

FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS

PABLO LOURENÇO MARON DA FONSECA

**CONFECÇÃO DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE
MADEIRA PARA APLICAÇÕES NÃO ESTRUTURAIS**

VOLTA REDONDA

2021

FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS

**CONFECÇÃO DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE
MADEIRA PARA APLICAÇÕES NÃO ESTRUTURAIS**

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Materiais do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA, como requisito obrigatório para obtenção do título de Mestre em Materiais, sob a orientação do prof. Dr. Roberto Oliveira Magnago, na área de concentração de processamento e caracterização de materiais, linha de pesquisa em materiais compósitos e recicláveis.

Aluno:

Pablo Lourenço Maron da Fonseca

Orientador:

Prof. Dr. Roberto de Oliveira Magnago

VOLTA REDONDA

2021

F676c Fonseca, Pablo Lourenço Maron da

Confecção de concreto com adição de fibras de madeira para aplicações não estruturais. / Pablo Lourenço Maron da Fonseca. - Volta Redonda: UniFOA, 2021. 62 p. II

Orientador (a): Prof. Roberto Oliveira Magnago

Dissertação (Mestrado) – UniFOA / Mestrado Profissional em Materiais, 2021

1. Materiais - dissertação. 2. Compósitos. 3. Eucalipto. 4. Concreto. I. Magnago, Roberto Oliveira. II. Centro Universitário de Volta Redonda. III. Título.

CDD – 620.1

FOLHA DE APROVAÇÃO



FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS



PABLO LOURENÇO MARON DA FONSECA

Confecção de concreto com adição de fibras de madeira para aplicação não estruturais.

Orientador: Prof. Dr. Roberto de Oliveira Magnago

**ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO
TÍTULO DE
“MESTRE EM MATERIAIS”**

**APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE MESTRADO
PROFISSIONAL EM MATERIAIS**

Prof. Dr. Roberto de Oliveira Magnago
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Roberto de Oliveira Magnago
Presidente / UniFOA

Prof.ª Dr.ª Renata Martins Parreira
WESLEY LUIZ DA SILVA ASSIS
Examinador interno / UniFOA

wesleyassis@id.uff.br:05369462720 Dados: 2022.06.07 10:11:35 -03'00'

Prof. Dr. Wesley Luiz da Silva Assis
Examinador externo / UFF

Dezembro de 2021.

Dedico essa dissertação ao meu pai Walter
Lourenço e à minha mãe Mirian Maron.

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos a Deus, à minha Mãe Mirian Maron e ao meu Pai Walter Lolurenço.

Ao meu orientador Prof. Dr. Roberto Oliveira Magnago.

RESUMO

O movimento atual em prol do desenvolvimento sustentável na busca pela preservação dos recursos naturais traz relevância ao ecossistema, afetando a forma como os serviços são prestados, inclusive na construção civil. Para tanto, são aplicadas ações afirmativas que visam a construção de baixo custo, a redução de bens de consumo, a segregação de resíduos e a reciclagem de materiais, a fim de armazenar matérias-primas recicláveis. De acordo com a resolução do CONAMA 307, todos os municípios devem proporcionar uma gestão ambientalmente correta dos resíduos da construção civil, visando, assim, um legado sustentável para as novas gerações, de acordo com a nova ordem mundial. Portanto, o presente trabalho analisou as propriedades mecânicas do concreto a partir da adição de madeira de eucalipto, por meio do ensