erythropappus*) em painéis cimento madeira e demonstraram que a madeira de candeia foi viável tecnicamente para todas as propriedades físico/mecânicas analisadas. Iwakiri *et al.* (2012) usaram madeiras de Paricá (*Schizolobium amazonicum*) e Embaúba (*Cecropia hololeuca*) em painéis a base de cimento e tiveram resultados moderados em relação as propriedades mecânicas. Gloria (2015) utilizou madeiras de Maçaranduba (*Manilkara salzmanni*), Angelim pedra (*Hymenolobium petraeum*), Cedro (*Cedrela fissilis*) e Cedrinho (*Erisma uncinatum* Warm) em painéis de cimento madeira e obteve bons resultados em ensaios de compressão uniaxial.

## **2 JUSTIFICATIVA**

Este estudo se justifica por buscar compreender as interações dos materiais lignocelulósicos e seus componentes em mistura a base de cimento e água, esclarecendo assim as alterações na hidratação do cimento, quando comparados com a mistura contendo somente cimento e água.

O presente estudo visa obter informações que contribuam com as tomadas de decisões em relação a substituição do agregado mineral por agregados vegetais, que possam ser explorados de maneira sustentável.

Devido escassez de informações na literatura, este estudo se torna necessário por buscar obter mais respostas relacionadas a compatibilidade dos materiais lignocelulósicos com o cimento.

### **3 OBJETIVO**

#### **3.1 Objetivo Geral**

Avaliar a influência das partículas *de Pinus taeda, Bambusa vulgaris , Cereus jamacaru* e de seus componentes na hidratação do Cimento Portland.

#### **3.2 Objetivos específicos**

Compreender o comportamento das partículas lignocelulósicas de cada espécie antes e após o processo de tratamento de lavagem em água quente, na mistura de cimento Portland em três idades de hidratação.

Avaliar a interação da lignina, pectina, glucose e celulose nas partículas vegetais com a hidratação do cimento.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

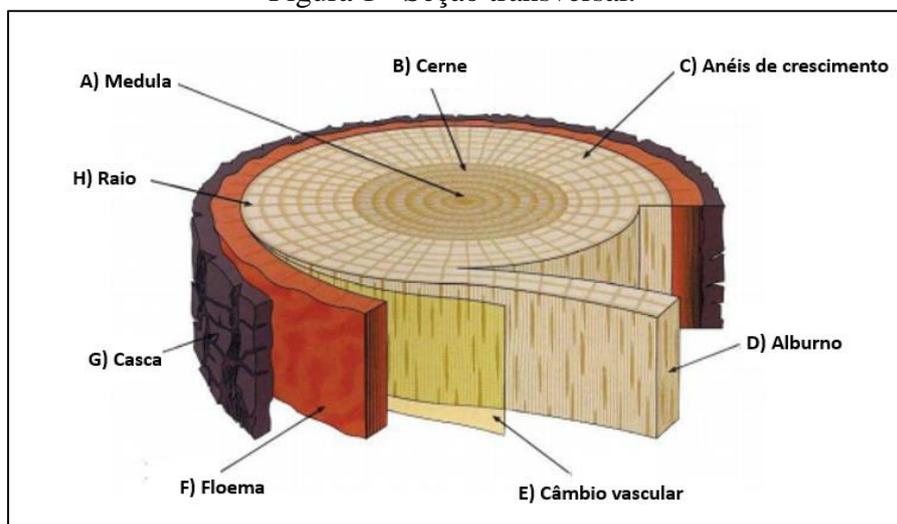
### 4.1 Madeira

De acordo com Gellerstedt (2009), a madeira é um material antigo e tem se mostrado elemento importante para o desenvolvimento humano desde a pré-história aos dias atuais. Seu uso ao longo dos anos sofreu algumas variações e evoluções, desde sua primeira função como fornecer calor, abrigo e ser usada na formação de ferramentas até os dias atuais em que esta é usada como matéria-prima em diversos setores).

De acordo com Roux (1994) e Natterer *et al.* (2000) a madeira é um recurso natural heterogêneo produzidos por árvores, que tem suas propriedades físico-químicas, biológicas e mecânicas diferentes entre espécies, na mesma espécie e na mesma árvore. Para Kellison (1981) até mesmo a procedência da semente pode influenciar nas propriedades da madeira que será produzida.

Para Klock (2005) a madeira sendo um material heterogêneo tem alterações químicas e estruturais espelhadas nas propriedades físicas, como: Permeabilidade, densidade, condutividade térmica, entre outras. O arranjo de seus componentes físicos tornam a estrutura lenhosa organizada arquitetonicamente. Na Figura 1 estão abordadas, as principais estruturas macroscópicas da madeira.

Figura 1 - Seção transversal.



Adaptada de ICPICS por Glória (2015)

Os elementos que compõem a Figura 1 e suas funções seguem descritos da letra A até a letra H. A) Medula: Tecido mole e esponjoso no centro do tronco que representa as estruturas primárias de crescimento; B) Cerne: Parte interna compreendida entre a medula e o alburno, formada por células mortas geralmente de coloração mais escura e densidade maior que o alburno; C) Anéis de crescimento: Nas espécies de clima temperado, nas temperaturas mais baixas, o câmbio interrompe o crescimento voltando a se tornar ativo quando a temperatura se eleva. Devido estas interrupções e retomadas de

crescimento, faixas celulares se formam, recebendo o nome de anéis de crescimento. Chuvas ou secas em grandes intervalos também contribuem para inativação temporária do câmbio. D) Alburno: Parte periférica do tronco das árvores, geralmente de cor clara, formado por células vivas. Diferente do cerne o alburno tem função de transporte da seiva bruta das raízes para as folhas; E) Câmbio Vascular: O câmbio vascular ou, simplesmente, câmbio situa-se entre o xilema e floema primário e produz os tecidos vasculares secundários. F) Floema: Tecido complexo constituído por células especializadas em condução (elementos crivados); células parenquimáticas; algumas especializadas, como as células companheiras, as de transferência e as albuminosas; fibras e esclereídes. G) Casca: Camada externa de tecido que envolve e protege o caule, armazena e conduz os nutrientes exercidos pelo floema; H) Raio: Armazena e distribui a seiva bruta horizontalmente (APPEZZATO; GUERREIRO, 2003).

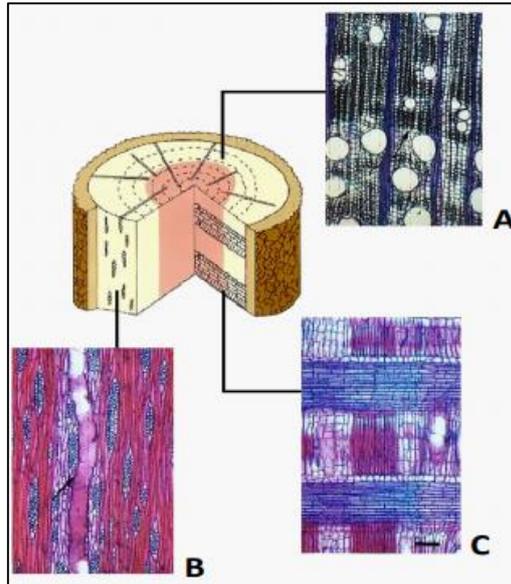
De acordo com Moreschi (2005) outra particularidade da madeira é o fato de ser um material higroscópico, tendendo a absorver ou perder água para o ambiente. Desta forma o controle do teor de umidade da madeira é indispensável para que possa ser utilizada de forma adequada, evitando o desenvolvimento de defeitos como empenamentos, arqueamentos, torções, etc.

Cheumani (2009) e Mellado (2007) definem que na madeira a água se encontra em de duas formas: a água livre ou capilar, e água de impregnação que se encontra adsorvida aos componentes da parede celular. Para Stein (2003) na parede da célula, a água pode movimentar por difusão na forma líquida pela parede celular e pode evaporar no lado seco de outra cavidade celular de forma sucessiva.

Quando a madeira perde toda água livre, chega-se então ao ponto de saturação das fibras (por volta de 28% de umidade), abaixo deste valor as perdas ou ganhos de umidade causam variações dimensionais na madeira.

De acordo com Botosso (2009) madeira é um material anisotrópico, pois sua forma varia de acordo com o perfil de corte, na sua disposição os elementos estão orientados de maneira perpendicular ou paralela ao eixo de simetria. Na Figura 2 estão demonstrados os planos principais.

Figura 2 - Representação dos planos de corte em uma secção de tronco. A) Plano transversal (perpendicular ao eixo do caule); B) plano tangencial (paralelo ao eixo do caule e tangencial aos anéis de crescimento); C) plano radial passando pelos raios do caule;

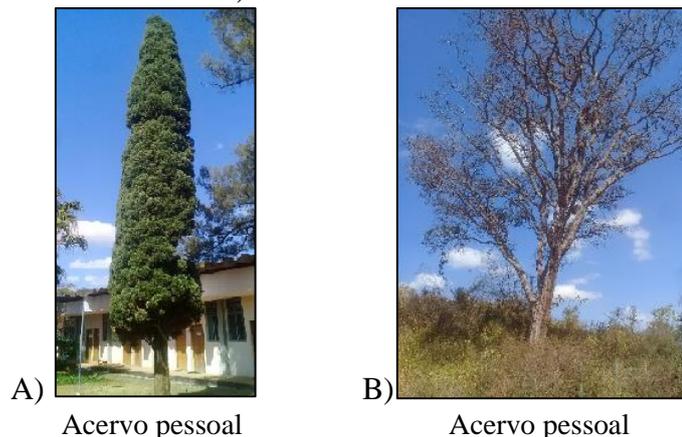


(APPEZZATO; GUERREIRO, 2003)

#### 4.1.1 Classificação das madeiras

De forma geral as madeiras podem ser agrupadas de duas maneiras diferentes: madeira macia (softwood) proveniente de árvores gimnospermas ou coníferas e madeiras duras (hardwood) provenientes de árvores angiospermas eudicotiledôneas, também chamada de folhosas. Ver na Figura 3 a diferença entre a árvore que produz madeira macia (softwood) representada pela letra A e a árvore que produz madeira dura, representada pela letra B.

Figura 3 – Softwoods; (grupo das gimnospermas B) hardwoods; (grupo das angiospermasdicotiledôneas).



De acordo com Burger e Richter (1991), conhecer a anatomia da madeira é de grande importância, pois torna possível identificar as espécies e suas aplicações, além de entender ou prever o comportamento de determinada espécie em uma dada situação de uso.

#### 4.1.2 Propriedades físicas da madeira

De acordo com Monteiro *et al.* (2012), as propriedades físicas da madeira representam elevada importância, tornando possível direcionar de melhor forma a aplicação para cada espécie. Densidade, permeabilidade, contrações lineares e volumétricas se destacam como as principais propriedades físicas da madeira.

De acordo com Chauhan *et al.* (2006), a densidade da madeira é um forte indicador de qualidade e uma característica complexa resultante da combinação de diversos fatores, uma vez que se relaciona diretamente a diversas outras características do lenho. Para Panshin e Dezeenw (1980) a densidade é uma propriedade fácil de se obter e fundamental para estudar a melhor aplicação da madeira. Para Kollman e Côté (1968) uma das principais formas de determinar a densidade é através da relação entre peso da madeira seca em estufas e seu volume medido acima do ponto de saturação das fibras.

Brandão (1989) define que outra propriedade importante da madeira é a permeabilidade, que se relaciona diretamente com a densidade, pois quanto mais permeável é a madeira, possivelmente menor será sua densidade. Para Magalhães *et al.* (2004) a permeabilidade depende da posição no tronco da árvore e da idade, pois madeira madura também apresenta maior permeabilidade do que a madeira jovem, não sendo uma função apenas da densidade. De acordo com Siau (1971) e Magalhães *et al.* (2004) a aspiração da pontuação que ocorre quando ainda existe água livre no lúmen das células, pode causar uma diminuição na permeabilidade da madeira de até dez vezes.

Quirino (2002) define que as contrações lineares e volumétricas ocorrem a medida que a madeira ganha ou perde água abaixo do ponto de saturação das fibras, afastando ou aproximando as microfibrilas da parede celular, gerando interferência no volume da madeira.

#### 4.1.3 Composição química da madeira

Para Fengel (2003) a celulose e as hemiceluloses são os polissacarídeos de estrutura semicristalina que sustentam a parede celular da madeira. Outro constituinte é a lignina, composto aromático e tridimensional, que confere sustentação e resistência. De acordo com Chang *et al.* (2010) extrativos são os constituintes da madeira com baixo peso molecular e são tipicamente associados à biodegradabilidade, cor e inflamabilidade da madeira [10]

Para Mazza (2009) e Hocine (2013), a celulose é o polímero natural mais abundante na Terra, é produzida basicamente através da fotossíntese na faixa de 50 e 100 bilhões de toneladas por ano, sendo o principal componente das paredes celulares das árvores e de outras plantas. Carbono, hidrogênio e oxigênio são os três elementos químicos que fazem parte de sua

composição. De acordo com Klock *et al.* (2005), 40 a 50% de todas as plantas são formadas de celulose. A celulose é um polímero de cadeia linear, tendo comprimento necessário para ser insolúvel em água, ácidos, álcalis diluídos e solventes orgânicos, na temperatura ambiente. Consiste de unidades de  $\beta$ -D-anidroglucopiranosose que se ligam através dos carbonos 1-4, tendo sua estrutura organizada e parcialmente cristalina.

Klock *et al.* (2005) afirma que a hemicelulose está em rigoroso agrupamento com a celulose na parede celular. Seus principais constituintes são açúcares neutros, tais como: Hexoses (glucoses, manoses e galactose) e pentoses (xilose e arabinose). Em algumas situações pode haver ácidos urônicos na composição. Ao contrário da celulose, as cadeias moleculares da hemicelulose são bem mais curtas, formando em alguns casos grupos laterais e ramificações. Geralmente as folhosas tem maior concentração de hemicelulose que as coníferas, além da composição também ser diferente. De acordo com Casey (1980), a hemicelulose geralmente é solúvel em água e soluções básicas, sendo também mais hidrolisável em soluções ácidas que a celulose. A hemicelulose traz para a madeira algumas propriedades, como a higroscópica, a plasticidade e o inchamento.

Para Rowell *et al.* (2005) a lignina contém estruturas amorfas muito complexas, possuindo unidades poliméricas de fenil-propano em predominância. De acordo com Castro (2009) a lignina envolve a celulose e hemicelulose ligando as microfibrilas e evitando ataque de enzimas, reduzindo a degradação. Klock *et al.* (2005) definem que a lignina entra como último componente da parede na etapa de desenvolvimento das células e atua no fortalecimento dando rigidez as paredes.

De acordo com Buchanan (1981), os extrativos são moléculas de baixo peso e não fazem parte da estrutura da parede celular. Os principais extrativos da madeira são os taninos, resinas, terpenos, gorduras ácidas e açúcares. São responsáveis por algumas propriedades organolépticas da madeira e confere resistência contra ataques de organismos xilófagos. Para Petteuse (1984) os extrativos também influenciam na densidade e na dureza da madeira, podendo constituir peso seco de até 8% em madeiras de clima temperado e até 20% em madeiras de clima tropical. Barrichelo e Brito (1985), definem que a maioria dos compostos dos extrativos são solúveis em água quente, benzeno, álcool e outros solventes orgânicos.

De acordo com Sarto (2010), não existe solvente universal que remova todos extrativos da madeira, sendo cada solvente usado para uma ou várias classes. Alguns extrativos solúveis em solventes orgânicos são parcialmente solúveis em água e outros que são solúveis em água são parcialmente solúveis em solventes orgânicos. Os extrativos solúveis em éter etílico

geralmente são compostos de graxas, ceras e considerável parte das resinas. Misturas de tolueno e álcool etílico são utilizadas na proporção de 2:1 em volume na extração de: resinas, óleos, ceras, graxas e compostos insolúveis em éter etílico. Os extrativos solúveis em álcool etílico incluem ácidos resinosos, gorduras, ácidos graxos, esteroides, terpenos, produtos de oxidação de resinas e produtos de degradação de celulose e lignina. Os extrativos solúveis em água incluem sais inorgânicos, açúcares, polissacarídeos de baixa massa molecular, cicloses e ciclitóis e algumas substâncias fenólicas. Alguns dos materiais solúveis em água são parcialmente solúveis em muitos solventes orgânicos e vice-versa.

De acordo com Buchanan (1981) os componentes inorgânicos da madeira são representados basicamente por cristais de oxalatos e sílicas que variam de acordo com condições ambientais que houve durante o desenvolvimento da árvore. Para Franceschi e Horner (1980) os cristais podem ser responsáveis na defesa contra a herbivoria. De acordo com Burger e Ritcher (1991) a sílica, devido sua elevada dureza confere a madeira maior resistência aos equipamentos durante usinagem.

#### **4.2 Cimento Portland**

O uso de cimento data de mais de 4.500 anos, pois povos do Egito utilizavam de uma liga formada de gesso calcinado em suas construções. Em antigas obras gregas e romanas era usado um ligante que endurecia através do uso da água. Já o cimento Portland usado na construção moderna só veio a existir em 1824, quando o Inglês Joseph Aspdin queimou pedras calcárias e argilas em forma de pó fino que após reagirem com água se tornava uma mistura endurecida a ponto de ser comparado com as pedras que eram usadas na construção da época. Joseph o patenteou no mesmo ano com nome de cimento Portland devido a característica semelhante as rochas da ilha britânica de Portland (ABCP, 2009).

Hewlett (1977) descreve que a principal propriedade que o cimento deveria apresentar, seria a capacidade de desenvolver resistência mecânica ao longo dos anos. Em 1898, Urry e Seaman solucionaram a questão da resistência mecânica, ao aperfeiçoarem o primeiro forno rotativo a carvão moído, que em 1900, com uma bateria de seis fornos, forneceram cimento para construção do porto de Dorver. Com estes fornos foi possível obter um produto mais homogêneo, no qual o gesso foi adicionado na fase de moagem para retardar a pega instantânea após adição de água.

Senf (2005) descreve que o cimento Portland usado amplamente na construção civil moderna é um composto de clínquer e aditivos. O clínquer tem em sua composição argila e

calcário, materiais estes, ricos em Al, Si, Ca e Mg. As adições destes materiais e suas proporções, é que determinarão o tipo de cimento Portland obtido e suas aplicações.

#### **4.2.1 Compósitos cimento-madeira**

Não existe uma definição universal para compósito, porém de maneira geral pode-se dizer que quando um material distinto é resultante da combinação de dois materiais ou mais, o mesmo recebe o nome de compósito. Smith (1998), define que os compósitos constituem de fases com distintas estruturas moleculares, na busca de melhorias no que se refere as propriedades mecânicas, através da combinação dos materiais diferentes.

De acordo com Martins (2002), as propriedades mecânicas dos compósitos, se relacionam com a proporção e características dos componentes, sendo necessário conhecer as propriedades físico-mecânicas de cada material para compreender e avaliar o material resultante da combinação.

Para Macedo *et al.* (2010), compósito cimento madeira pode ser definido como uma argamassa de cimento Portland tendo material orgânico advindo de vegetais superiores e de coleta da indústria madeira como substituto parcial ou total do agregado mineral. O compósito cimento madeira foi patenteado na Alemanha em 1880 e na Áustria em 1908, de acordo com empresa Climatex®. De acordo com Frybort *et al.* (2008), as indústrias de compósito cimento-madeira surgiram nos anos de 1930, porém nos últimos 40 anos é que de fato surgiram a maior parte das inovações relacionadas ao uso conjunto destes materiais.

Savastano Jr e Santos (2008) afirmam que o cimento contendo fibras vegetais como agregado pode ser aplicado em painéis de cimento madeira, telhas e em componentes pré-fabricados contribuindo com os países em desenvolvimento no que se refere ao crescimento rápido da infraestrutura

De acordo com Dinwoodie (1978), o compósito cimento-madeira é de fácil trabalhabilidade e possui propriedades de isolamento acústico. Hachmi e Campbell (1989) afirmam que no que se refere a decomposição, ataque por insetos e elevada resistência ao fogo, o compósito cimento madeira é o único material de construção capaz de unir essas características.

#### **4.2.2 Hidratação do cimento**

De acordo com Taylor (1998), hidratação refere-se as mudanças que ocorrem após o cimento ou alguma das fases que o compõe receber mistura de água. A hidratação envolve reações químicas que vão além da simples conversão de espécies químicas anidras em hidratos correspondentes.

Scrivener (1984) e Bullard *et al.* (2010), descrevem que o processo envolvendo as alterações físicas, químicas e microestruturais que ocorrem na hidratação do cimento é dependente da composição, do tempo de hidratação e inter-relações entre as fases. O clínquer presente no cimento por exemplo, pode apresentar reatividade de acordo com tamanho, distribuição das partículas e pela presença de elementos substituintes. De acordo com Jawed *et al.* (1983), o C-3-S e C-2-S puros hidratam mais lentamente que a alíta (C-3-S + sódio e potássio) e a belita (C-2-S + sódio e potássio). De uma forma geral a taxa de hidratação segue de acordo com a seguinte ordem: C-3-A > C-3-S > C-4-AF > C-2-S.

Double *et al.* (1977), descrevem que o C-3-A se hidrata rapidamente nos estágios iniciais, dando origem a conhecida pega relâmpago e impossibilitando que a pasta possa ser trabalhada. O gesso em uma pequena quantidade reage com água e o C-3-A formando a Etringita, que impede o rápido endurecimento da pasta (Taylor, 1966). O C-3-S compõe aproximadamente 50% de um cimento Portland comum e C-2-S compõe aproximadamente 25%. O produto final das reações de hidratação destes compósitos é o mesmo, o C-S-H, mesmo as taxas de reações diferindo entre C-3-S e C-2-S

O mecanismo relacionado a hidratação do cimento é dividido em cinco etapas, sendo elas: Estágio inicial; período de indução; período de aceleração; período de desaceleração e estágio final.

De acordo com Lothenbach (2007), no estágio inicial ocorre o início da dissolução do C-3-S, C-3-A e C-4-AF originando uma crosta de gel de silicato de cálcio hidratado (C-S-H) que passa a cobrir externamente os grãos anidros do clínquer. A dissolução do  $C_3S$  e do  $C_4AF$  liberam ions que reagem com os ions  $Ca^{2+}$  e  $SO_4^{2-}$ . O gel formado tem muita concentração de aluminato e recebe o nome etringita.

No estágio de indução ocorre o período de dormência, pois o grão de cimento interrompe a hidratação. Este período tem aproximadamente de 30 minutos a 3 horas, dependendo da concentração de água/cimento. Durante o período de dormência as concentrações de íons  $Ca^{2+}$  e  $OH^-$  continuam crescendo, porém não de forma linear e sua finalização ocorre quando o gel formado se rompe, voltando assim a permeabilidade do grão de clínquer (KADRI; DUVAL, 2002; HEWLETT 2006).

Período de aceleração: Neste período ocorre a pega da pasta de cimento, pois os aluminatos se hidratam com rapidez liberando o máximo de calor e consequentemente atingindo taxa máxima de hidratação, sendo o C-S-H e CH [ $Ca(OH)_2$ ] os principais produtos formados (MOSTAFÁ; BRAUN, 2005).

Período de desaceleração: Após liberação máxima de calor na fase de aceleração, se inicia a redução de ions em solução, devido a precipitação de hidratos que cobrem as partículas de cimento, reduzindo a solubilização das fases anidras. As reações que dão origem ao C-S-H e CH [Ca(OH)<sub>2</sub>] são mais lentas, geralmente após 24 horas (KADRI; DUVAL, 2002).

Estágio final: A partir desta fase, passa existir formação de placas hexagonais de monossulfoaluminato de cálcio em decorrência da reação do trissulfoluminato de cálcio com C<sub>3</sub>A e o C<sub>4</sub>AF, a medida que sulfato de cálcio vai ficando indisponível (TAYLOR, 1998).

Lea (1970) descreve que o C-S-H em sua forma amorfa, ocupa em torno de 70% do material hidratado, sendo o principal responsável pela ligação entre os grãos de cimento e outros produtos de hidratação.

#### **4.2.3 Compatibilidade entre materiais vegetais e matrizes a base de cimento**

De acordo com Thomas e Birchall (1983), Zhengtian e Moslemi (1986), alguns produtos solúveis da madeira são responsáveis pela incompatibilidade entre a madeira e o cimento, reduzido as propriedades mecânicas, sendo o principal problema na produção deste compósito.

Fan et al (2012) ao estudarem o comportamento de quinze espécies madeireiras tropicais em compósitos a base de cimento, observaram que os carboidratos de baixo peso molecular e hemiceluloses agiram diretamente de forma negativa na hidratação do cimento, diminuindo a compatibilidade entre o cimento com as quinze espécies estudadas.

Wang *et al.* (2014) descrevem que a aplicação de madeira junto ao cimento pode ser limitada devido as diferentes composições entre diferentes espécies de madeira. No Brasil, onde existe uma diversidade de espécies vegetais que produzem madeiras e outras espécies lignocelulósicas, compreender a interação com o cimento se torna ainda mais complicado. De acordo com BGCi (2017), o Brasil é o país com maior biodiversidade de árvores do mundo, possuindo 8715 espécies.

Beraldo *et al.* (2000) ao trabalharem com *Pinus caribea*, *Cedrela sp*, *Erismia uncinatum*, *Eucalyptus saligna* e *Dendrocalamus giganteus* adicionados aos cimentos Portland CPV E CPII, obtiveram resultados compatíveis para *Eucalyptus saligna* e resultados moderadamente compatíveis para *Pinus caribea*. Já o Bambu (*Dendrocalamus giganteus*), *Erismia uncinatum* e *Cedrela sp* não apresentaram bons resultados. Concluíram ainda que foi possível homogeneizar a resistência a compressão dos compósitos aplicando lavagem dos materiais lignocelulósicos, seguida de adição de 3% de cloreto de cálcio.

Akira *et al.* (2007) ao trabalharem com cimento-madeira, obtiveram resultados moderados com a madeira de *Eucalyptus grandis* e resultados altamente satisfatórios com a casca da mesma espécie, tratadas com hidróxido de sódio.

Os estudos de compósito madeira tem se concentrado na utilização de *Pinus* e *Eucalyptus*, com pouca variação de gêneros e espécies madeireiras, contudo nos últimos anos, observou-se maiores interesses em avaliar outros materiais lignocelulósicos. Estudos com fibras de côco, Seringueira, bagaço de cana e palha de arroz surgiram, tendo como propósito avaliar a compatibilidade com o cimento.

De acordo com Hidalgo Lopez (2003), dentre os materiais lignocelulósicos, o bambu pode ser uma boa opção de estudo. Pertencendo a família *Graminae*, com aproximadamente 1300 espécies, distribuídas em 50 gêneros, o bambu tem preferência de ocorrência nas regiões tropicais e subtropicais, 62% das espécies são nativas da Ásia, 34% das Américas e 4% da África e Oceania.

De acordo com Beraldo *et al.* (2008) o bambu em sua forma natural é altamente inibitório a pega do cimento. Desta forma, métodos como lavagem em água quente permite eliminar parcialmente o amido presente em suas partículas. Uso de cimento de pega rápida (CPV – ARI), aditivos aceleradores de pega (cloreto de cálcio e sulfato de alumínio) possibilitaram melhorias no comportamento mecânico dos compósitos.

Outra espécie de ampla ocorrência no Brasil é o *Cereus jamacaru*, uma das espécies de cactos muito conhecida no nordeste brasileiro como Mandacaru. Reyes (1994) descreve que *Cereus jamacaru* Pode ser reproduzido de forma sexuada ou assexuada e durante desenvolvimento da planta em campo é necessário pouco uso de água, tornando a exploração comercial uma alternativa viável. De acordo com Scheinvar *et al.* (2009) a planta chega produzir madeira com até 30 cm de espessura, alcançando altura de crescimento de 10 metros.

De acordo com Lima (1998) e Aragão (2000) no nordeste a planta é utilizada como alimento e fonte de água para o gado. Scheinvar (1985) descreve que o cerne produzido serve de matéria prima para confecção de portas e janelas das moradias próximas aos locais de ocorrência da espécie.

O *Pinus* dentre as três espécies em estudo, é a única cultivada em larga escala no Brasil. De acordo com Shimizu (2008) a produção consegue atender as demandas internas e ainda coloca o Brasil em primeiro lugar, como maior exportador de compensados de pinus do mundo. O autor ressalta ainda que nos últimos anos o incremento anual da produção de madeira de

Pinus se elevou devido possibilidade de uso de novas tecnologias, passando de 25 m<sup>3</sup>/ha.ano em 1990 para mais de 30 m<sup>3</sup>/ha.ano em 2006.

Matoski (2005) ao trabalhar com pó de madeira de Pinus em quatro diferentes granulometrias, obteve bons resultados nos ensaios mecânicos com adições de até 20% ao cimento, para as partículas maiores com aditivos a base de cloreto. Outros autores como Beraldo *et al.* (2000) e Latorraca *et al.* (1999) encontraram resultados moderados a compatíveis ao adicionarem pinus ao cimento.

Quiroga *et al.* (2015) utilizaram três tratamentos nas partículas de *Populus Euroamericana* antes de realizarem a mistura com cimento, com o intuito de comparar os resultados com as partículas sem tratamento. Os tratamentos consistiram em imersão do material em água, hidrólise alcalina com hidróxido de cálcio e retenção de substâncias inibidoras por revestimento das partículas com estireno acrílico. Os três tratamentos apresentaram Módulo de Elasticidade (MOE) mais elevado que o material sem tratamento, destacando o método de revestimento das partículas com estireno acrílico, que apresentou Módulo de Ruptura (MOR) mais alto que os demais tratamentos.

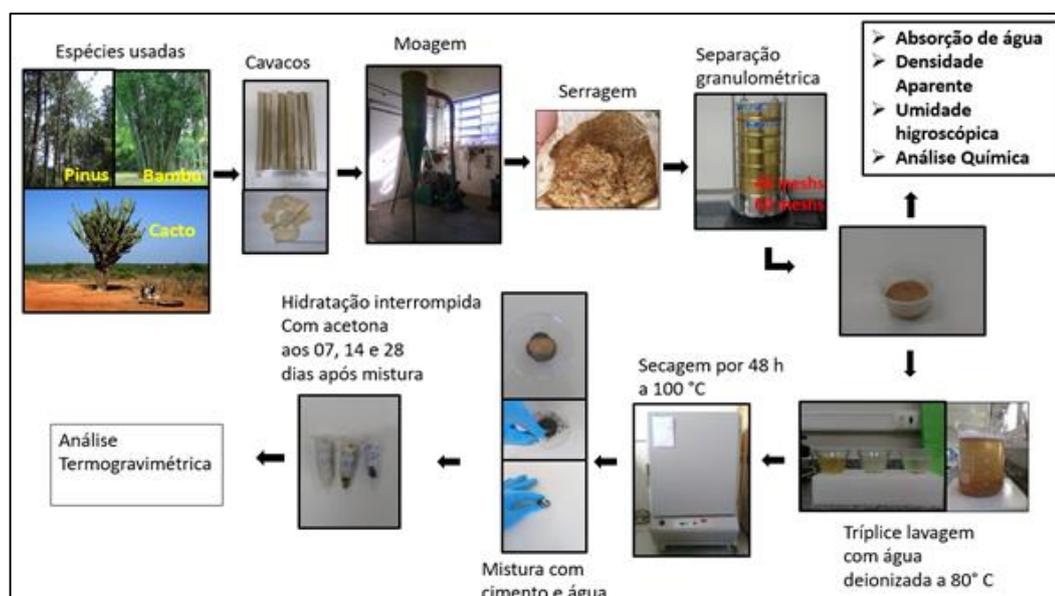
Corinadelsi *et al.* (2015) utilizaram serragem grossa (0 – 8 mm), serragem fina (0 – 2 mm) e aparas de madeira (0 – 10 mm) obtidas em serrarias, com propósito de substituição parcial da areia em argamassas. Os materiais vegetais foram pré-embebidos em água e hidróxido de cálcio antes da realização da mistura com cimento e areia. Três valores foram testados: 2,5%, 5%, e 10% de agregados em relação a quantidade de areia da argamassa. A argamassa contendo serragem (0 – 2 mm) apresentou melhores resultados de compressão do que a argamassa contendo as partículas maiores, porém o resultado de compressão foi satisfatório apenas para uma taxa de substituição de 2,5% aos 28 dias de hidratação.

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento ocorreu em duas etapas:

- 1) Caracterização físico-química das partículas lignocelulósicas de *Cereus jamacaru*, *Bambusa vulgaris* e *Pinus taeda*. Conforme fluxograma 1.
- 2) Produção e caracterização físico-química dos compósitos.

Fluxograma 1 - Demonstração das etapas do experimento.



### 5.1 Materiais utilizados

Foram escolhidas para estudo na primeira etapa, três espécies lignocelulósicas abaixo descritas:

- *Cereus Jamacaru*: Espécie popularmente conhecida como Mandacaru, pertencente ao gênero *Cactaceae*, natural da Caatinga brasileira. Material procedente de Barueri-SP, retirado do cerne com 3 anos de idade;
- *Bambusa Vulgaris*: Espécie de origem asiática trazida pelos colonizadores portugueses (Silva, 2005). Foi utilizado exemplar de aproximadamente 3 anos de idade, retirados da área basal do colmo, obtido no campus da Universidade Federal de Lavras – MG;
- *Pinus Taeda*: Natural da América Central. O material foi obtido em forma de serragem contendo cerne e alburno em sua composição. A serragem foi extraída do tronco de uma árvore com 28 anos, sendo procedente do campus da Universidade Federal de Lavras, com 28 anos de idade.

Na segunda etapa, foram utilizados os seguintes componentes da madeira:

Lignina, celulose micro cristalina (MCC), glucose e pectina.

O cimento utilizado foi o CP V Ari (Alta Resistência Inicial). Escolheu-se trabalhar com este cimento, devido o mesmo ser mais reativo, apresentando a capacidade de se hidratar mais rapidamente que os demais, adquirindo assim, maior resistência em um período menor de tempo. Foi utilizado o Cimento CPV Ari tanto nos compósitos com a fibras de *Bambusa vulgaris*, *Pinus taeda* e *Cereus jamacaru*, como nos compósitos moldados com os componentes da madeira isoladaos. A caracterização química e física do cimento CPV Ari está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1- Composição química e propriedades físicas Cimento CPV, fornecidas pelo fabricante.

Oxidos (wt.%)	CP V ARI
CaO	63.8
SiO <sub>2</sub>	17.80
SO <sub>3</sub>	3.82
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.98
K <sub>2</sub> O	0.82
TiO <sub>2</sub>	0.21
MnO	0.1
MnO	0.1
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	3.2
Área Superficial (m <sup>2</sup> /Kg)	420

## 5.2 Moagem e peneiramento dos materiais lignocelulósicos

Os cavacos de *Bambusa vulgaris*, *Pinus taeda* e *Cereus jamacaru* passaram por moagem realizada em moinho tipo martelo e posterior separação granulométrica, com passagem pela peneira de 40 mesh (0,425 mm) e retenção na de 60 mesh (0,250 mm). Parte das partículas de cada material, permaneceu sem aplicação de nenhum tratamento e parte das partículas receberam tratamento de lavagem.

## 5.3 Ciclo de lavagem das partículas lignocelulósicas

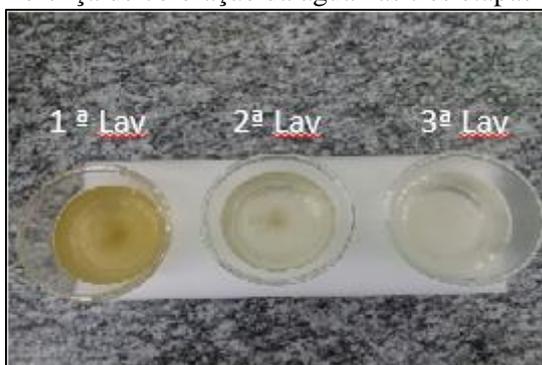
A lavagem das partículas ocorreu com uso de uma chapa aquecedora, um termômetro eletrônico de contato e um béquer de vidro com capacidade de 1000 ml (Figura 4 e figura 5). Em cada ciclo de lavagem foram adicionados 1000 ml de água deionizada e 10 g de partículas a cada béquer (proporção partícula: água de 1:100). A água foi mantida em um intervalo de 80 à 100 °C durante uma hora, sua coloração final registrada e era então descartada para um novo ciclo (Glória, 2015). Foram realizados 3 ciclos de lavagens para as partículas de cada espécie.

Figura 4 - Lavagem das partículas em água deionizada entre 80 e 100° C.



Acervo pessoal

Figura 5 - Diferença de coloração da água nas três etapas de lavagens.



Acervo pessoal

Após lavagem, as partículas lignocelulósicas foram levadas para secar em estufa, em temperatura de 100°C por 48 h.

#### 5.4 Caracterização física dos materiais

Após seco, o material seguiu para caracterização física. Durante a etapa de caracterização física, utilizou-se as partículas vegetais que passaram por tratamento de lavagem e as partículas que permaneceram em seu estado natural. Foram realizadas as seguintes análises:

##### 5.4.1 Determinação da Absorção de água das partículas

Para determinação da Absorção de água foi utilizado procedimento adaptado da NBR 11941/ABNT 2003. As partículas vegetais foram deixadas em água deionizada por 72 horas até sua completa saturação. Foi então mensurada a massa saturada ( $m_{st}$ ). As partículas foram então encaminhadas à estufa onde permaneceram por 48 horas a 105 °C para pesagem da massa seca ( $m_{sc}$ ). A absorção foi então determinada através da Equação 1:

$$Ab (\%) = \frac{m_{st} - m_{sc}}{m_{sc}} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde,  $Ab$  = Absorção;  $m_{st}$  = massa saturada;  $m_{sc}$  = massa seca

### 5.4.2 Determinação da Densidade Aparente

Primeiramente, as partículas vegetais de cada espécie lignocelulósica, foram mantidas em uma Sala de climatização UR: 65% por 7 dias, para atingirem estabilidade de massa e equilíbrio higroscópico. Para determinação da densidade foi utilizado procedimento adaptado da (NM 52/2009). As partículas vegetais foram colocadas em um recipiente cujo volume e massa eram conhecidos ( $v_{rec}$  e  $m_{rec}$ ). O recipiente foi preenchido com cada tipo de partícula e o conjunto recipiente-partículas foi pesado ( $m_{rec+p}$ ). A densidade aparente das partículas à umidade higroscópica pôde ser calculada através da Equação 2:

$$D = \frac{m_{rec+p} - m_{rec}}{v_{rec}} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde,  $D$  = Densidade aparente;  $m_{rec+p}$  = massa do recipiente + a massa das partículas vegetais;  $m_{rec}$  = massa do recipiente.

### 5.4.3 Umidade higroscópica

Para a realização desse procedimento foram utilizados 2 cadinhos de porcelana. Cada um deles foi pesado e seus valores foram anotados como  $m_{cad}$ . Com o auxílio de uma balança, 1 g de partículas vegetal foi adicionado a cada cadinho que foram novamente pesados e os valores foram anotados como  $m_{solo+cad}$ .

Após esse procedimento, os cadinhos ficaram na estufa por 48 horas a 105 °C para secagem. Por fim as cápsulas foram transferidas para um dessecador até atingirem a temperatura ambiente (estabilização) e o conjunto foi tampado, pesado e anotado com  $m_{seca+cap}$ .

Para determinar o teor de umidade em relação à massa seca da partícula foi utilizada a Equação (1). O valor  $m_w$  foi obtido através da subtração de  $m_{seca+cap}$  e de  $m_{solo+cap}$ . E  $m_w$  foi obtido através da subtração de  $m_{cap}$  de  $m_{seca+cap}$ .

## 5.5 Análises Químicas dos Materiais Lignocelulósicos

As amostras de cada partícula vegetal, com tratamento e sem tratamento de lavagem, passaram por análise química para quantificação dos componentes primários (celulose, hemicelulose, lignina e extrativos).

### 5.5.1 Extrativos

A quantificação dos extrativos totais foi feita de acordo com a norma NBR 14853 (ABNT, 2010). O procedimento utilizado para a obtenção da madeira livre de extrativos foi de extração com acetona (2:1) duas gramas de acetina para uma grama de partícula vegetal. O processo se deu por 6 horas, seguido por extração com etanol por 5 horas em extrator soxhlete uma extração final com água quente.

Ao final, o cadinho de porosidade contendo a amostra livre de extrativos foi levado à estufa calibrada a 105 °C.

A porcentagem de extrativos foi determinada de acordo com a Equação 3:

$$Ext(\%) = \left( \frac{Mi - Mf}{Mi} \right) * 100 \quad (\text{Equação 3})$$

Onde,  $Ext$  = Teor de extrativos totais em %;  $Mi$  = Massa inicial (g);  $Mf$  = Massa da amostra livre de extrativos, em gramas (g)

### 5.5.2 Lignina

A quantificação da lignina foi realizada de acordo com a norma NBR 7989 (ABNT, 2010). O método estabelecido foi de hidrólise tratando-se as amostras de madeira livre de extrativos com  $H_2SO_4$  (15 ml por amostra) 72% por um período de 2 horas em banho-maria a temperatura ambiente. As amostras passaram pelo processo de fervura durante 4 horas e filtradas em cadinhos forrados com óxido de alumínio. Ao final, o cadinho contendo a amostra foi levado à estufa calibrada a 105 °C. Determinou-se o teor de lignina de acordo com a Equação 4.

$$Tlig(\%) = \frac{Mlignina}{Ms} x 100 \quad (\text{Equação 4})$$

Onde,  $Tlig(\%)$  = Teor de lignina (%);  $Mlignina$  = Massa seca de lignina (retida no cadinho), gramas;  $Ms$  = massa seca da amostra (livre de extrativos), gramas.

### 5.5.3 Holocelulose

Obteve-se o teor de holocelulose seguindo o procedimento descrito por Browning (1963), no qual 2g (com precisão de 0,1 mg) do material previamente seco a 105 ° C foi colocado em um erlenmeyer de 125 mL, juntamente com 55 mL de água, 2 mL de uma solução de clorito de sódio 30% (m/v) e 2 mL de uma solução de ácido acético (1:5, v/v). Tampou-se o erlenmeyer com outro de 25 mL invertido e o conjunto foi colocado em um banho termostatizado, a  $70 \pm 5^\circ C$ . Foi repetida a adição de solução de ácido acético e clorito de sódio a cada 45 minutos.

Ao final de aproximadamente 4 horas a mistura foi resfriada lentamente e filtrada em cadinho de vidro com placa porosa previamente tarado. Lavou-se exaustivamente a holocelulose (resíduo sólido) resultante com água fria e com três porções de metanol e, posteriormente, seca em estufa a 105° C, até massa constante. Para quantificar a holocelulose, foi usada a Equação 5.

$$Holocelulose (\%) = \frac{Mf}{Mi} x 100 \quad (\text{Equação 5})$$

Onde,  $M_f$  = Massa de holocelulose (retida no cadinho de porosidade);  $M_i$  = Massa inicial da madeira livre de extrativos.

#### 5.5.4 Celulose

O teor de celulose foi determinado seguindo-se procedimento descrito por Kennedy, Phillips e Willians (1987). Em um recipiente de plástico, foram adicionados cerca de 1 g de holocelulose seca (pesada com precisão de 0,1mg) e 15 mL de solução de KOH 24% (m/v). Sendo a mistura mantida sob agitação à temperatura ambiente durante 15 horas e, em seguida, filtrada em cadinho de vidro com placa porosa previamente tarado.

O resíduo sólido (celulose) resultante foi lavado com água destilada até a neutralidade do filtrado, com duas porções de ácido acético 1% e, por último, com etanol. A celulose foi seca em estufa, a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ , até massa constante. Pra quantificar a celulose, usou-se a Equação 6.

$$Celulose = \frac{M_{fc}}{M_{ih}} \times 100 \quad (\text{Equação 6})$$

Onde,  $M_{fc}$  = Massa final de celulose;  $M_{ih}$  = Massa inicial de holocelulose.

#### 5.5.5 Hemicelulose

Quantificou-se a hemicelulose pela diferença entre o teor de holocelulose e o teor de celulose.

$$Hemicelulose = M_h - M_c$$

Onde,  $M_h$  = Massa de holocelulose;  $M_c$  = Massa de celulose.

#### 5.6 Análise Termogravimétrica

A análise termogravimétrica (TGA) foi realizada para as três espécies antes e após o processo de lavagem. Aproximadamente 10 mg de partículas de cada material (*Bambusa vulgaris*, *Pinus taeda* e *Cereus jamacaru*) natural e com tratamento de lavagem, foram adicionadas a um SDT Q600 V20.9 Build 20 (Universal V4.5A TA Instruments). A taxa de aquecimento foi de  $10^\circ\text{C} / \text{min}$ , com temperatura inicial de  $40^\circ\text{C}$  e temperatura final de  $900^\circ\text{C}$ , em um cadinho de alumina utilizando 50 ml/min de nitrogênio como gás de purga (Alex et al, 2014). A temperatura de degradação foi determinada a partir da inflexão da linha de base na curva termogravimétrica diferencial (DTGA).

#### 5.7 Moldagem dos compósitos

Foram feitas duas campanhas experimentais:

- 1) Influência dos componentes básicos da madeira (lignina, celulose, pectina e glucose) na hidratação do cimento.

- 2) Influência das partículas naturais e tratadas de *Bambusa vulgaris*, *Pinus taeda* e *Cereus jamacaru*, na hidratação do cimento.

Para a etapa 1 pequenas amostras contendo 15g de cimento foram moldadas em recipientes plásticos. As amostras foram moldadas, com auxílio de um misturador do tipo Vortex por 2 minutos a uma rotação de 3000 rpm. Foram adicionados alguns componentes principais da madeira em relação a massa do cimento. Lignina, Microcelulose cristalina, pectina e glucose foram adicionados a pastas de cimento em teores de 1%, 2% e 4% em relação a massa de cimento. Tais valores foram utilizados, por se tratarem de componentes isolados. Peschard et al. (2004) ao trabalharem com efeito de polissacarídeos na hidratação do cimento, utilizaram valores de cada polissacarídeo inferiores a 1% da massa do cimento. A quantidade de água utilizada correspondeu a 45% da quantidade do cimento. Os valores em massa para cada substituição encontram-se detalhados na Tabela 2.

Tabela 2 – Traço das misturas de cimento, componente da madeira e água. Cada componente foi utilizado em três teores (1%, 2% e 4%) em relação a massa do cimento. A água utilizada correspondeu a 45% da massa do cimento.

Mistura	Materiais e dosagem em relação a massa de cimento					
	Cimento	Lignina	Celulose	Pectina	Glucose	Água
Lignina 1%	1	0,01	-	-	-	0,45
Lignina 2%	1	0,02	-	-	-	0,45
Lignina 4%	1	0,04	-	-	-	0,45
Celulose 1%	1	-	0,01	-	-	0,45
Celulose 2%	1	-	0,02	-	-	0,45
Celulose 4%	1	-	0,04	-	-	0,45
Pectina 1%	1	-	-	0,01	-	0,45
Pectina 2%	1	-	-	0,02	-	0,45
Pectina 4%	1	-	-	0,04	-	0,45
Glucose 1%	1	-	-	-	0,01	0,45
Glucose 2%	1	-	-	-	0,02	0,45
Glucose 4%	1	-	-	-	0,04	0,45

O objetivo desta etapa foi avaliar a influência de cada componente separadamente nos estágios de hidratação do cimento. Por se tratar de componentes isolados das matérias lignocelulósicas, procurou-se trabalhar com quantidades máximas de 4% em relação ao

cimento. Pershard *et al.* (2010) ao trabalharem com os componentes separadamente em adição ao cimento, utilizaram valores máximos de 0,3 %.

Para a etapa 2 foram realizadas duas formas de moldagens. Na primeira, foram adicionadas 33,3% em massa de partícula de cada material em relação ao cimento, 40% de água, seguido de aplicação de água de compensação até que a mistura adquirisse consistência de pasta, conforme Tabela 3. Na segunda etapa, aplicou-se o mesmo traço da primeira, porém não houve adição de água de compensação. Na Tabela 4 é possível observar que não houve adição de água de compensação, ficando a mistura, com menos quantidade de água que a mistura descrita na Tabela 3.

Tabela 3 - Traço das misturas de cimento, material lignocelulósico, água e água de compensação. As partícula foram aplicadas na proporção de 33% em relação a massa do cimento.

<b>Traço</b>					
Mistura	Cimento CPV (g)	Partícula lignocelulósica (g)	Água (g)	Água de comp. (g)	Massa total de água (g)
BN/CPV	3,66	1,22	1,46	4,64	6,10
BL/CPV	3,48	1,16	1,39	4,88	6,27
CN/CPV	1,98	0,66	0,79	2,34	3,14
CL/CPV	1,62	0,54	0,65	2,30	2,95
PN/CPV	2,90	0,97	1,16	3,24	4,40
PL/CPV	3,17	1,06	1,27	1,64	2,90
PASTA CPV	4,0	-	1,6	-	1,6

BN = Bambu Natural; BL = Bambu Lavado; CN = Cacto Natural; CL = Cacto Lavado; PN = Pinus Natural; PL = Pinus Lavado; PASTA = Cimento e Água.

A variação na quantidade de água utilizada para cada mistura, deve-se ao fato de cada partícula apresentar características físico-químicas diferentes, principalmente em relação a absorção, pois parte da água adicionada na mistura passa a ser absorvida pelas partículas lignocelulosicas.

Tabela 4 - Traço das misturas de cimento, material lignocelulosico e água.

<b>Mistura</b>	<b>Cimento CPV (g)</b>	<b>Partícula lignocelulosica (g)</b>	<b>Água (g)</b>
BN/CPV	5	1,65	2
BL/CPV	5	1,65	2
CN/CPV	5	1,65	2
CL/CPV	5	1,65	2
PN/CPV	5	1,65	2
PL/CPV	5	1,65	2
PASTA CPV	5	-	2

O tempo gasto para cada moldagem ocorreu da seguinte forma: Mistura da biomassa e cimento em cadinhos de 50 ml durante 1 minuto, seguido de adição de água gradativamente através de uma pipeta manual de volume variável, em mistura continua durante 1 minuto. A água de compensação foi adicionada logo após, em um tempo de adição e mistura de 4 minutos. Ao fim da adição de água de compensação, prosseguiu com a mistura durante 1 minuto e posterior moldagem em filmes plásticos. O tempo gasto para cada moldagem foi de 7 minutos. (SILVEIRA, 2019).

## **5.8 Caracterização dos compósitos produzidos**

A caracterização dos compósitos foi realizada em mistura no estado fresco e misturas no estado endurecido.

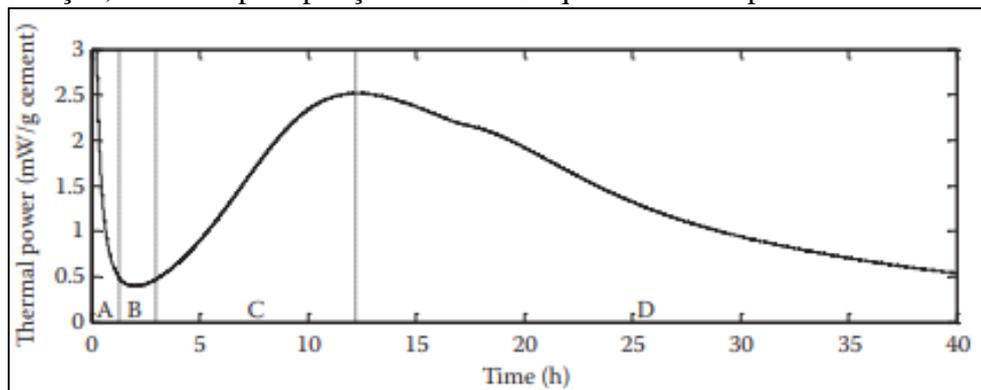
### **5.8.1 Estado fresco**

Durante o estado fresco foi realizado a análise de calorimetria adiabática em um calorímetro multicanal, modelo MC-CAL fabricado pela C3Prosess GmbH Company. A análise de calor isotérmico foi realizada nas pastas hidratadas a 20° C (com precisão de 0,0001° C) por 7 dias. Uma mistura manual de um minuto foi realizada com um vórtice manual (empresa Heidolph) a 5600 rpm. Cerca de 5g de cimento foram usados para análise dos componentes básicos dos materiais lignocelulósicos (celulose, lignina, glucose e pectina) na hidratação do cimento em misturas de 1%, 2% e 4% em relação a massa do cimento. Posteriormente avaliou-se o efeito das partículas moídas de cada espécie, com aplicação de tratamento e sem aplicação de tratamento, em proporções de 5%, 10% e 33% em relação a massa do cimento. Os valores mais elevados das partículas vegetais aplicadas junto ao cimento, em relação aos componentes

separadamente, se deve ao fato de ser o que ocorre na prática de produção de compósitos cimento madeira.

As curvas de calorimetria, apresentam eventos térmicos oriundos do comportamento, geralmente apresentadas em forma de pico. De acordo com Lothenbach *et al* (2016) o objetivo da calorimetria na maioria dos calorímetros utilizados no campo do cimento, consiste em estudar a cinética e os níveis de hidratação do cimento, de forma que através das curvas calorimétricas, a hidratação possa ser dividida em fases diferentes. Alguns autores, como Bensted (1987) e Taylor (1987) atribuem as seguintes etapas na hidratação do cimento: Período de indução, fase de dormência, fase de aceleração e fase de desaceleração, conforme apresentado na Figura 6.

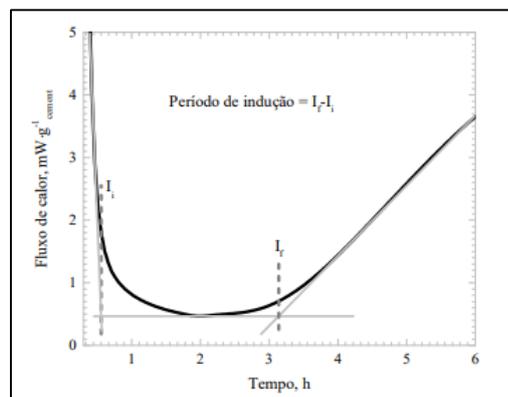
Figura 6 - Etapas de hidratação do cimento, onde A representa o período de indução com grande liberação de calor em curto período de tempo; B corresponde ao período de dormência; C corresponde ao período de aceleração após retomada na hidratação devido rompimento da barreira da Etringita até o pico máximo de calor; D corresponde ao período de desaceleração, marcado pelo início da redução de íons em solução, devido a precipitação de hidratos que cobrem as partículas de cimento.



Estágios da hidratação do cimento. Lothenbach *et al* (2016)

Para estimar o período de indução, seguiu método descrito por Vitorino (2017), que consiste em traçar três tangentes no gráfico, conforme demonstra a Figura 7.

Figura 7 - Estimativa do período de indução através do pico de calor. Vitorino (2017).



### 5.8.2 Estado endurecido

Para o estado endurecido das partículas de madeira com a matriz cimentícia foram realizadas, análise termogravimétrica (TGA) e espectroscopia por energia dispersiva (EDS).

A análise termogravimétrica (TGA) dos compósitos foi realizada apenas para as misturas/idades em que se obteve endurecimento. Aproximadamente 10 mg de cada mistura, moída e reduzida a partículas com diâmetro menor que 200 mesh foram adicionadas a um SDT Q600 V20.9 Build 20 (Universal V4.5A TA Instruments). A taxa de aquecimento foi de 10°C / min até atingir uma temperatura de 900°C em um cadinho de platina utilizando 50 ml/min de nitrogênio como gás de purga. A temperatura de degradação foi determinada a partir da inflexão da linha de base na curva termogravimétrica diferencial (DTGA).

Foram avaliadas 3 idades de hidratação da pasta com água de compensação, compreendidas em 7, 14 e 28 dias após mistura e moldagem da pasta. Para a mistura sem água de compensação, avaliou-se 2 idades de hidratação, compreendidas em 14 e 28 dias após mistura e moldagem.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Análise físico-química dos materiais lignocelulósicos

Os resultados das análises físico-químicas das partículas de *Pinus taeda*, *Bambusa vulgaris* e *Cereus jamacaru* estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Resultados das análise física das partículas lignocelulósicas

Material	Absorção (%)	Densidade aparente g/cm <sup>3</sup>	Umidade higroscópica (%)
<i>Pinus taeda</i> Natural	317,61	0,50	14,58
<i>Pinus taeda</i> Lavado	667,85	0,60	104,13
<i>B. vulgaris</i> Natural	757,14	0,68	21,08
<i>B. vulgaris</i> Lavado	833,75	0,64	40,58
<i>C. Jamacaru</i> Natural	706,04	0,255	75,67
<i>C. Jamacaru</i> Lavado	850	0,19	134,25

É possível observar que a amostra de *Pinus taeda*, antes do tratamento de lavagem das partículas, apresentou menor absorção dentre os materiais lignocelulosicos em estudo. Tal fato pode estar relacionado a idade da árvore abatida, pois Magalhães et al. (2004) descrevem que madeira adulta apresenta maior permeabilidade do que a madeira jovem. *Pinus taeda* antes do tratamento apresentou densidade de 0,5 g/cm<sup>3</sup>. Ballarin e Palma (2003) obtiveram valores de densidade de 0,58g/cm<sup>3</sup> ao trabalharem com lenho adulto e 0,43 g/cm<sup>3</sup> para lenho juvenil de *Pinus taeda*. A umidade higroscópica obtida para *Pinus taeda* antes do tratamento de lavagem foi de 14,58%.

A amostra de *Cereus jamacaru* após o processo de lavagem, apresentou maior percentual de absorção entre as espécies. Isto pode estar relacionado a espessura dos vasos. Silveira (2019) descreve que a madeira da espécie apresenta amplo espaço de vasos. Também foi observado maior teor de umidade dentre as espécies. Apresentou densidade aparente após a lavagem de 0,19 g/cm<sup>3</sup>. O fato de ter apresentado a menor densidade aparente também se relaciona a absorção encontrada. Brandão (1989) define que quanto mais permeável é a madeira, possivelmente menor será sua densidade.

A amostra de *Bambusa vulgaris* apresentou a maior densidade entre as espécies, correspondendo a 0,68 g/cm<sup>3</sup> para *Bambusa vulgaris* antes do tratamento de lavagem e 0,64 g/cm<sup>3</sup> após o tratamento. Ciaramello e Azzini (1971) encontraram valores entre 0,55g/cm<sup>3</sup> e 0,7g/cm<sup>3</sup>, porém na maioria dos trabalhos, a densidade aparente de *Bambusa vulgaris* se encontra na faixa de 0,4 e 0,5 g/cm<sup>3</sup>. Para Britos *et al.* (1987) a densidade mais elavada, de *Bambusa vulgaris* pode se relacionar a idade da touceira e parte do colmo utilizada. A caracterização química descrita no item 6.2 também ajuda esclarecer a maior densidade obtida para a espécie.

## 6.2 Análise química dos materiais

Os resultados da caracterização química de *Pinus taeda*, *Bambusa vulgaris* e *Cereus jamacaru* encontram-se descritos na Tabela 6. Não se avaliou os teores de lignina solúvel e cinzas das madeiras.

Tabela 6 - Composição química dos materiais lignocelulósicos.

<b>Material</b>	<b>Extrativo (%)</b>	<b>Lignina Insolúvel (%)</b>	<b>Celulose (%)</b>	<b>Hemicelulose (%)</b>
<i>Pinus taeda</i> Natural	5,28	27,84	51,96	12,81
<i>Pinus taeda</i> Lavado	3,35	28,18	52,89	12,96
<i>B. vulgaris</i> Natural	6,14	20,57	51,9	18,95
<i>B. vulgaris</i> Lavado	4,84	20,78	51,72	19,17
<i>C. Jamacaru</i> Natural	17,64	10,17	32,65	18,56
<i>C. Jamacaru</i> Lavado	3,16	11,69	38,18	20,95

O *Pinus taeda* sem aplicação de tratamento apresentou de 5,28 de extrativos totais. Garcia *et al.* (2014) obtiveram valor de 6% sem aplicação de tratamentos e Rigatto *et al.* (2004) obtiveram média de 2,99% de extrativos ao trabalharem com oriundos de plantios de várias regiões. Lignina insolúvel representou 27,84% da composição, sem aplicação de tratamento. Ferraz *et al.* (2005) obtiveram valor de 28,2% de lignina para a mesma espécie sem aplicação de tratamento de fervura e Rigatto *et al.* (2004) obtiveram média de 28,14 % de lignina. A celulose quantificada correspondeu a 51,96% e a hemicelulose correspondeu a 13,5% da composição. Rigatto *et al.* (2004) quantificaram 53,69 de celulose e 13,5% de hemicelulose sem aplicação de tratamentos.

*Bambusa vulgaris*, apresentou 6,14% de extrativos totais antes do tratamento. Moreira (2012) obteve média de 4,74% de extrativos ao avaliar três regiões do colmo de *Bambusa vulgaris*. A lignina correspondeu a 20,57% da composição sem aplicação de tratamento. Beraldo e Azzini (2004) ao trabalharem com outras espécies de bambu, obtiveram média de 14,5% de lignina. Moreira (2012) obteve média de 24,28 % de lignina ao avaliar base, meio e topo do colmo. A celulose representou 51,9% e hemicelulose representou 18,95% da composição antes do tratamento. Moreira (2012) obteve 73,55% de holocelulose.

*Cereus jamacaru*, dentre as três espécies lignocelulosicas estudadas, foi a que apresentou maior teor de extrativos totais, correspondendo este, a 17,64 % de sua composição, sem aplicação de tratamento. Silveira (2019) obteve 18,25 de extrativos sem aplicar tratamento. A lignina correspondeu a 10,17% antes do tratamento e 11,29% após o tratamento. A celulose correspondeu a 32,65% antes do tratamento e 38,18% após o tratamento. Hemicelulose correspondeu a 18,56 % da composição sem aplicação de tratamento e 20,95% após a aplicação do tratamento. Silveira (2019) obteve valor de 21,4% de celulose e 16,2% de hemicelulose sem aplicar tratamento na madeira de *Cereus jamacaru*.

Após aplicação do tratamento de tríplice lavagem em água deionizada, *Pinus taeda* apresentou 3,35% de extrativos em sua composição. *Bambusa vulgaris* apresentou 4,84% de extrativos e *cereus jamacaru*, sendo a espécie que apresentou maior redução de extrativos após o processo de lavagem, apresentou 3,16% de extrativos. Esta redução se relaciona a retirada dos sais inorgânicos, polissacarídeos de baixa massa molecular, açúcares, cicloses e ciclitóis e algumas substâncias fenólicas solúveis em água. Os extrativos presentes nos materiais lignocelulósicos após o tratamento são compostos por: resinas, óleos, ceras e graxas.

*Pinus taeda* foi a espécie que apresentou maior teor de lignina insolúvel, porém os teores de celulose e hemicelulose ficaram bem próximos dos teores apresentados por *Bambusa vulgaris*. O menor teor de lignina, celulose e hemicelulose foi observado para *Cereus jamacaru*.

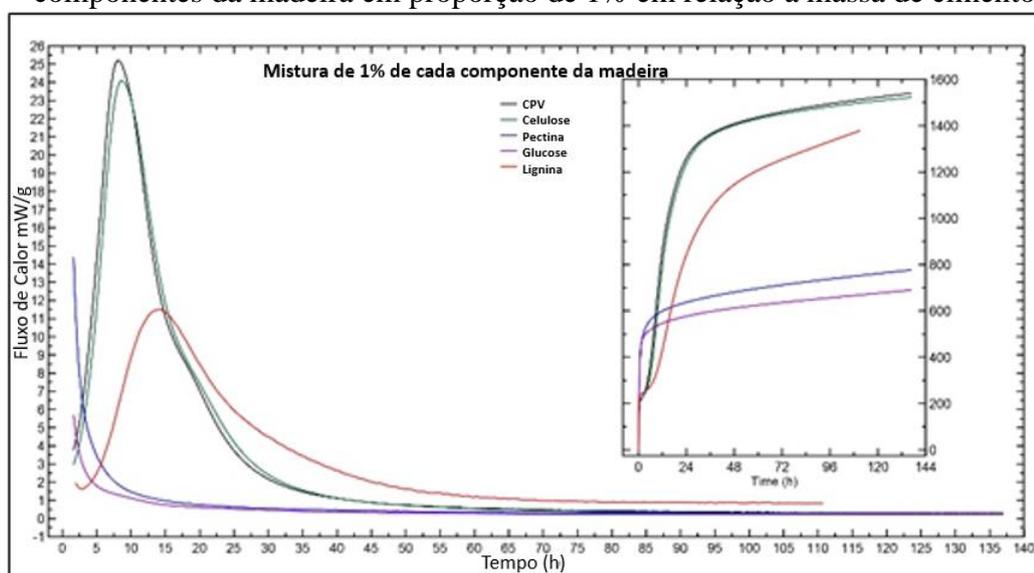
O fato de *Pinus taeda* e *bambusa vulgaris* terem apresentado maiores teores de lignina, celulose e hemicelulose se relacionam com a densidade, pois as duas espécies apresentaram densidades mais elevadas que *Cereus jamacaru*. De acordo com Santos (2008) os teores de lignina, celulose e hemicelulose tem correlação positiva com a densidade, já os extrativos não apresentam correlação significativa. No item 6.3 será possível correlacionar os teores dos componentes químicos obtidos com os estágios de hidratação do cimento.

### 6.3 Calorimetria

Os resultados referentes a calorimetria serão discutidos em duas etapas, conforme descritos e na metodologia deste trabalho. Primeiro serão discutidos os resultados referentes a influência dos componentes básicos (Celulose, glucose, pectina e lignina) dos materiais lignocelulosicos na hidratação do cimento em proporções de 1%, 2% e 4% em relação a massa do cimento. A relação água e cimento permaneceu constante para todas as misturas. Posteriormente serão discutidos os resultados referentes a aplicação das partículas moídas de *Pinus taeda*, *Bambusa vulgaris* e *Cereus jamacaru*, com e sem tratamento de lavagem, nas proporções de 5%, 10% e 33% em relação ao cimento. Como descrito na primeira etapa, a relação água e cimento também permaneceu constante para todas as misturas.

Estão apresentas na Figuras 8, Figura 9 e Figura 10 a influência de alguns componentes básicos da madeira (celulose, glucose, pectina e lignina) na hidratação do cimento, aplicados a 1%, 2% e 4% em relação a massa do cimento. Com o calor total liberado, é possível estimar, o quanto determinada mistura se hidratou ao decorrer de determinado tempo, possibilitando avaliar se houve retardo na hidratação, quando comparada com a taxa de liberação de calor da pasta referênciã.

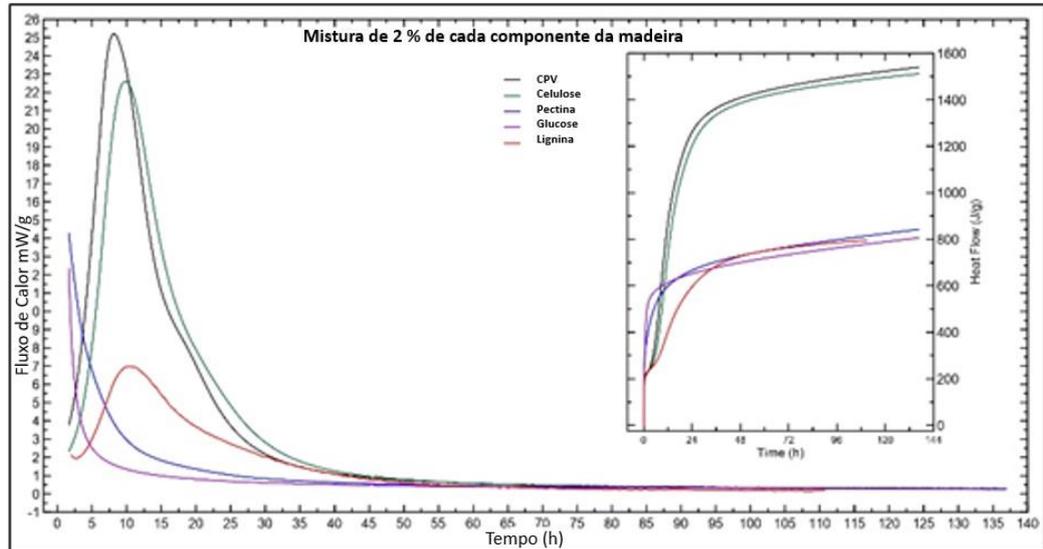
Figura 8 - Resultados dos ensaios de calorimetria de pastas de cimento adicionadas de componentes da madeira em proporção de 1% em relação a massa de cimento.



A pasta referênciã e a mistura com celulose a 1% deram início ao período de aceleração aproximadamente após 2,5 horas de mistura. A pasta referênciã liberou 25,5 mW/g, e a mistura de celulose liberou 24 mW/g. A mistura com lignina a 1% deu início ao período de aceleração aproximadamente após 4 horas de mistura, tendo aproximadamente 11,5 mW/g de liberação de

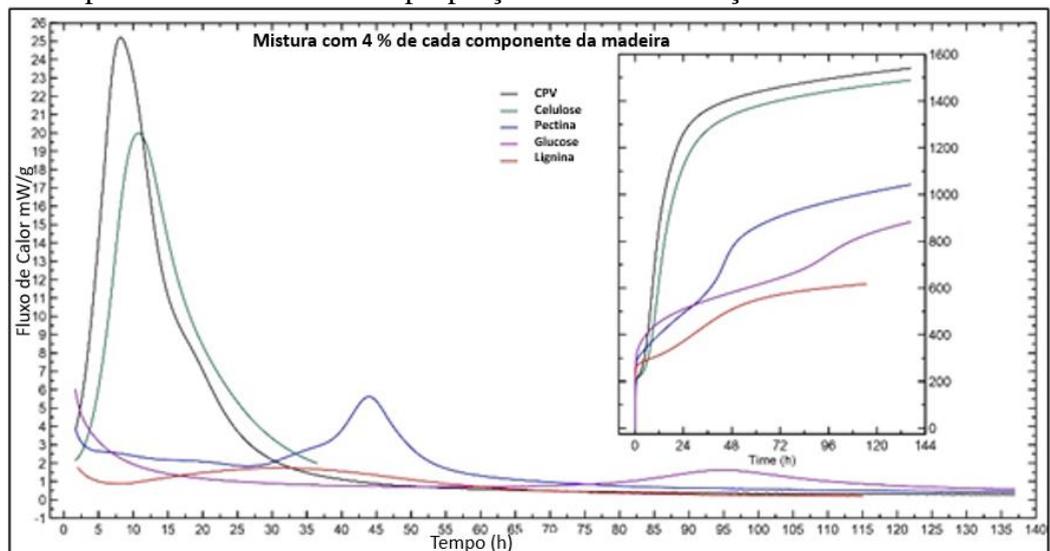
calor no período. As misturas com glucose e pectina a 1% não apresentaram retomada na hidratação.

Figura 9 - Resultados dos ensaios de calorimetria de pastas de cimento adicionadas de componentes da madeira em proporção de 2% em relação a massa de cimento.



A pasta referência e a celulose em mistura de 2% apresentaram início de período de aceleração aproximadamente após 2, 5 h. A taxa máxima de liberação de calor da celulose no período sofreu ligeira queda, correspondendo assim a aproximadamente 22,5 mW/g. A mistura de lignina deu início ao período de aceleração aproximadamente 4 h após mistura, tendo pico máximo de liberação de calor de aproximadamente 7 mW/g. A glucose e pectina não apresentaram retomada na hidratação.

Figura 10 - Resultados dos ensaios de calorimetria de pastas de cimento adicionadas de componentes da madeira em proporção de 4% em relação a massa de cimento.



A pasta referência e a celulose misturada a 4% deram início ao período de aceleração aproximadamente 2,5 h após mistura. A celulose liberou 20 mW/g. A lignina, glucose e pectina não retornaram a se hidratar.

De maneira geral todos os componentes inibiram a hidratação do cimento. Pode-se observar na figura 4 que a 1% na mistura, a celulose foi o componente que menos alterou a hidratação, chegando a liberar 24 mW/g enquanto a pasta referência liberou 25,5 mW/g. A lignina a 1% reduziu a taxa de liberação de calor para 11,5 mW/g. A glucose e a pectina foram os componentes que mais interferiram na hidratação, pois não houve liberação de calor após o estágio inicial, mesmo compondo apenas 1% da mistura. Kochova *et al* (2017) concluíram que a celulose em adição de 1% na pasta de cimento não retardou hidratação, causando ligeira aceleração da hidratação do cimento. Para Thomas *et al* (2009) A provável explicação é que a celulose fornece cristalização adicional somente para os produtos de hidratação que podem acelerar a reação ligeiramente. Kochova *et al* (2017) observaram que a lignina a 1% retardou ao máximo a hidratação do cimento por 63 horas.

Para as misturas com 2% de cada componente na Figura 9, pode-se observar que a celulose continuou afetando de forma reduzida a hidratação, pois a mistura com a mesma alcançou taxa de liberação de calor de 22,5 mW/g. A lignina por sua vez afetou ainda mais, alcançando somente 7 mW/g.

Para as misturas com 4 % de cada componente, é visto que a celulose reduziu a taxa de liberação e calor para 20 mW/g, conforme Figura 10. A lignina a 4 % afetou totalmente a hidratação, pois não houve retomada na hidratação após o estágio inicial. Para Smith *et al* (2012) cada açúcar pode apresentar diferentes estabilidades junto ao cimento, devido o pH elevado, reagindo de forma diferente com cada mineral do cimento.

Na segunda etapa de calorimetria, os resultados para taxa de liberação de calor podem ser encontrados nas Figuras 11, 12 e 13. As taxas de liberação de calor estão ainda, compiladas na Tabela 7.

Figuras 11 A - Gráfico da pasta referência (cimento e água em proporção de 1: 0,4) e mistura de *Pinus taeda* com e sem tratamento, em proporção de 5%, em relação ao volume do cimento Portland. (1: 0,05).

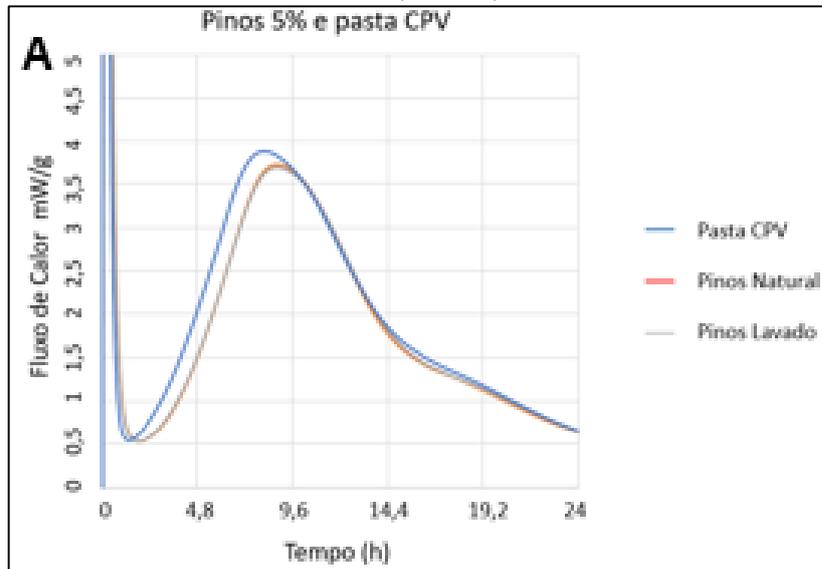


Figura 11 B - Gráfico da pasta referência (cimento e água em proporção de 1: 0,4) e mistura de *Bambusa vulgaris* com e sem tratamento, em proporção de 5%, em relação ao volume do cimento Portland. (1: 0,05).

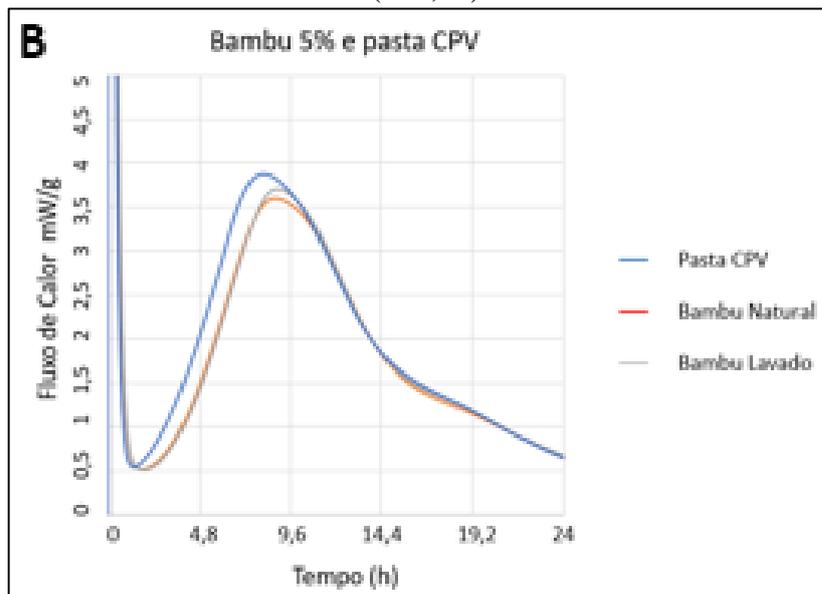
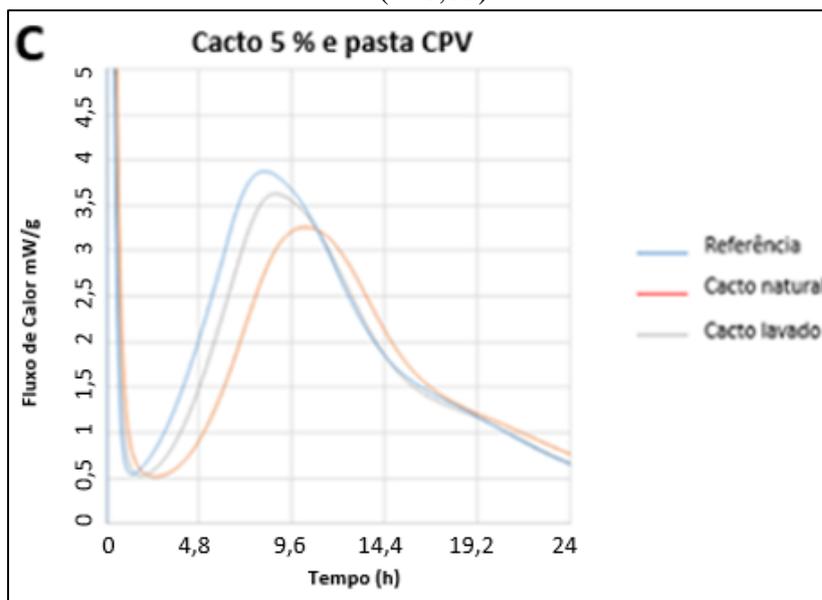


Figura 11 C - Gráfico da pasta referênci (cimento e água em proporção de 1: 0,4) e mistura de *Cereus jamacaru* com e sem tratamento, em proporção de 5%, em relação ao volume do cimento Portland. (1: 0,05).



Com 5% de partículas lignocelulosicas em relação ao cimento, a mistura de *Pinus taeda* lavado e *Pinus taeda* natural apresentaram aumento no período de indução de 0,5 h em relação a pasta referênci. A mistura com bambu lavado e bambu natural apresentaram aumento no período de indução de 0,6 h, não apresentando diferença antes e após o tratamento de lavagem. A mistura contendo *Cereus jamacaru* lavado apresentou aumento no período de indução de 0,8 h, enquanto o a mistura com *Cereus jamacaru* natural apresentou aumento de 2 h e relação ao período de indução da pasta referênci.

Para o período de aceleração, as mostras de *Pinus taeda* lavado e natural apresentaram liberação máxima de calor de 3,7 mW/g. As misturas contendo *Bambusa vulgaris* lavado e natural apresentaram liberação de calor de 3,7 mW/g. A mistura contendo *Cereus jamacaru* lavado apresentou liberação de calor equivalente 3,6 mW/g e a mistura com *Cereus jamacaru* natural apresentou 3,2 e 3,6 mW/g.

Figuras 12 A - Gráfico da pasta referência (Cimento e água na proporção de 1: 0,4)) e das misturas de *Pinus taeda*, com e sem tratamento, em proporção de 10% em relação ao volume do cimento Portland. Traço da mistura contendo cimento, partículas vegetais e água (1: 0,1: 0,4).

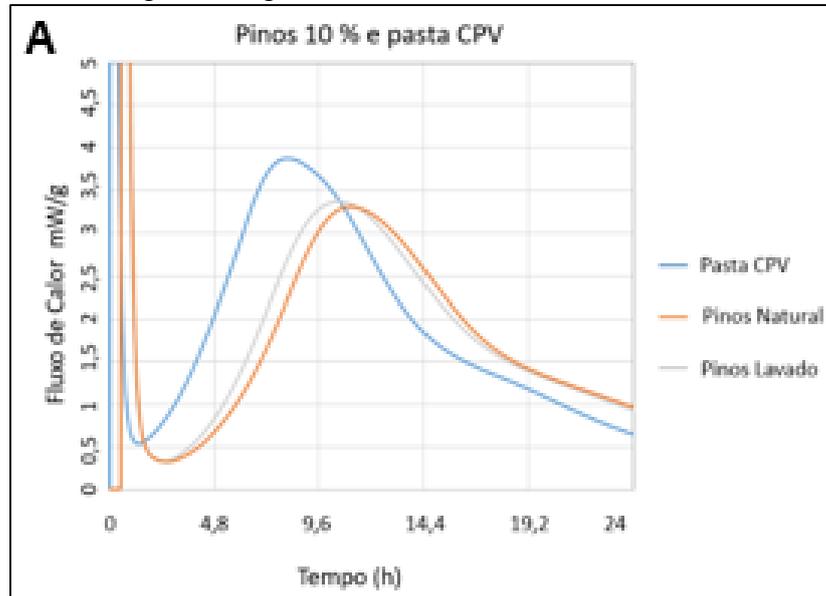


Figura 12 B - Gráfico da pasta referência (Cimento e água na proporção de 1: 0,4)) e da mistura de *Bambusa vulgaris* com e sem tratamento, em proporção de 10% em relação ao volume do cimento Portland. Traço da mistura contendo cimento, partículas vegetais e água (1: 0,1: 0,4).

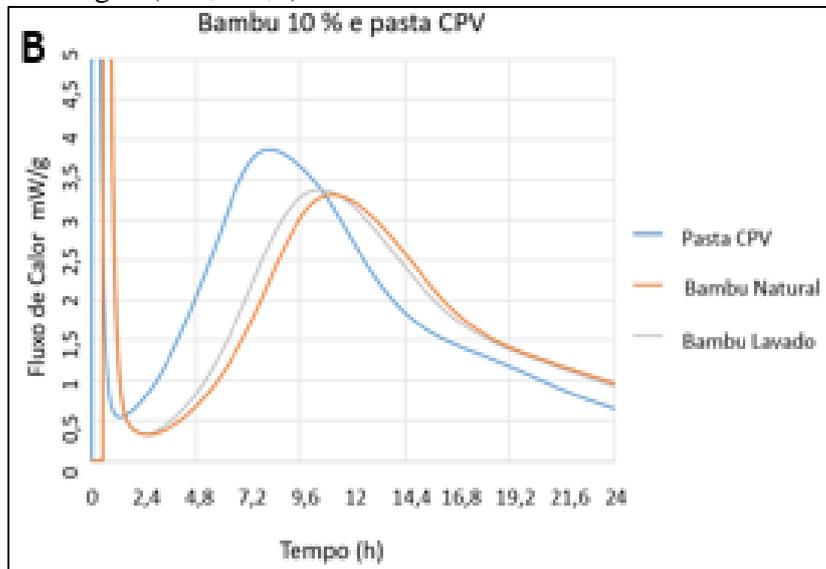
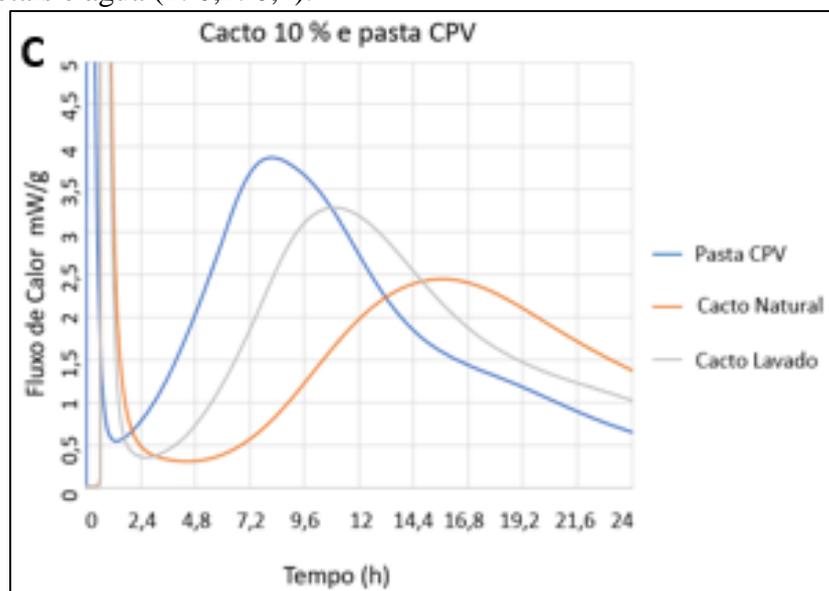


Figura 12 C - Gráfico da pasta referência (Cimento e água na proporção de 1: 0,4) e da mistura de *Cereus jamacaru* com e sem tratamento, em proporção de 10% em relação ao volume do cimento Portland. Traço da mistura contendo cimento, partículas vegetais e água (1: 0,1: 0,4).



Pinos = *Pinus taeda*; Bambu = *Bambusa vulgaris*; Cacto = *Cereus jamacaru*.

Para as aplicações com 10% de agregado vegetal em relação ao cimento, houve aumento no período de indução de 0,9 h para a mistura com pinos lavado e 1,1 h para a mistura com pinos natural. A mistura com bambu lavado e bambu natural apresentaram aumento de 1 h e de 1,2 h. Cacto lavado apresentou 1 h e cacto natural apresentou 2,1 h de aumento no período de indução.

No período de aceleração, a mistura contendo pinos lavado e pinos natural apresentaram liberação máxima de calor de 3,3 mW/g. As mistura com bambu lavado e a mistura com bambu natural apresentaram 3,4 mW/g. A mistura com cacto lavado e a mistura com cacto e cacto natural apresentaram 3,3 e 2,4 mW/g.

Figuras 13 A - Gráfico da pasta referência (Cimento e água na proporção de 1: 0,4) e da mistura de *Pinus taeda* com e sem tratamento, em proporção de 33% em relação ao volume do cimento Portland. Traço da mistura contendo cimento, partículas vegetais e água (1: 0,33: 0,4).

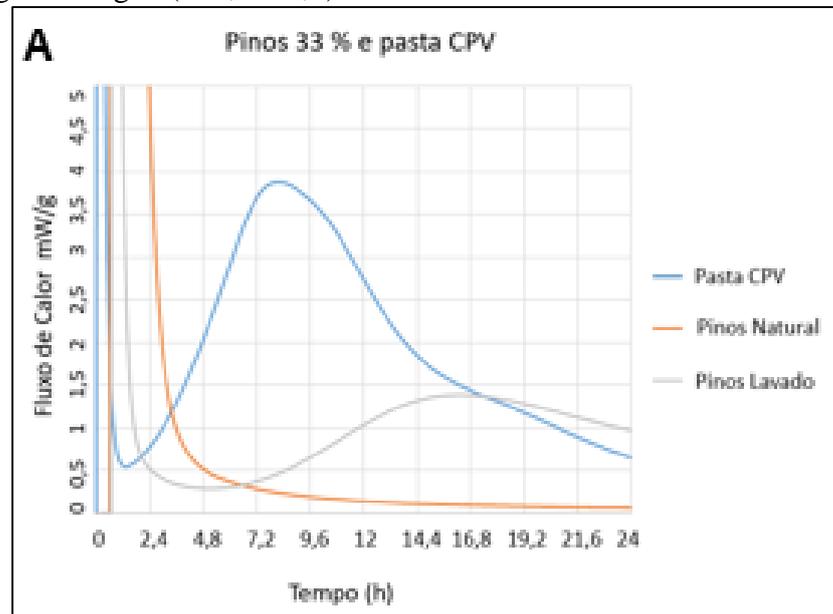


Figura 13 B - Gráfico da pasta referência (Cimento e água na proporção de 1: 0,4) e das misturas de *Bambusa vulgaris* com e sem tratamento, em proporção de 33% em relação ao volume do cimento Portland. Traço da mistura contendo cimento, partículas vegetais e água (1: 0,33: 0,4).

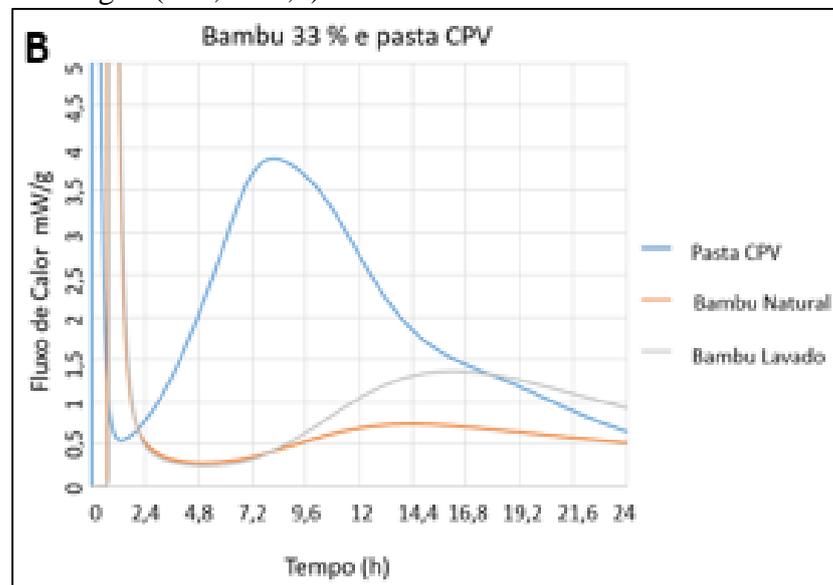
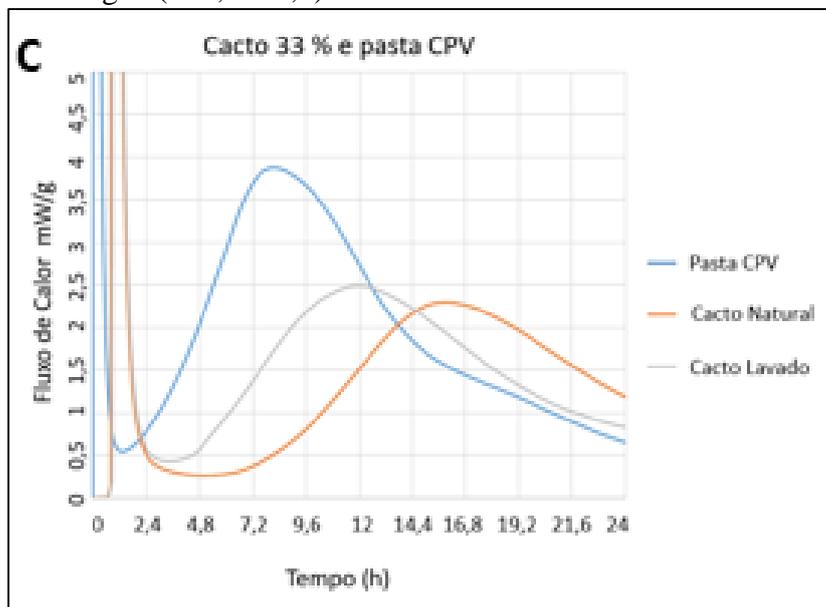


Figura 13 C – Gráfico da pasta referência (Cimento e água na proporção de 1: 0,4) e da mistura de *Cereus jamacaru* com e sem tratamento, em proporção de 33% em relação ao volume do cimento Portland. Traço da mistura contendo cimento, partículas vegetais e água (1: 0,33: 0,4).



Todas misturas contendo 33% de agregado vegetal em relação ao cimento, apresentaram aumento no período de indução. A mistura de pinos lavado apresentou aumento no período de indução de 5,2 h. A mistura com pinos natural não voltou a liberar calor de hidratação. A mistura de bambu lavado e bambu natural apresentaram período de indução de 5,2h e 55,5 h respectivamente. A mistura com cacto lavado e cacto natural apresentaram aumento de 1,2 h e 3,4 h.

No período de aceleração a mistura com pinus lavado alcançou liberação máxima de calor de 0,96 mW/g. A mistura com pinus natural a 33% não apresentou liberação de calor. A mistura com bambu lavado e bambu natural apresentaram liberação máxima de 0,96 e 0,7 mW/g. A mistura com cacto lavado e o cacto natural apresentaram 2,5 e 2,3 mW/g.

Tabela 7 - Valores referentes ao período de indução e calor total liberado para a pasta de cimento referência (cimento e água 1: 0,4) e mistura com adição das partículas lignocelulósicas nas proporções de 5%, 10% e 33% em relação a massa de cimento. Para todas as misturas a proporção de cimento e água permaneceu constante (1: 0,4).

<b>Pasta</b>	<b>Período de indução (h)</b>	<b>Varição em relação a Pasta CPV (h)</b>	<b>Calor acumulado (mW/h)</b>	<b>Varição de calor acumulado em relação a Pasta CPV (%)</b>
Pasta CPV	1,7	-	3,85	-
Pinos Lavado 5%	2,2	0,5	3,7	3,1
Pinos Natural 5%	2,2	0,5	3,7	3,1
Bambu Lavado 5%	2,3	0,6	3,7	3,2
Bambu Natural 5%	2,3	0,6	3,6	5,7
Cacto Lavado 5%	2,5	0,8	3,6	6,7
Cacto natural 5%	3,8	2	3,2	15,5
Pinos Lavado 10%	2,6	0,9	3,3	13,4
Pinos Natural 10%	2,8	1,1	3,3	13,4
Bambu Lavado 10%	2,7	1	3,4	11
Bambu Natural 10%	2,9	1,2	3,4	13,3
Cacto Lavado 10%	2,7	1	3,3	15
Cacto Natural 10%	4,8	2,1	2,4	36,75
Pinos Lavado 33%	6,9	5,2	0,96	65
Pinos Natural 33%	-	-	-	-
Bambu Lavado 33%	6,9	5,2	0,96	65
Bambu Natural 33%	7,2	5,5	0,7	82
Cacto Lavado 33%	2,9	1,2	2,5	35
Cacto Natural 33 %	5,1	3,4	2,3	40

As partículas de pinos e bambu com tratamento e sem tratamento, misturadas a 5% em relação ao cimento, apresentaram pouca diferença entre si e entre a pasta referência, no estágio de indução e no pico de liberação de calor durante o período de aceleração.

Já as partículas de cacto sem tratamento, misturadas a 5% em relação ao cimento, apresentaram período de indução maior que as demais, assim como o pico de liberação de calor no estágio de aceleração. É possível observar que os extrativos solúveis da madeira de cacto, afetam a hidratação do cimento, pois de acordo com os resultados da caracterização química a espécie cacto (*Cereus jamacaru*) sem aplicação de tratamento de lavagem, apresentou maior percentual de extrativos solúveis que as demais, correspondendo este a 17,64% de sua composição química. Devido ao cacto apresentar mais pectina em sua composição, pressupõe que isso também se relacione ao maior período de indução, correlacionando a elevada interferência do polissacarídeo demonstrada na etapa de avaliação dos componentes básicos.

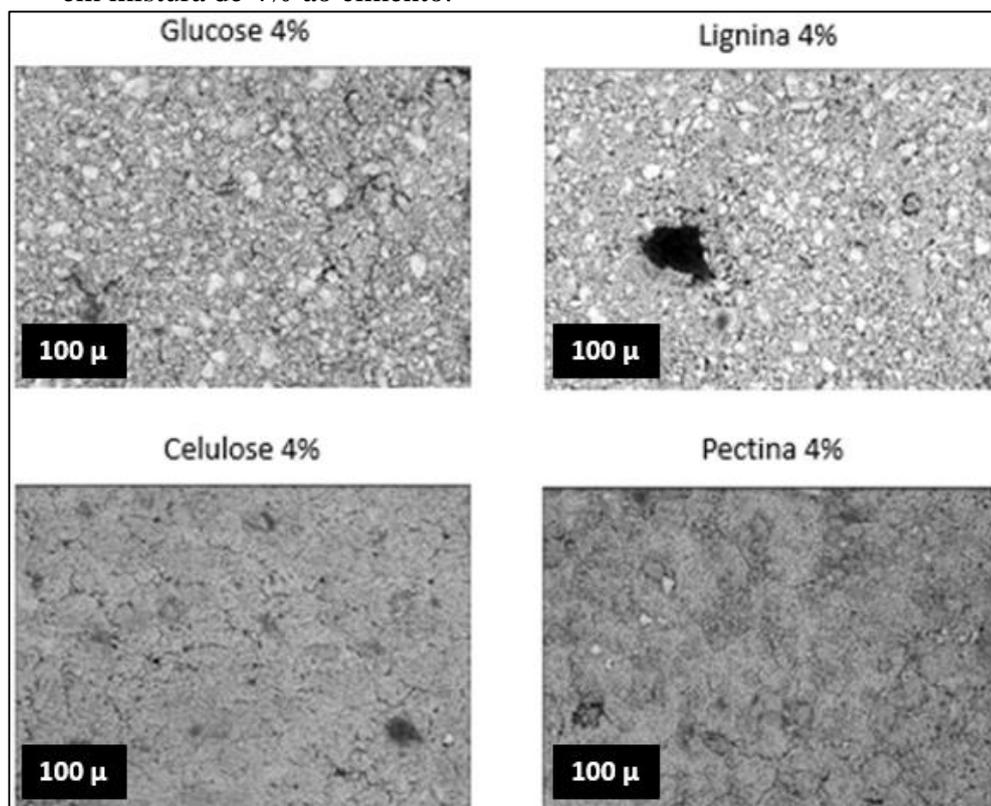
Em proporções de 33%, as partículas das três espécies avaliadas, apresentaram elevada inibição na hidratação do cimento, porém pode se notar que as partículas lavadas de cacto a 33% apresentaram pouca variação em relação a mesma, quando misturada a 10%. Para as misturas com partículas de pinos e bambu os resultados com 33% foram bem inferiores, quando comparados com as misturas de 10%.

O fato das partículas de pinos e bambu terem apresentado comportamento similar durante as etapas de hidratação, pode se relacionar a composição química das duas espécies serem muito parecidas, tanto de forma quantitativa como qualitativa. A adição destas partículas vegetais a 33% em relação a massa do cimento inibem severamente a hidratação, mesmo após tratamento de lavagem. Sendo assim, outros métodos de tratamento precisam ser avaliados para aplicações nestas proporções. Tessaro (2013) ao trabalhar com pinos, em adições de 2 a 10 % de partículas em relação a massa do cimento, verificou inibição da hidratação a medida que as proporções das partículas se aproximavam de 10% na mistura.

#### **6.4 Mapeamento EDS dos Componentes**

As imagens da Figura 14 foram obtidas das amostras usadas na calorimetria com 4% de cada component em relação após 7 dias de hidratação. É possível observar que as misturas de Glucose e Lignina possuem imensa quantidade de grãos anidros (grãos de cimento que não hidrataram).

Figura 14 - Imagens de EDS, obtidas dos componentes (glucose, lignina, celulose e pectina) em mistura de 4% ao cimento.



As misturas de cimento com adição de Glucose e Lignina apresentaram interferência na hidratação com os resultados obtidos nos itens 6.2 e 6.3.

Os elementos que constituem os componentes estão descritos na Tabela 8.

Tabela 8 - EDS. Avaliação do teor ions metálicos presentes em cada componente.

Metais	Glucose (%)	Lignina (%)	MCC (%)	Pectina (%)
Mg	1,16	1,53	1,06	0,57
Al	2,78	3,02	2,58	2,27
Si	10,39	10,67	19,60	22,20
Mo	0,52	0,00	4,44	2,03
S	2,14	2,00	0,00	0,93
K	4,98	2,34	11,05	10,54
Ca	74,21	77,15	59,18	60,19
Fe	3,81	3,29	2,09	1,28
Total	100,00	100,00	100,00	100,00

A glucose e lignin apresentaram teores de silício próximos, 10,39% e 10,67%, porém estes teores são inferiores aos teores de silício apresentados pela celulose e pectina, que correspondem a 19,60% e 22% de seus pesos molares. Glucose e Lignina apresentaram teores de molibdênio de 0,52% e 0%, sendo estes inferiores aos teores de molibdênio apresentados pela celulose e pectina, que correspondeu a 4,44% e 2,03%. Glucose e Lignina, também apresentaram teores de potássio inferiores, correspondendo este a 4,98% e 2,34%, enquanto Celulose e Pectina apresentaram 11,05% e 10,54% de seus pesos molares.

A cellulose e pectina apresentaram teores de enxofre de 0% e 0,93%, sendo estes pesos molares, inferiores aos pesos molares de enxofre apresentado por Glucose e Lignina, que equivaleram a 2,14% e 2% respectivamente.

### **6.5 Análise Termogravimétrica**

Os resultados das análises termogravimétricas serão discutidos em duas etapas, sendo a primeira etapa referente a duas idades (14 e 28 dias) após a mistura das partículas lavadas e não lavadas de *Pinus taeda*, *Bambusa vulgaris* e *Cereus jamacaru* junto ao cimento e água, seguindo a proporção de 33% de partícula e 40% de água em relação a massa do cimento.

Na segunda etapa, utilizou-se as mesmas partículas lavadas e não lavadas e avaliou-se três diferentes idades de hidratação (7, 14 e 28 dias), seguindo o mesmo traço da primeira etapa, porém houve adição de água de compensação na etapa de moldagem para que as misturas adquirissem consistência de pasta. A quantidade de água de compensação foi diferente para cada partícula utilizada, conforme descrito anteriormente na Tabela 3.

Os resultados referentes as etapas da hidratação das misturas com as partículas de cada material e a referência estão descritos entre as figuras 15 e 28.

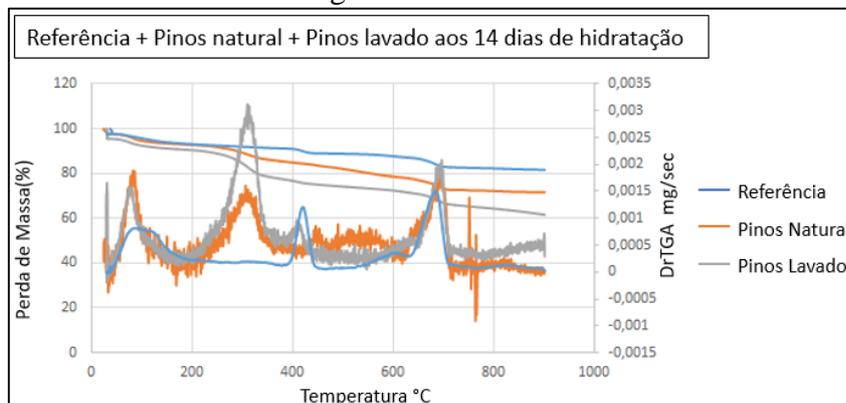
As análises termogravimétricas de materiais a base de cimento são normalmente apresentadas através da derivada da termogravimetria, ou seja, a DTG. Essas derivadas, como apresentada na figura 11, são indicadas por picos correspondentes as perdas de massa dos constituintes do material analisado. De acordo com Lothembach *et al* (2016) a DTG permite melhor resolução e quantificação das perdas de massa.

Em geral, de 0 a 200°C ocorre a decomposição do C-S-H (Silicato de Cálcio Hidratado). De 400 a 600°C ocorre a decomposição de CH (Hidróxido de Cálcio). De 600 a 800°C ocorre a decomposição dos carbonatos.

Da mesma forma tem a degradação dos materiais lignocelulósicos, onde os picos de degradação da maioria de seus componentes podem ocorrer na mesma faixa de temperatura da

degradação do CH. Devido este choque de áreas de degradação, resolveu-se por calcular apenas os produtos entre 40 e 200°C e os produtos de 600 a 800°C.

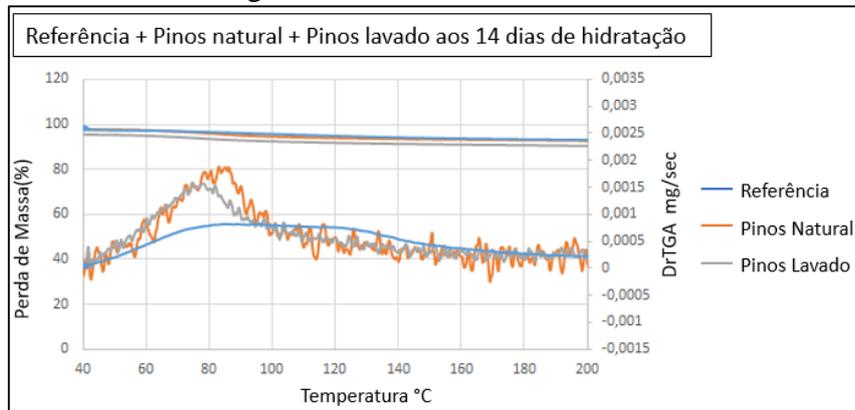
Figura 15 – Resultado das análises termogravimétricas e suas derivadas aos 14 dias de hidratação para a pasta CPV e as misturas das partículas de *Pinus taeda* com e sem o tratamento de lavagem.



De acordo com a Figura 15 as duas misturas contendo Pinos como bio agregado, apresentaram picos de decomposição entre 40 e 200° C maiores que o pico apresentado pela Referência (Pasta CPV). De acordo com Lothembach *et al* (2016) estes picos, se tratando apenas da mistura de cimento e água, indicam a degradação da Etringita, do C-S-H, dos monossulfatos e água livre. Devido a inibição causada na hidratação do cimento por partículas lignocelulósicas, os picos elevados, compreendidos no intervalo de 40 a 200° C, nas misturas com partículas tratadas e não tratadas de Pinos, podem se relacionarem a decomposição da água livre presente na mistura. Dessa forma, é possível correlacionar a presença de água livre na mistura, com os resultados obtidos na análise física das partículas lignocelulósicas descritos na Tabela 5, pois as partículas de Pinus apresentaram elevada absorção de água, sendo que as partículas naturais apresentaram absorção de 317,61% e as partículas lavadas de Pinos apresentaram 667,85% de absorção.

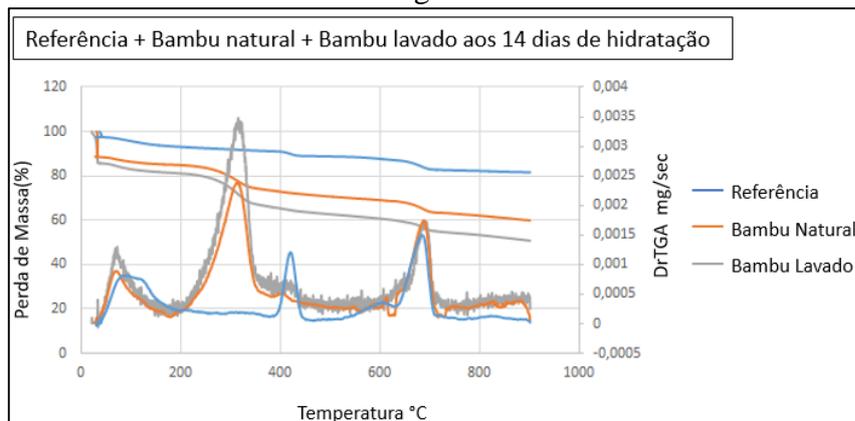
As duas misturas com partículas apresentaram picos de degradação de carbonatos maiores que o pico da referência, no intervalo de 600° a 800° C. Os gases presentes na estrutura das partículas lignocelulósicas, influenciam na carbonatação. De acordo com Neville (2012), a presença de CO<sub>2</sub>, favorece a carbonatação.

Figura 16 – Ampliação da figura 15 compreendida no intervalo de 0 a 200° C aos 14 dias de hidratação para a pasta CPV e as misturas das partículas de *Pinus taeda* com e sem o tratamento de lavagem.



Na Figura 16 é possível visualizar de forma mais nítida os picos formados de 40 – 200° C nas misturas com as partículas de *Pinus taeda* lavado e não lavado aos 14 dias de hidratação.

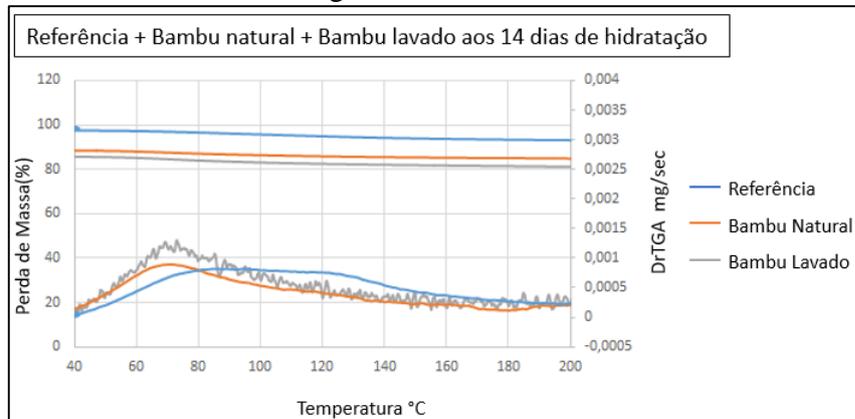
Figura 17 – Resultado das análises termogravimétricas e suas derivadas aos 14 dias de hidratação para a pasta CPV e as misturas das partículas de *Bambusa vulgaris* com e sem o tratamento de lavagem.



Pode-se observar na Figura 17 que as duas misturas com partículas de Bambu, apresentaram picos de degradação de 40 – 200° C, caracterizando maior perda de massa em relação ao pico apresentado pela Referência (Pasta CPV). Da mesma forma ocorrida com as misturas contendo partículas de Pinos, os picos observados para as misturas com partículas de Bambu também se relacionam a água livre absorvida. De acordo com a Tabela 5, Bambu Natural apresentou absorção de 757,14% e Bambu Lavado apresentou absorção de 833,75%.

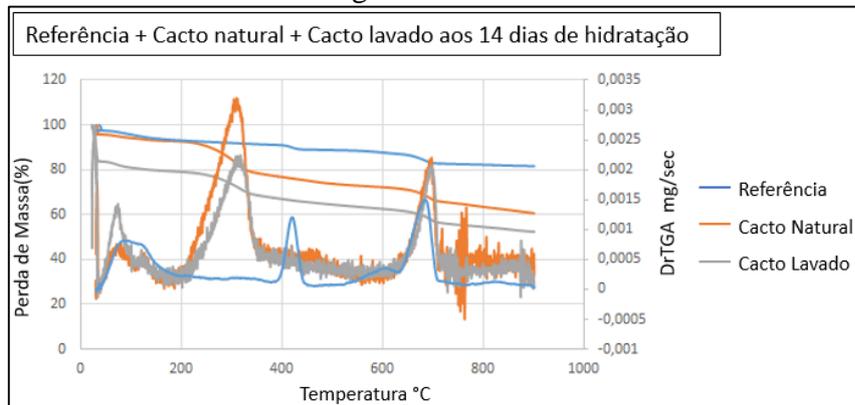
Houve diferença na formação de carbonatos no intervalo de 600 a 800 ° C entre as misturas com partículas e Bambu e a mistura com Referência (Pasta CPV), tendo as misturas com partículas de Bambu apresentado maiores formações de carbonatos.

Figura 18 – Ampliação da Figura 17 compreendida no intervalo de 0 a 200° C aos 14 dias de hidratação para a pasta CPV e as misturas das partículas de *Bambusa vulgaris* com e sem o tratamento de lavagem.



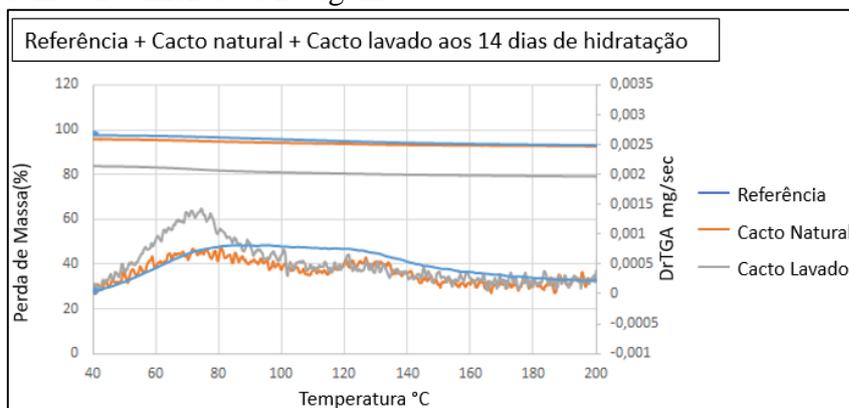
Na Figura 18, nota-se a formação de picos mais elevados de entre 40 e 200° C nas misturas com as partículas de *Bambusa vulgaris* lavado e não lavado aos 14 dias de hidratação.

Figura 19 – Resultado das análises termogravimétricas e suas derivadas aos 14 dias de hidratação para a pasta CPV e as misturas das partículas de *Cereus jamacaru* com e sem o tratamento de lavagem.



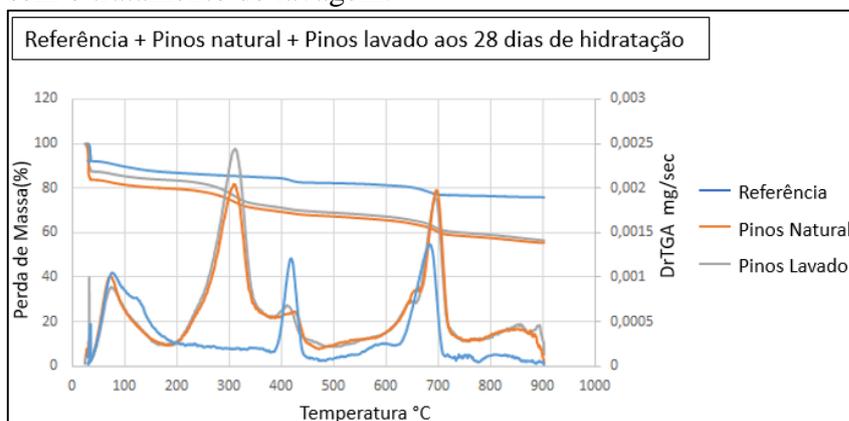
Aos 14 dias de hidratação, conforme Figura 19, a mistura com partículas naturais de Cacto, apresentou maior pico ente 40° C e 200 °C que a mistura com partículas lavadas de Cacto e a Referência (Pasta CPV). O pico maior de decomposição na mistura contendo partículas naturais de Cacto se relaciona a perda água livre e formação de alguns produtos de hidratação compreendidos no intervalo. As misturas com partículas de cactos apresentaram maiores formações de carbonatos no intervalo de 600 a 800 ° C em relação a Referência (Pasta CPV). Tais formações de carbonatos podem estar relacionados aos gases presentes na madeira de Cactos.

Figura 20 – Ampliação da Figura 19 compreendida no intervalo de 0 a 200° C aos 14 dias de hidratação para a pasta CPV e as misturas das partículas de *Cereus jamacaru* com e sem o tratamento de lavagem.



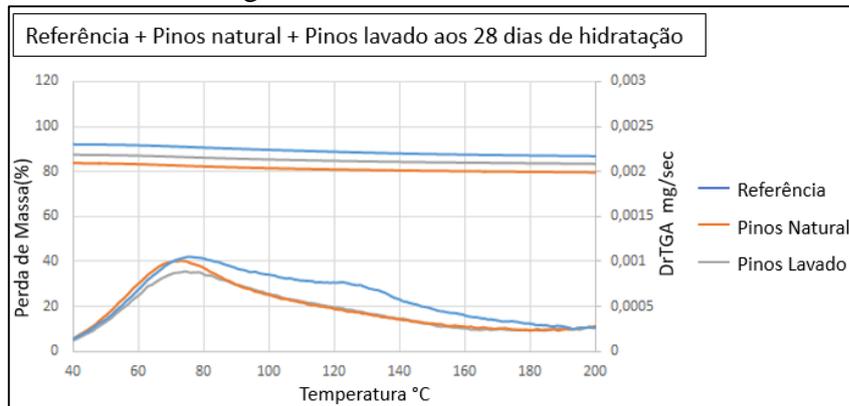
Na ampliação, conforme Figura 20, é possível observar os picos formados para as misturas com as partículas de *Cereus jamacaru* lavado e não lavado no intervalo de 40 a 200 °C. Observa-se que a mistura com partículas naturais de *Cereus jamacaru*, apresentou decomposição mais elevada que as demais misturas

Figura 21 – Resultado das análises termogravimétricas e suas derivadas aos 28 dias de hidratação para a pasta CPV e as misturas das partículas de *Pinus taeda* com e sem o tratamento de lavagem.



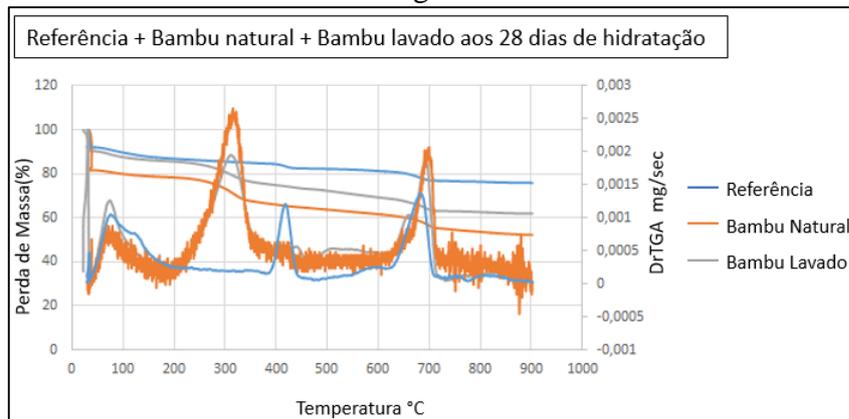
De acordo com a Figura 21, as misturas com partículas de Pinos natural e partículas de Pinos lavado aos 28 dias de hidratação, demonstraram picos equivalentes a Referência (Pasta CPV), de 0 a 200°C. Nesta situação a perda de água livre não se demonstrou mais acentuada para a mistura contendo partículas de Pinos. As misturas com partículas de Pinos, apresentaram praticamente a mesma quantidade de carbonatos quando comparadas com os resultados obtidos aos 14 dias de hidratação. Não houve diferença na formação de carbonatos entre as misturas com as partículas lavadas e não lavadas.

Figura 22 - Ampliação da Figura 21 compreendida no intervalo de 0 a 200° C aos 28 dias de hidratação para a pasta CPV e as misturas das partículas de *Pinus taeda* com e sem o tratamento de lavagem.



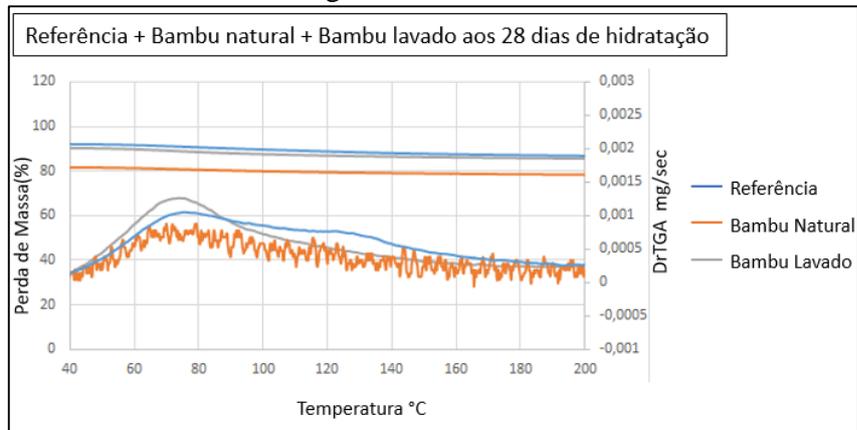
Na ampliação da imagem pode-se observar a proximidade dos picos das partículas de *Pinus taeda* lavado e não lavado e a Referência (Pasta CPV) aos 28 dias de hidratação. Conforme Figura 22.

Figura 23 – Resultado das análises termogravimétricas e suas derivadas aos 28 dias de hidratação para a pasta CPV e as misturas das partículas de *Bambusa vulgaris* com e sem o tratamento de lavagem.



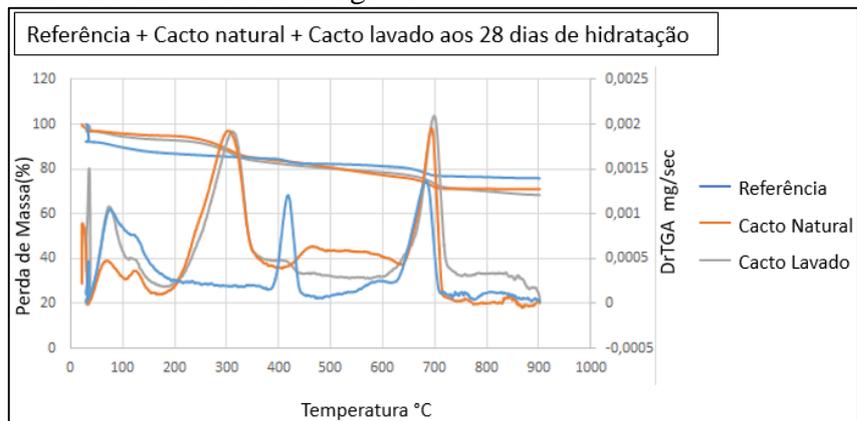
Nota-se pela Figura 23, que aos 28 dias de hidratação, as misturas com partículas Bambu apresentaram, a mesma decomposição apresentada aos 14 dias. A formação de carbonatos permaneceu maior nas misturas com partículas de Bambu em relação a referência.

Figura 24 - Ampliação da Figura 23 compreendida no intervalo de 0 a 200° C aos 28 dias de hidratação para a pasta CPV e as misturas das partículas de *Bambusa vulgaris* com e sem o tratamento de lavagem.



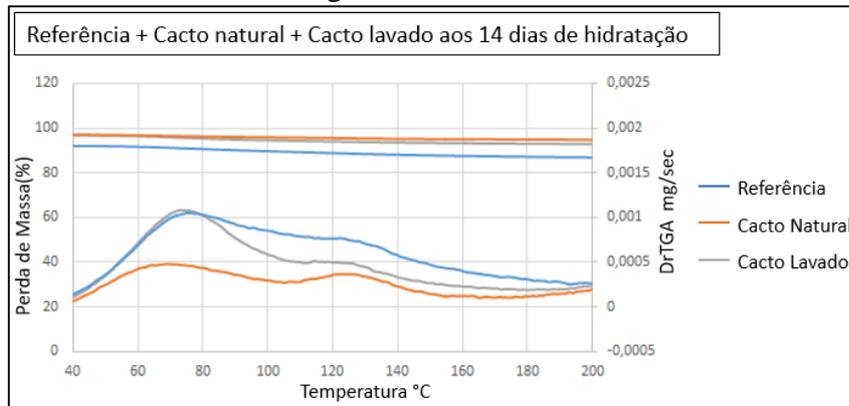
Tanto a referência, como as misturas com partículas lignocelulósicas apresentaram aos 28 dias, picos próximos. Conforme Figura 24.

Figura 25 – Resultado das análises termogravimétricas e suas derivadas aos 28 dias de hidratação para a pasta CPV e as misturas das partículas de *Cereus jamacaru* com e sem o tratamento de lavagem.



Na Figura 25, observa-se que a mistura com as partículas lavadas apresentou maior pico de decomposição que a mistura com partículas naturais. A menor formação de produtos de hidratação para a mistura com partículas naturais de Cacto, pode se relacionar com quantidade de extrativos presente na madeira, pois ao ver a Tabela 6, nota-se que Cactos natural apresentou 17,64% de extrativos em sua composição. A decomposição de carbonatos foi maior para as misturas com partículas vegetais lavadas e naturais em relação a decomposição observada para a referência, indicando a relação dos gases presentes na madeira com a carbonatação.

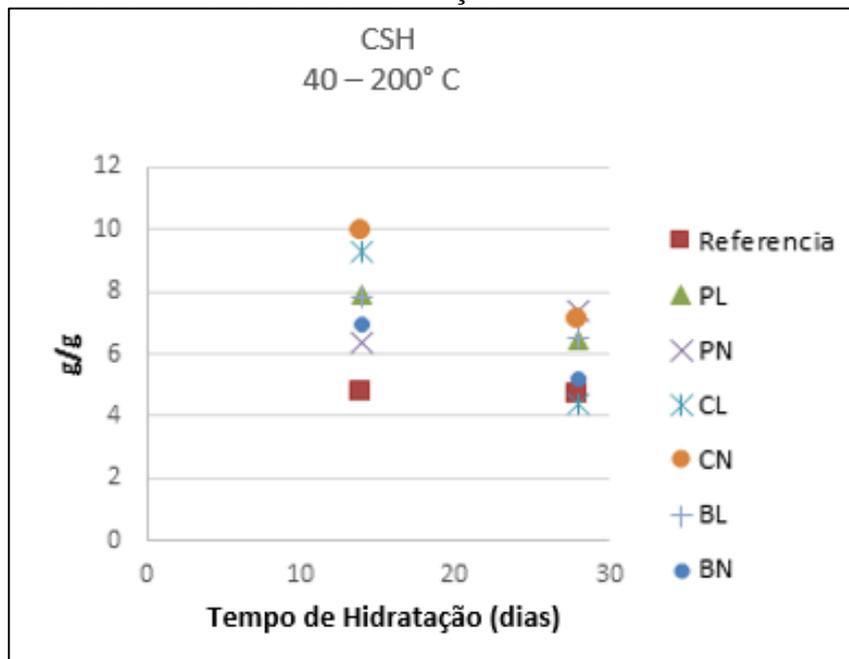
Figura 26 - Ampliação da Figura 25 compreendida no intervalo de 0 a 200°C aos 28 dias de hidratação para a pasta CPV e as misturas das partículas de *Cereus jamacaru* com e sem o tratamento de lavagem.



Através da Figura 26, observa-se em resolução maior, a diferença entre o pico da mistura com partículas naturais de Cacto e entre os picos da mistura com partículas lavadas de Cacto e Referência (Pasta CPV).

Os dados referentes as etapas da hidratação das misturas com as partículas de cada material e a referência estão descritos nas Figuras 27 e 28 e compilados na tabela 9.

Figura 27 - Formação de produtos de hidratação para a referência e as misturas com as partículas de *Pinus taeda*, *Bambusa vulgaris* e *Cereus jamacaru* lavadas e não lavadas aos 14 e 28 dias de hidratação.



Referência = Pasta CPV; PL = Pinos Lavado; PN = Pinos Natural; CL = Cacto Lavado; CN = Cacto Natural; BL = Bambu Lavado e BN = Bambu Natural.

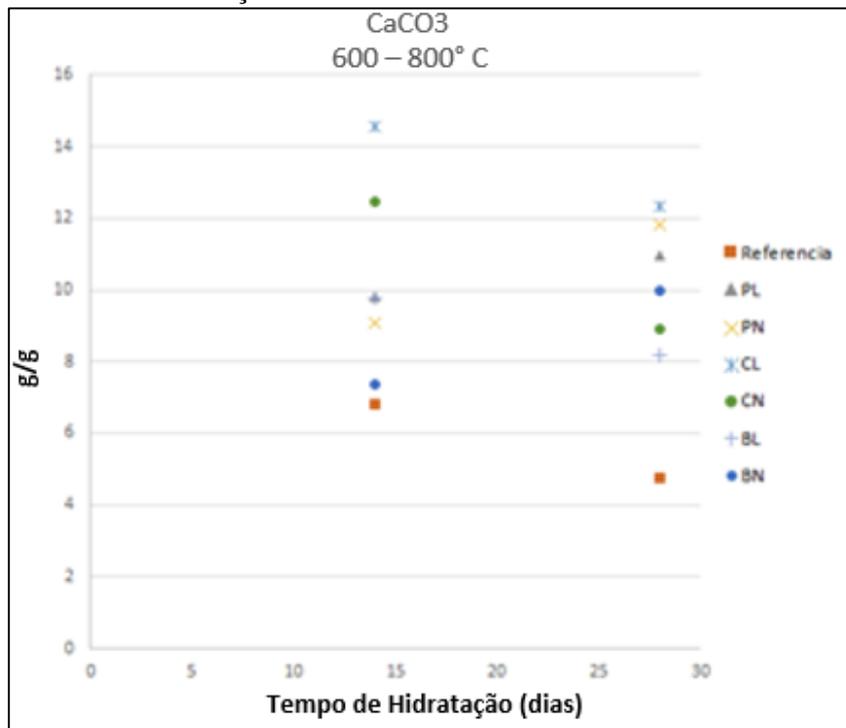
A referência apresentou entre 40 ° C e 200° C, decomposição de 4,77 g e 4,72 g aos 14 dias e 28 dias. A mistura com partículas lavadas de Bambu lavado (BL) apresentou decomposição de 7,83 g aos 14 dias e 6,51 aos 28 dias de hidratação. A mistura com partículas

lavadas de *Cereus jamacaru* (CL) apresentou decomposição de 9,27 g aos 14 dias, reduzindo para 4,37 g aos 28 dias. A mistura com partícula lavadas de *Pinus taeda* (PL) apresentou decomposição de 7,88 gramas aos 14 dias e 6,42 aos 28 dias. A perda de massa mencionada para as misturas com partículas vegetais, está relacionada principalmente com a presença de água livre nas partículas vegetais.

A mistura com partículas sem tratamento de lavagem de *Bambusa vulgaris* (BN) apresentou decomposição de 6,94 g aos 14 dias e 5,21 g aos 28 dias de hidratação. A mistura com as partículas sem tratamento de *Cereus jamacaru* (CN) apresentou decomposição de 9,97 g aos 14 dias e 7,06 aos 28 dias. Para mistura com partículas não tratadas de *pinus taeda* (PN) houve decomposição de 6,35 g aos 14 dias e 7,4 aos 28 dias. Assim como nas misturas contendo partículas lavadas, as misturas com partículas naturais também apresenta a perda de água livre como a principal perda de massa.

De maneira geral os picos formados pelas misturas contendo partículas vegetais, no intervalo de 40 – 200 ° C, não indicam formação de produtos de hidratação aos 14 dias, não se alinhando com a literatura, pois com a adição destes materiais vegetais na matriz a base de cimento, o que ocorreu de fato é uma grande perda de água livre, que foi absorvida pelas partículas vegetais durante a mistura. Comparando a mistura e partículas de Cacto com e sem tratamento de lavagem, é possível confirmar ainda mais, a interferência negativa, devido ao maior teor de extrativos presente. Analisando a Figura 13 C da Calorimetria e as Figuras 25 e 26 da Termo gravimetria, é possível observar que a mistura com partículas naturais de cacto, apresentou maior inibição na hidratação.

Figura 28 – Formação de carbonatados para a referência e as misturas com as partículas de *Pinus taeda*, *Bambusa vulgaris* e *Cereus jamacaru* lavadas e não lavadas aos 14 e 28 dias de hidratação.



As misturas com partículas lignocelusicas apresentaram quantidades muito mais elevadas de carbonatos, conforme descritos na tabela 9. A formação maior de carbonatos para as misturas contendo partículas vegetais, se relaciona aos gases presentes em sua composição.

Tabela 9 - Quantificação dos produtos de hidratação para cada mistura e referência aos 14 e 28 dias de hidratação.

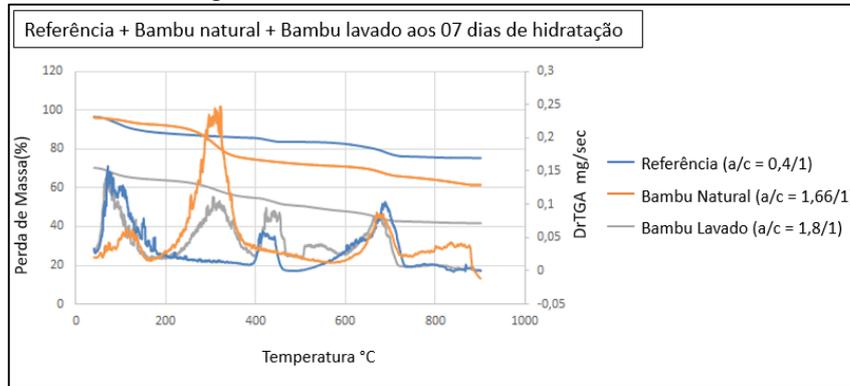
CSH 40 - 200° C							
	REF (g)	BN (g)	BL (g)	CN (g)	CL (g)	PN (g)	PL (g)
<b>14</b>	4,77	6,94	7,83	9,97	9,27	6,35	7,88
<b>28</b>	4,72	5,21	6,51	7,06	4,37	7,4	6,42
CARBONATOS 600 – 800° C							
	REF (g)	BN (g)	BL (g)	CN (g)	CL (g)	PN (g)	PL (g)
<b>14</b>	6,81	7,35	9,75	12,47	14,55	9,1	9,83
<b>28</b>	4,77	9,98	8,18	8,9	12,35	11,81	10,98

REF = Referência; BN = Bambu Natural; BL = Bambu Lavado; CN = Cacto Natural; CL = Cacto Lavado; PN = Pinos Natural; PL = Pinos Lavado.

Na segunda etapa foram avaliadas três idades de hidratação, compreendidas em 7, 14 e 28 dias, com proporção de 33% de partículas lignocelulosicas em relação a massa do cimento. Além da água utilizada em proporção de 40% da massa do cimento para cada mistura, houve distintas aplicações de água de compensação para facilitar a moldagem, que geralmente é o que

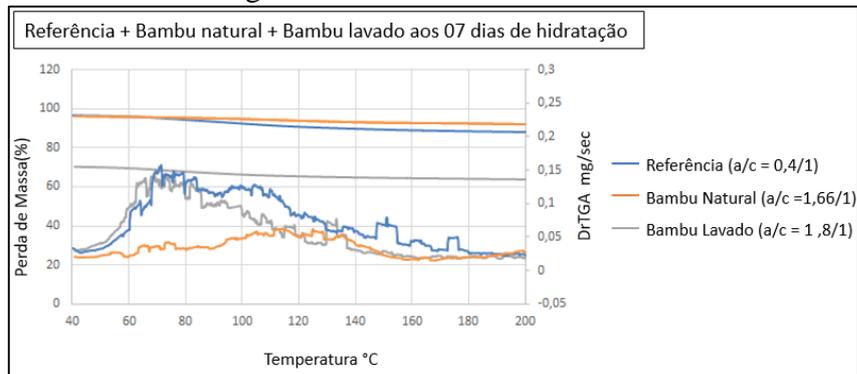
ocorre na prática de produção de compósitos cimento madeira. A quantidade de água de compensação utilizada para cada mistura, encontra descrita na Tabela 3 e em cada figura abaixo.

Figura 29 - Resultado das análises termogravimétricas e suas derivadas aos 7 dias de hidratação para a pasta CPV e as misturas das partículas de *Bambusa vulgaris* com e sem o tratamento de lavagem.



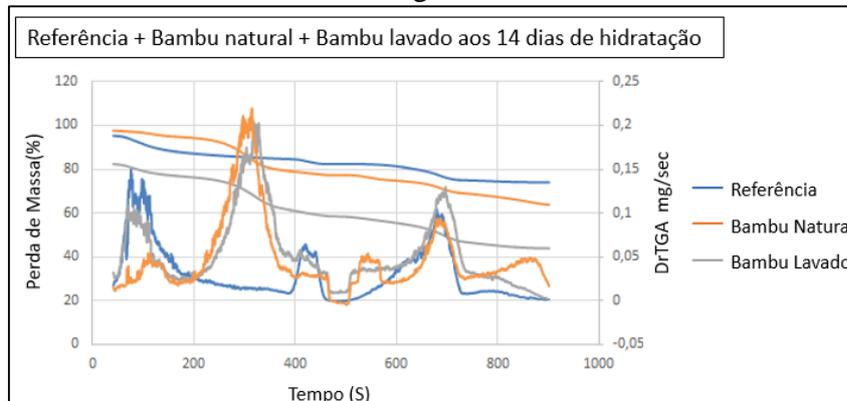
A mistura com as partículas de Bambu natural, apresentou baixa decomposição entre 40 °C e 200 °C. A mistura com partículas lavadas de bambu, apresentou pico de decomposição similar a mistura referência. As misturas com partículas naturais e lavadas de Bambu, apresentaram aos 7 dias, decomposição de carbonatos similares com a Referência (Pasta CPV). Conforme Figura 29.

Figura 30 - Ampliação da figura 29 compreendida no intervalo de 0 a 200° C aos 07 dias de hidratação para a pasta CPV e as misturas das partículas de *Pinus taeda* com e sem o tratamento de lavagem.



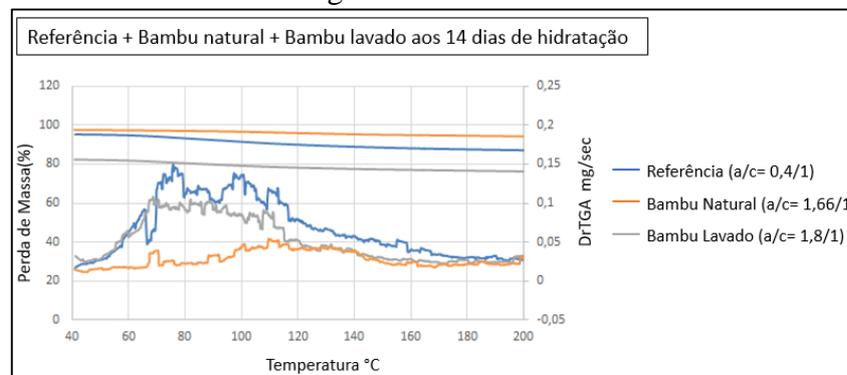
Nota-se pela ampliação na Figura 30, a diferença do pico de decomposição apresentado pela mistura contendo partículas naturais de Bambu entre 40° C e 200 °C aos 7 dias de hidratação.

Figura 31 - Resultado das análises termogravimétricas e suas derivadas aos 14 dias de hidratação para a pasta CPV e as misturas das partículas de *Bambusa vulgaris* com e sem o tratamento de lavagem.



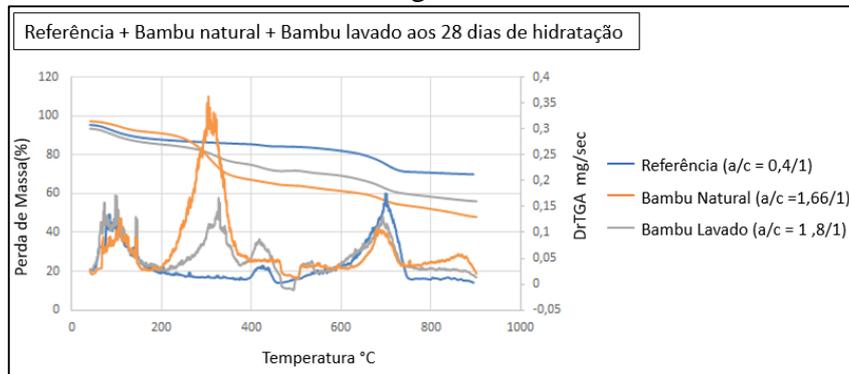
Na Figura 31 é possível observar que a mistura com partículas naturais de bambu, aos 14 dias de hidratação, apresentou a menor perda de massa no intervalo de  $40^{\circ}\text{C}$  a  $200^{\circ}\text{C}$ . A mistura com partículas naturais de Bambu, apresentou decomposição de carbonato similar a mistura referência. A mistura com partículas lavadas de Bambu apresentou pico de formação de carbonato superior as demais.

Figura 32 - Ampliação da Figura 31 compreendida no intervalo de 0 a  $200^{\circ}\text{C}$  aos 14 dias de hidratação para a pasta CPV e as misturas das partículas de *Bambusa vulgaris* com e sem o tratamento de lavagem.



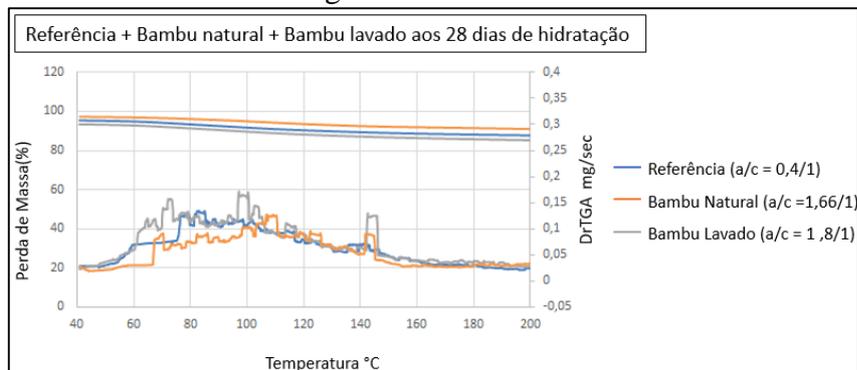
Na Figura 32, de forma ampliada, observa-se que entre  $40^{\circ}\text{C}$  e  $200^{\circ}\text{C}$ , houve menor decomposição para a mistura com partículas naturais de Bambu aos 14 dias de hidratação.

Figura 33 - Resultado das análises termogravimétricas e suas derivadas aos 28 dias de hidratação para a pasta CPV e as misturas das partículas de *Bambusa vulgaris* com e sem o tratamento de lavagem.



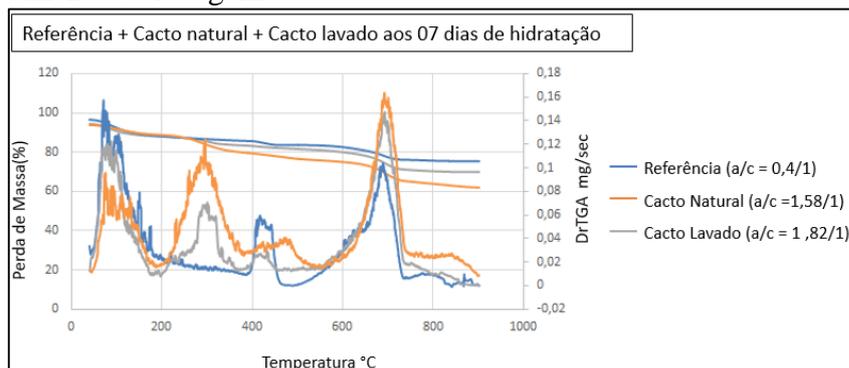
Conforme Figura 33, as misturas com partículas lavadas de Bambu, partículas naturais de Bambu e a Referência (Pasta CPV) apresentaram picos de decomposição próximos. As misturas com partículas vegetais, apresentaram menor decomposição de carbonatos em relação a Referência (Pasta CPV).

Figura 34 - Ampliação da Figura 33 compreendida no intervalo de 0 a 200° C aos 28 dias de hidratação para a pasta CPV e as misturas das partículas de *Bambusa vulgaris* com e sem o tratamento de lavagem.



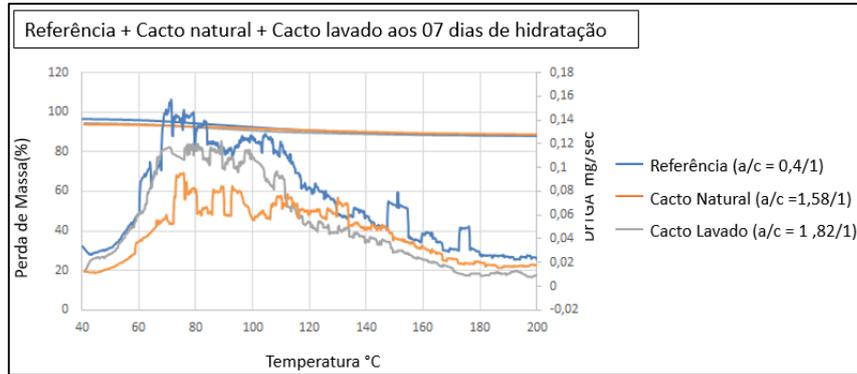
É possível observar, pela Figura 34, a proximidade dos picos de decomposição entre as misturas de Bambu e Referência (Pasta CPV) entre 40° C e 200° C, aos 28 dias de hidratação

Figura 35 - Resultado das análises termogravimétricas e suas derivadas aos 07 dias de hidratação para a pasta CPV e as misturas das partículas de *Cereus jamacaru* com e sem o tratamento de lavagem.



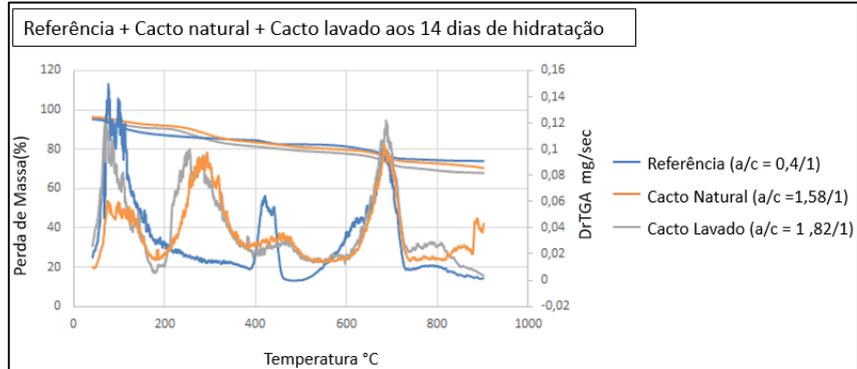
Na Figura 35, verificou-se que as misturas contendo partículas de Cacto, apresentaram menor decomposição em relação a Referência (Pasta CPV) no intervalo de 40° C e 200° C. Os picos de decomposição de carbonatos foram maiores para as misturas com partículas vegetais.

Figura 36 - Ampliação da Figura 35 compreendida no intervalo de 0 a 200° C aos 07 dias de hidratação para a pasta CPV e as misturas das partículas de *Cereus jamacaru* com e sem o tratamento de lavagem.



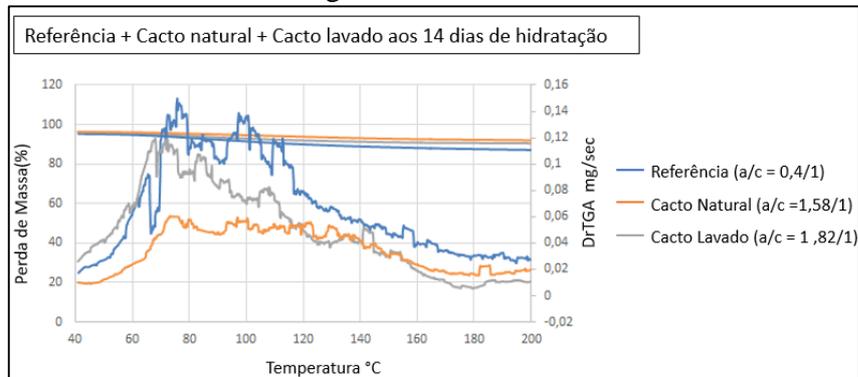
Através da Figura 36, observa-se de forma mais nítida, que a mistura com partículas naturais apresentou menor pico de decomposição que as demais.

Figura 37 - Resultado das análises termogravimétricas e suas derivadas aos 14 dias de hidratação para a pasta CPV e as misturas das partículas de *Cereus jamacaru* com e sem o tratamento de lavagem.



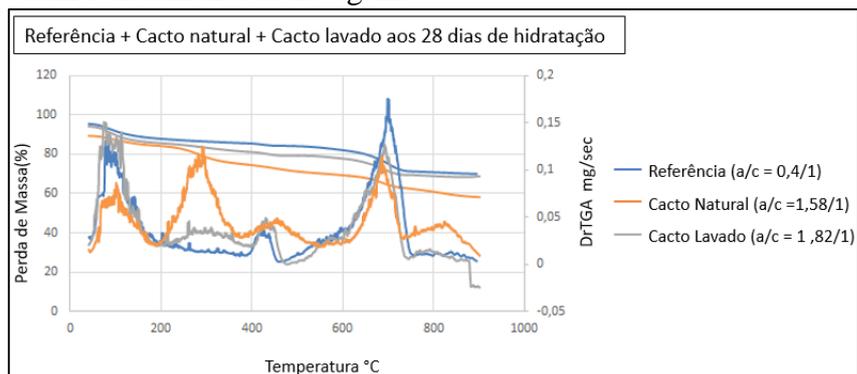
Conforme Figura 37, a mistura com as partículas naturais apresentou menor pico de decomposição que a referência e a mistura com partículas lavadas. Os picos de carbonatos foram similares para todas as misturas.

Figura 38 - Ampliação da Figura 37 compreendida no intervalo de 0 a 200° C aos 14 dias de hidratação para a pasta CPV e as misturas das partículas de *Cereus jamacaru* com e sem o tratamento de lavagem.



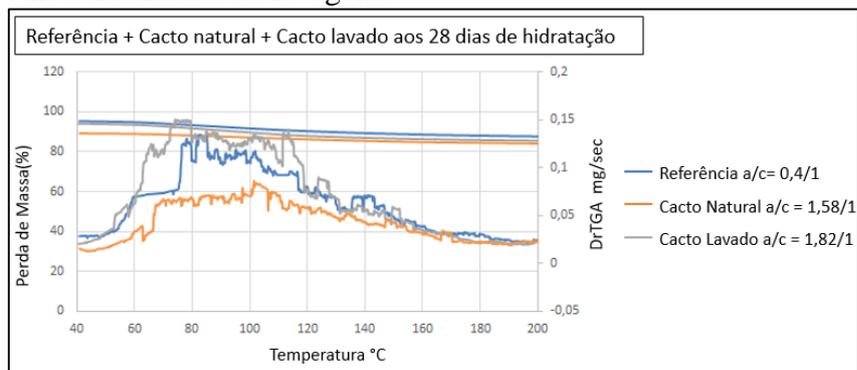
Na Figura 38, nota-se a mistura com partículas naturais apresentou menor decomposição e Etringita que as demais.

Figura 39 - Resultado das análises termogravimétricas e suas derivadas aos 28 dias de hidratação para a pasta CPV e as misturas das partículas de *Cereus jamacaru* com e sem o tratamento de lavagem.



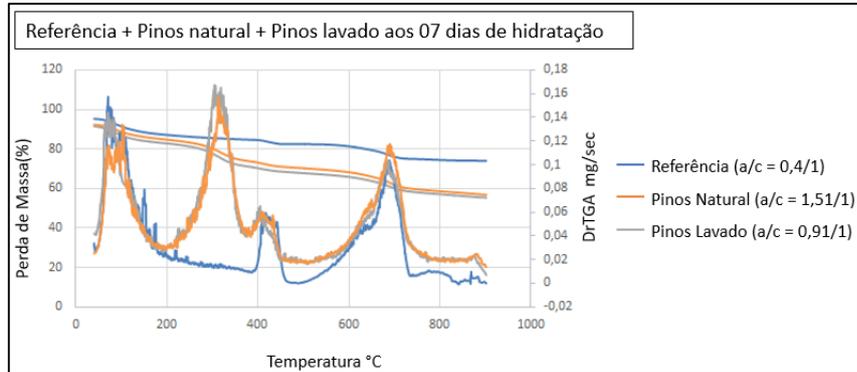
A mistura com partículas lavadas apresentou maior pico de decomposição de Etringita que as demais. As misturas com partículas lavadas e naturais apresentaram picos de carbonatos inferiores a referência. Conforme Figura 39.

Figura 40 - Ampliação da Figura 39 compreendida no intervalo de 0 a 200° C aos 28 dias de hidratação para a pasta CPV e as misturas das partículas de *Cereus jamacaru* com e sem o tratamento de lavagem.



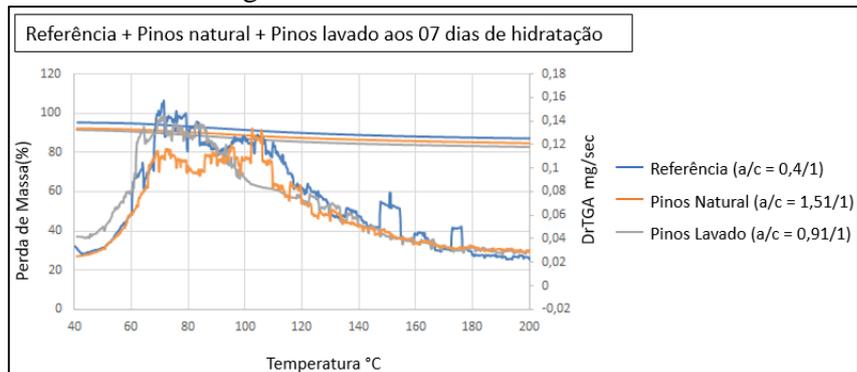
Conforme Figura 40, a mistura com partículas naturais apresentou menor decomposição e Etringita que as demais. Já a mistura lavada apresentou maior decomposição de Etringita que a referência.

Figura 41 - Resultado das análises termogravimétricas e suas derivadas aos 7 dias de hidratação para a pasta CPV e as misturas das partículas de *Pinus taeda* com e sem o tratamento de lavagem.



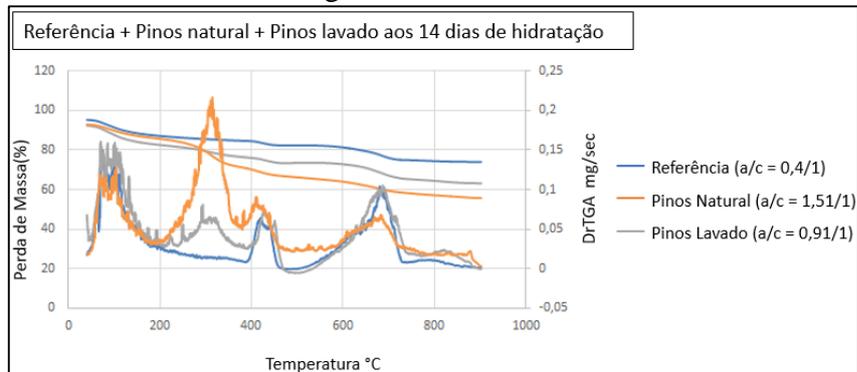
Através da Figura 41, pode-se observar que a mistura com partículas lavadas e a referência apresentaram equivalência na decomposição de Etringita. A mistura com partículas naturais apresentou pico ligeiramente menor de decomposição de Etringita comparado com as demais, porém nota-se que ela apresentou maior degradação de carbonatos que as outras misturas.

Figura 42 - Ampliação da Figura 41 compreendida no intervalo de 0 a 200° C aos 07 dias de hidratação para a pasta CPV e as misturas das partículas de *Pinus taeda* com e sem o tratamento de lavagem.



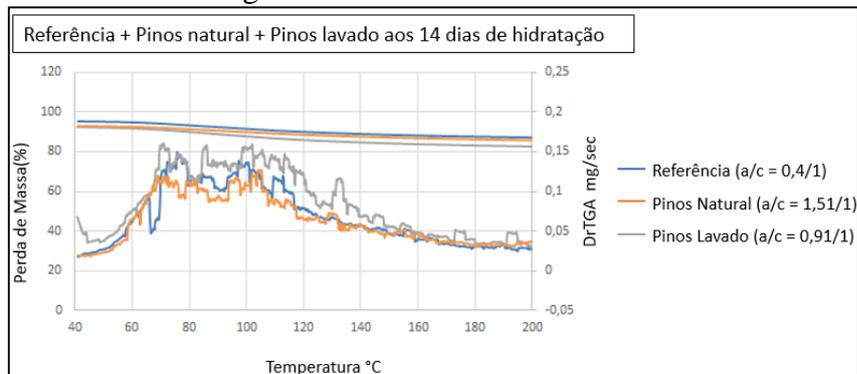
A mistura com partículas naturais apresentou pico de degradação de Etringita pouco menor que as outras misturas. Conforme é possível observar na figura 41.

Figura 43 - Resultado das análises termogravimétricas e suas derivadas aos 14 dias de hidratação para a pasta CPV e as misturas das partículas de *Pinus taeda* com e sem o tratamento de lavagem.



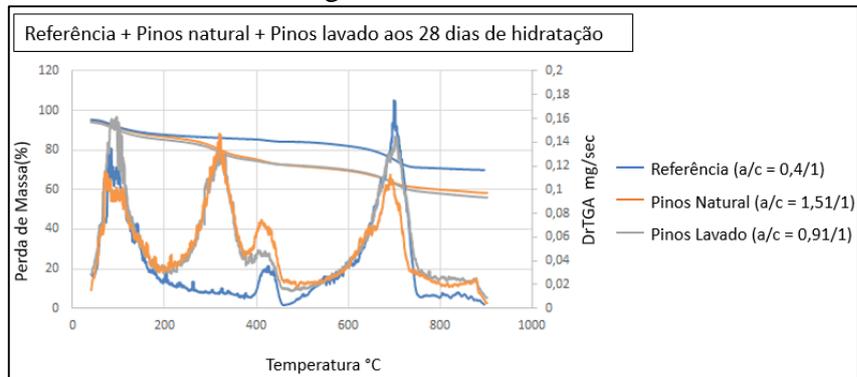
Na Figura 43, observa-se que a mistura com partículas lavadas apresentou maior degradação de Etringita que as outras misturas. A referência e a mistura com partículas naturais apresentou praticamente a mesma decomposição de carbonatos. A mistura com partículas naturais apresentou menor pico de decomposição de Etringita e menor pico de carbonato que as demais.

Figura 44 - Ampliação da Figura 43 compreendida no intervalo de 0 a 200° C aos 14 dias de hidratação para a pasta CPV e as misturas das partículas de *Pinus taeda* com e sem o tratamento de lavagem.



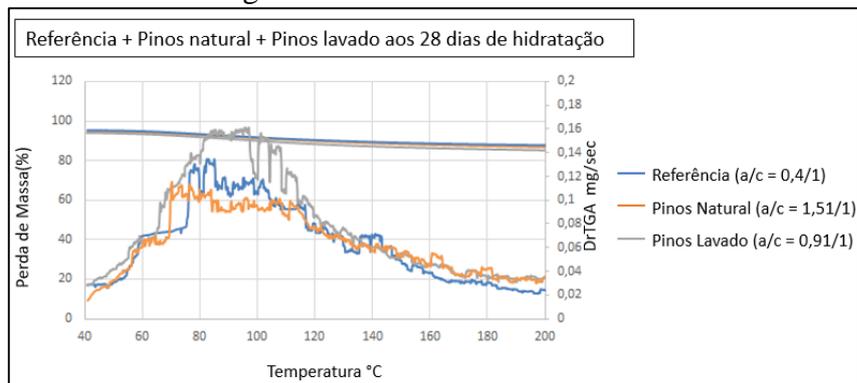
Conforme Figura 44, a mistura contendo partículas naturais de pinos apresentou pico com degradação pouco menor que as demais misturas.

Figura 45 - Resultado das análises termogravimétricas e suas derivadas aos 28 dias de hidratação para a pasta CPV e as misturas das partículas de *Pinus taeda* com e sem o tratamento de lavagem.



De acordo com a Figura 45 a mistura com as partículas lavada apresentou o maior pico de decomposição de Etringita. A mistura com partículas lavadas também apresentou maior pico de degradação de carbonato que a mistura com partícula naturais, ficando assim equivalente a referência.

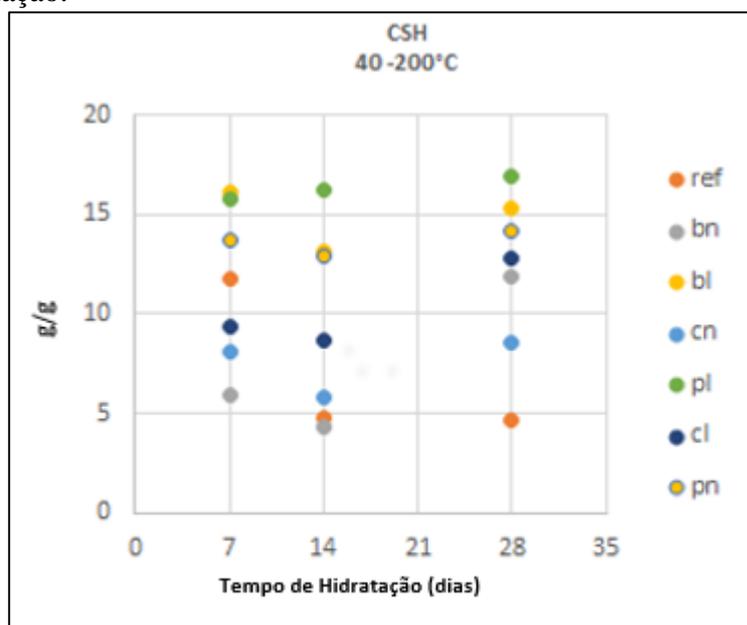
Figura 46 - Ampliação da Figura 45 compreendida no intervalo de 0 a 200° C aos 14 dias de hidratação para a pasta CPV e as misturas das partículas de *Pinus taeda* com e sem o tratamento de lavagem.



Verificou-se através da Figura 46 que a mistura com partículas lavadas apresentou maior decomposição de Etringita.

Os dados quantitativos referentes as etapas da hidratação das misturas com as partículas de cada material e a referência estão descritos na Figuras 47 e Figura 48. Os dados estão compilados na Tabela 10.

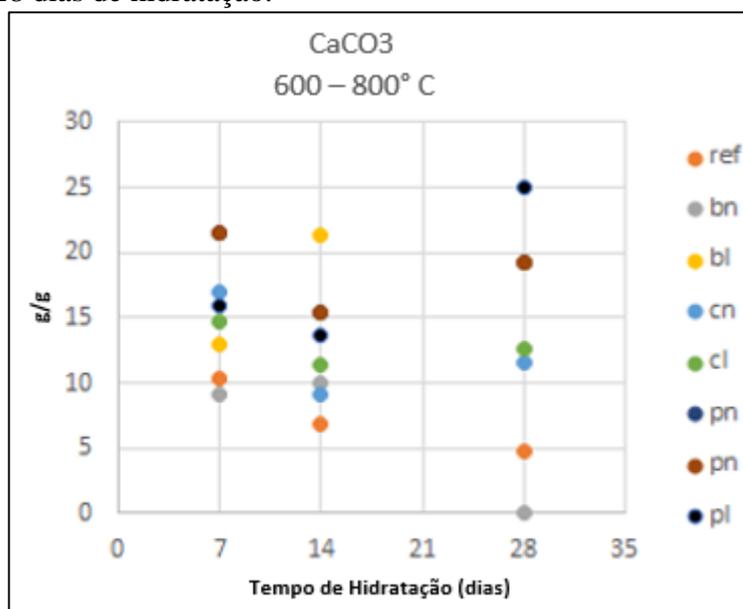
Figura 47 - Formação de CSH para a referência e as misturas com as partículas de *Pinus taeda*, *Bambusa vulagaris* e *Cereus jamacaru* lavadas e não lavadas aos 07, 14 e 28 dias de hidratação.



De acordo com a Figura 47 a referência (ref) apresentou decomposição de 11,79g aos 07 dias, 4,77g aos 14 dias e 4,72g aos 28 dias de hidratação. A mistura com partículas naturais de bambu (bn) apresentou decomposição de 5,94g aos 07 dias, 4,35g aos 14 dias e 18,84g aos 28 dias de hidratação. A mistura com partículas lavadas de bambu (bl) apresentou decomposição de 16,1g aos 07 dias, 13,15 aos 14 dias e 15,26 aos 28 dias de hidratação. A mistura com partículas naturais de cacto apresentou decomposição de 8,1g aos 07 dias, 5,84g aos 14 dias e 8,55g aos 28 dias de hidratação. A mistura com partículas lavadas de cacto (cl) apresentou decomposição de 9,32g aos 07 dias, 8,65g aos 14 dias e 12,82g aos 28 dias. A mistura com partículas naturais de pinos (pn) apresentou decomposição de 13,74g aos 07 dias, 12,9g aos 14 dias e 18,14g aos 28 dias. As misturas de partículas lavadas de pinos (pl) apresentou decomposição de 15,75g aos 07 dias, 16,21g aos 14 dias e 16,86g aos 28 dias.

É possível observar que as partículas de bambu lavado e pinos lavado apresentaram a maior degradação de Etringita que as demais misturas, isto pode se relacionar a alguns fatores, como: Absorção dos materiais lignocelulósicos, quantidade de água presente na mistura e maior liberação de extrativos em consequência da maior saturação das partículas.

Figura 48 - Formação de carbonatados para a referência e as misturas com as partículas de *Pinus taeda*, *Bambusa vulgaris* e *Cereus jamacaru* lavadas e não lavadas aos 07, 14 e 28 dias de hidratação.



De acordo com a Figura 48 a referência apresentou decomposição de carbonato de 10,39g aos 07 dias, 6,81g aos 14 dias, 4,77g aos 28 dias. A mistura com partículas naturais de bambu (bn) apresentou degradação de 9,15g aos 7 dias, 10,1g aos 14 dias e 14,09 g aos 28 dias. A mistura com partículas lavadas de bambu apresentou degradação de 13g aos 07 dias, 21,32g aos 14 dias e 19,33g aos 28 dias de hidratação. A mistura com partículas naturais de cacto (cn) apresentou degradação de 17,05g aos 07 dias, 9,14g aos 14 dias e 11,61g aos 28 dias. A mistura com partículas lavadas de cacto (cl) apresentou degradação e 14,71g aos 07 dias, 11,43g aos 14 dias e 12,7g aos 28 dias. A mistura com partículas naturais de pinos (pn) apresentou degradação de 2,61g aos 07 dias, 15,43g aos 14 dias e 19,32g aos 28 dias. A mistura com partículas lavadas de pinos (pl) apresentou degradação de 15,96 g aos 07 dias, 13,64g aos 14 dias e 24,94 aos 28 dias.

Nota-se que a referência, apresentou queda na degradação de carbonatos aos 14 dias e aos 28 dias de hidratação, quando comparada com a degradação apresentada aos 07 dias. Com exceção das misturas com partículas lavadas e não lavadas de bambu, todas as demais apresentaram queda na decomposição de carbonatos de 07 para 14 dias de hidratação. A provável explicação para esta queda atípica pode estar relacionada ao método maceração com acetona para interromper a hidratação pouco antes de iniciar as análises. Outra relação provável, se deve ao fato, da utilização de água de compensação na mistura ter interferido na difusão do  $\text{CO}_2$ . De acordo com Papadakis *et al.* (1991), a água pode se apresentar de duas formas distintas

em relação a carbonatação do cimento, podendo favorecer a formação de CO<sub>2</sub> e em quantidade mais elevada, pode obstruir os poros, impedindo a difusão do CO<sub>2</sub>.

Tabela 10 - Quantificação dos produtos de hidratação e perda para cada mistura e referência aos 07, 14 e 28 dias de hidratação.

<b>CSH 40 - 200°C</b>							
	<b>REF (g)</b>	<b>BN (g)</b>	<b>BL (g)</b>	<b>CN (g)</b>	<b>CL (g)</b>	<b>PN (g)</b>	<b>PL (g)</b>
<b>7</b>	11,79	5,94	16,10	8,10	9,32	13,74	15,73
<b>14</b>	4,77	4,35	13,15	5,84	8,65	12,90	16,21
<b>28</b>	4,72	11,84	15,26	8,55	12,82	14,14	16,86
<b>CARBONATOS 600 – 800° C</b>							
	<b>REF (g)</b>	<b>BN (g)</b>	<b>BL (g)</b>	<b>CN (g)</b>	<b>CL (g)</b>	<b>PN (g)</b>	<b>PL (g)</b>
<b>7</b>	10,39	9,15	13,00	17,05	14,71	21,61	15,96
<b>14</b>	6,81	10,10	21,32	9,14	11,43	15,43	13,64
<b>28</b>	4,77	14,09	19,33	11,61	12,70	19,32	24,94

REF = Referência; BN = Bambu Natural; BL = Bambu Lavado; CN = Cacto Natural; CL = Cacto Lavado; PN = Pinos Natural; PL = Pinos Lavado.

## 7. CONCLUSÃO

A celulose foi o único componente que nas três proporções aplicadas, 1, 2 e 4% não interferiu pouco na hidratação do cimento. Glucose e pectina inibiram completamente a hidratação, mesmo aplicadas na proporção de 1% em relação a massa do cimento.

De forma geral, as partículas de cada espécie lignocelulósica em maiores quantidades, inibiram a hidratação do cimento, indicando assim que quanto maior a proporção utilizada, maiores serão as influências negativas na hidratação do cimento.

*Pinus taeda* e *Bambusa vulgaris* tiveram boa compatibilidade na proporção de 5% em relação a massa do cimento, independente do processo de lavagem, indicando que não existe necessidade de aplicação de tratamento, possibilitando a redução de tempo e energia nas etapas de produção. Quando aplicadas a 10% em relação a massa do cimento, as duas espécies demonstraram ser moderadamente compatíveis sem aplicação de tratamento de lavagem e compatíveis com aplicação do tratamento. Desta forma, o tratamento se torna necessário, por garantir maior qualidade do compósito após produção. Quando aplicadas a 33%, as partículas das duas espécies, com e sem tratamento de lavagem, apresentaram elevada inibição na hidratação do cimento, indicando assim que em quantidades elevadas o tratamento de lavagem das partículas aplicado não é suficiente para melhorar a compatibilidade com o cimento.

*Cereus jamacaru* sem tratamento de lavagem, apresentou moderada compatibilidade quando aplicado 5% em relação a massa do cimento e boa compatibilidade após o tratamento, indicando que mesmo em poucas quantidades, o tratamento de lavagens de suas partículas se torna necessário. A 10 % a espécie demonstrou moderada compatibilidade após o processo de lavagem e incompatível sem o tratamento. A 33 % a espécie não demonstrou ser compatível com o cimento independente de aplicação de tratamento.

Evidentemente os extrativos inibem a hidratação do cimento, pois foi possível observar que em todas as proporções aplicadas, independente da espécie, houve diferença nos resultados quando se compara as partículas tratadas com processo de lavagem e as partículas sem tratamento, indicando assim a interferência negativa dos extrativos solúveis da madeira (sais inorgânicos, açúcares, polissacarídeos, algumas substâncias fenólicas). A inibição mais acentuada em misturas de *Cereus jamacaru* se correlaciona com o elevado teor de extrativos solúveis em sua composição, porém é importante ressaltar que os extrativos insolúveis em água (resinas, óleos, ceras, ácidos graxos, esteroides, terpenos) também podem inibir a hidratação do cimento, necessitando de mais estudos para que se possa esclarecer de forma mais aprofundada a colocação.

## **8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Inicialmente objetivou-se compreender as interações das partículas vegetais e de seus componentes em todas as etapas que envolvem a hidratação do cimento. O objetivo não foi totalmente alcançado devido algumas sobreposições de curvas na etapa de termogravimetria, impedindo assim a quantificação de alguns produtos de hidratação. Desta forma sugere-se a busca por novas análises que possam detalhar de forma quantitativa a formação destes produtos.

Com a evidente inibição da hidratação causada pelos extrativos solúveis em água presentes na composição das partícula, é importante destacar a carência de estudos relacionados também ao efeito dos extrativos não solúveis em água (ceras, graxas, resinas, terpenos e esteroides) na hidratação do cimento, ficando como sugestão a busca das relações destes componentes da madeira na hidratação do cimento.

## 9. REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14853: madeira: determinação do material solúvel em etanol-tolueno e em diclorometano e em acetona.** Rio de Janeiro, p.3, 2010.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7989: pasta celulósica e madeira: determinação de lignina insolúvel em ácido.** Rio de Janeiro, p.6, 2010.

APEZZATO, G.B.; CARMELLO, G.S. M. **Anatomia vegetal.** Viçosa, MG: UFV, 2003.

ARAGÃO, T. C. F. R. et al. **Characterization of a methionine-rich protein from the seeds of *Cereus jamacaru* Mill. (Cactaceae).** Brazilian Journal of Medical and Biological Research, v. 33, n. 8, p. 897-903, 2000.

ARDANUY, M.; CLARAMUNT, J.; TOLEDO, R.D. F. **Compósitos à base de cimento reforçado com fibra celulósica: uma revisão de pesquisas recentes.** Constr. Construir. Mater., v.79, p. 115 – 128, 2015.

BARRICHELO, L.E.G.; BRITO, J.O. **Química da madeira.** Piracicaba, SP, ESALQ, p.125, 1985.

BERALDO, A. L.; LOPES, W. G. R; CARVALHO, J. V.; ARZOLLA, J. A. P. R.; SEVEGNANI, K.; SOUZA, P. **Efeito da espécie vegetal do tipo de cimento e do tratamento utilizado sobre a resistência à compressão de compósitos.** In: Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído, 8., Salvador. Anais. Salvador: [s.n],1 CD-ROM, 2000.

BIBLIS, E. J.; LO, C. **"Sugar and others wood extractives: Effect on the setting of Southern-pine cement mixtures"**, Forest Products Journal, v. 18, p. 28-34, 1968.

BUCHANAN, M.A. **Extraneous components of wood: the chemistry of wood.** New York: R. Krieger, p.689, 1981.

BULLARD, J.W.; JENNINGS, H.M.; LIVINGSTON, R.A.; NONAT, A.; SCHERER, G.W.; SCRIVENER, K.L.; THOMAS, J.J. **Mechanisms of cement hydration.** Cem. Concr. Res. v. 41, p. 1208–1223, 2001.

BURGER, M.L.; RICHTR, H.G. **Anatomia da Madeira.** São Paulo: Nobel, p.151, 1991.

BROWNING. B. L. **The Chemistry of wood.** Interscience Publishers. New York, 1963.

CALLISTER, JR. W.d. **Ciência e engenharia de Materiais: Uma Introdução.** 5ª edição, Rio de Janeiro: LTC editor, 2002.

CASEY, J. **Pulp and paper chemistry and chemical technology**. Wiley Interscience, New York, v.1, 1980.

CASTRO, H.F. **Apostila de aula do curso de processos químicos industriais II**. Universidade de São Paulo, SP, 2009.

CHANG, T. C., CHANG, H. T., WU, C. L., et al., **Influences of extractives on the photodegradation of wood**, *Polymer Degradation and Stability*, v. 95, n. 0, pp. 516-521, 2010

CHAUHAN, S.S.; WALKER, J.C.F. **Variations in acoustic velocity and density with age, and their interrelationships in radiata pine**. *Forest Ecology and Management*; v.229, p.388-394, 2006.

FAN, M.Z.; NDIKONTAR, M.K.; ZHOU, X.M.; NGAMVENG, J.N. **Cimentado compósitos feitos de madeiras tropicais: compatibilidade da madeira e cimento**. *Cem. Concr. Compos.*, v.36, p.135-140, 2012.

FARRELY, D. **The Book of bamboo**. Sierra Club Books, São Francisco, p.202, 1984.

FRANCESCHI, V. R.; HORNER, H. T. **Calcium oxalate crystals in plant**. *The Botanical Review*, Bronx, v. 46, p. 361- 427, 1980.

FENGEL, D., WEGENER, G. **Wood Chemistry, Ultrastructure, Reactions**, Berlin/New York: Walter de Gruyter, 2003.

GARCIA-HORTAL, J.A. **Fibras papeleras**. Edições UPC , Barcelona, 2007.

GELLERSTEDT, G. **The Worldwide Wood Resource**. In: *Pulp and paper chemistry and technology: Wood chemistry and wood biotechnology*, Berlin: Walter de Gruyter GmbH & Co. KG, Cap.1, v.1, p.1-12, 2009.

GNANAHARAN, R.; DHAMODARAN, T.K. **Adequação de algumas madeiras tropicais para a fabricação de plantas de lã de madeira ligadas a cimento**. *Holzforchung*. v.39, p.337-240, 1985.

HACINE, T. **Acetate de cellulose, synthese, proprietes et applications**. Master's thesis, Université Abou-belkaid tlemcen, 2013.

HACHMI, M.; CAMPBELL, A. G. **Wood-cement chemical relationships**. In: **Inorganic Bonded Wood and Fiber Composite Materials**. Session II: Raw Material Considerations. USA. v. I, p. 43-47, 1989.

HIDALGO, L. O. **Bambu – Su cultivo y aplicaciones en: fabricacion de papel, construcción, Arquitectura, Ingenieria, Artesanía**. Estudios Técnicos Colombianos Ltda.,

Colômbia, p.318. 1974. *Bamboo: the gift of the God's*. D'vinini Ltda., Bogotá, Colômbia. p.553, 2003.

HEWLETT, C.P. **Lea's Chemistry of Concrete and Cement**. New York: Wiley, 1997.

JORGE, FC.; PEREIRA, C .; FERREIRA, JMF. **Compósitos madeira-cimento: uma revisão**. *Holz al Roh- und Werkstoff*. v.62, p.370-377, 2004.

DINWOODIE, J. M. **Wood-cement particleboard**. **Building Research Establishment**. Abstract, 1978.

KEINERT, J.S. **Laboratory evaluation of Eucalyptus grandis and Eucalyptus robusta for the manufacture of composition board**. Michigan. Dissertação (Doctor of Philophy) - Department of Forestry, Michigan State University, 1980.

KELLISON, R. C. **Characteristics affecting quality of timber from plantations, their determination and scope for modification**. 170 IUFRO World Congress. Japão, p. 77 - 87, 1981.

KENNEDY, F.; PHILLIPS, G, O.; WILLIAMS, E. P. A. **Wood and cellulotics: industrial utilization, biotechnology, structure and properties, ellis horwood**. Chichester: E. Horwood, p.1130, 1987.

KLOCK, U. **Química da madeira**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 3ª ed., 2005.

KOLLMANN, F.F.P.; CÔTÉ, W.A. **Principles of wood Science and technology**. New York: Springer Verlag, v.1, p.592, 1968.

LATORRACA, J.V.F.; IWAKIRI, S., **Efeito inibidor de cinco especies florestais sobre a cura do composito cimento-madeira**. *Floresta e Ambiente*. v.6, p.76–82, 1999.

LEA, F. M. **The chemistry of cement and concrete**. London: Edward Arnold Ltd. 3rd ed., ch. 9, p. 177—249, 1970.

LEE, A.W.C. **Propriedades físicas e mecânicas da placa excelsior de pinho ligada ao cimento do sul**. *Forest Prod. J*. v.34, p30-34, 1984.

LIMA, G. F. C. 1998. **Alternativas de seleção e manejo de volumosos forrageiros para atividade leiteira no Nordeste**. In.: SIMPÓSIO AGRONEGÓCIO DO LEITE NO NORDESTE: ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS E PERSPECTIVAS DE MERCADO, 1998, Natal, RN. *Anais...* Natal: EMPARN/ FIERN/SENAI. p. 192.

MACÊDO, A.N.; LIMA, A.M.; FONSECA. F. O. et al. **"Análise estatística do comportamento mecânico à compressão do compósito cimento - madeira"**, *Revista Matéria*, Rio de Janeiro, v.16, n.2, 2011.

MAGALHÃES, W.L.E. **Tratamento mecânico visando o aumento da permeabilidade em madeira de *Pinus elliotti* Engelm Var. *elliotti***. In: Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, Curiabá, Anais, v.9, 2004.

MARTINS, S. C. F. **Pisos de argamassa reforçada com partículas de bambu**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, 2002.

MAZZA, M. **Modification chimique de la cellulose em milieu liqu ide ionique et CO2 supercritique**. Institut Nationale Polytechnique de Toulouse, Université de Toulouse, 2009.

MATOSKI, A. **Utilização de pó de madeira com granulometria controlada na produção de painéis de cimento-madeira**. (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 202f, 2005.

MORESCHI, J.C. **Propriedades da madeira**. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. Curitiba, 2005.

MONTEIRO, T.C.; SILVA, R.V.; LIMA, J.T.; BARAÚNA, E.E.P.; CARVALHO, D.M.; LIMA, M.T. **Influência do lenho de tração nas propriedades físicas da madeira de *Eucalyptus* sp**. Journal of Biotechnology and Biodiversity. Gurupi 2010; 1(1): 6-11.

MORI, F.A.; VEIGA, Y.L.; MENDES, L.M.; LATORRACA, J.V.F. **Study of the compatibility between *Eucalyptus grandis* wood and bark and Portland cement**. Ciência Florestal. p.17-257, 2007.

MOSLEMI, A.A.; GARCIA, J.F.; HOFSTRAND, A.D. **Efeitos de vários tratamentos e aditivos em sistemas madeira-cimento-água de Portland**. Sci. 15 de fibra de madeira. p.164-176, 1983.

MOSLEMI, A. A. **Emerging technologies in mineral-bonded wood and fiber composites**. IN: I Seminário Internacional Sobre Produtos Sólidos de Madeira de Alta Tecnologia. I Encontro Sobre Tecnologias Apropriadas de Desdobro, Secagem e Utilização de Madeira de Eucalipto. Belo Horizonte. p. 144- 156, 1998.

NATTERER, J.; SANDOZ, J.L.; REY, M. **Construction en bois matériau, technologie et dimensionnement**. Presses polytechniques et Universitaires Romandes, v.13, 2000.

NEVILLE, A. **Propriedades do concreto**. SP, Ed. Pini, p. 61-341, 1982.

NEVILLE, A. M. **Properties of Concrete**. 5th edition. Pearson Education Limited, Harlow, England, 2012. 872 p

NEVES, A.J.; VIANA, M.M.; DWECK, J.; TOLEDO, R.D.F. **Um estudo comparativo entre os estágios iniciais de hidratação de um cimento Portland de alta resistência e resistente ao sulfato e o cimento Portland F tipo II por meio de análise térmica diferencial não convencional e termogravimetria.** Mater. Res. , v.18, p. 291 – 296, 2015.

PANSHIN, A.J.; DEZEEUW, C. **Textbook of wood technology.** 3<sup>a</sup> ed., New York, McGraw Hill, p.722, 1980.

PAPADAKIS, V. G.; VAYENAS, C. G.; FARDIS, M. N. **Fundamental concrete carbonation model and application to durability of reinforced concrete.** In: Durability of Building Materials And Components, p. 27-38 Brighton. Proceedings. London, 1991.

PEREIRA, M.A.R.; GARBINO, L.V. **Projeto Bambu: Desenvolvimento de Bambu Gigante (D. giganteus) na Unesp – Campus de Bauru – S. P.** In: XXXI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA – COMBEA, 2002, Salvador.

PETTERSEN, R.C. **The chemical composition of wood.** In: ROWELL, R.(ed). The chemistry of solid wood. Washington, American Chemical Society, p.54- 126, 1984.

QUIRINO, W.F. **Retificação térmica de Eucalyptus grandis.** In: Floresta. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, p.60.66, 2002.

REYES, J. S. **Métodos para la propagación de cactáceas Mexicanas.** Amaranto, v. 7, n. 2, p. 1-12, 1994.

ROMA, L.C.; MARTELLO, L.S.; SAVASTANO, H. **Avaliação do desempenho mecânico, físico e térmico de ladrilhos à base de cimento reforçados com fibras vegetais.** Constr Desenvolver Mater., v.22, p. 668 – 674, 2008.

ROUX, M.; ANQUETIL, F. **Finition des ouvrages en bois dans le bâtiment.** CTBA, 1994.

SARTO, C.; SANSIGOLO, C.A. **Cinética da remoção dos extrativos da madeira de durante polpação Kraft.** *Eucalyptus grandis* Acta Scientiarum. p.32, p.227-235, 2010.

SAVASTANO, JR. H.; SANTOS, S. **Uso de resíduos em Construção.** Com ciência: Revista eletrônica de jornalismo científico. 8 ed., 2008.

SCHEINVAR, L. **Cactáceas.** Flora Ilustrada Catarinense, Itajaí. 1985.

SCRIVENER, K.L. **Development of the Microstructure During the Hydration of Portland cement PhD thesis.** University of London, 1984.

SHIMIZU, J. Y. **Pinus na silvicultura brasileira.** Revista da Madeira, v. 16, n. 99, p. 4-14, 2006.

SIMATUPANG, M. H. **Degradations of glucose, cellobiose, and wood under the influence of Portland cement paste.** *Holzforschung*, v. 40, p. 149-155, 1986.

SMITH, L.N.; MIDHA, P.S.; GRAHAM, A.D. **Simulation of metal powder compaction, for development of knowledge based powder metallurgy process advisor.** *Journal of Material Processing Technology*, n.79, p. 94-100, 1998.

STEIN, F.R. **Avaliação técnica do tempo de estocagem da madeira.** Apostila Técnica. Viçosa (MG). p. 1-36, 2003.

THOMAS, N.L.; BIRCHALL, J.D. **The retarding action of sugars on cement hydration.** *Cement and concrete Research*. v.6, p.830-842, 1983.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS. Biblioteca Universitária. **Manual de Normalização e estrutura de trabalhos acadêmicos: TCCs, monografias, dissertações e Teses.** 3. Ed. rev., atual. e ampl. Lavras,2020. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/juspui/handle/1/11017>. Acesso em:15/04/2021.

Vitorino, F.C. **Influência dos Copolímeros de Estireno-Butadieno e de Fibras de Wollastonita na Hidratação, Reologia e Comportamento Mecânico a Altas Temperaturas de Pastas Dúcteis de Cimento Portland.** Universidade Federal do Rio de Janeiro; 2017.

ZHENGtian, L., MOSLEMI, A.A. **Effect of western larch extractives on cement setting.** *Forest Products journal*. v.36, p. 53-54, 1986.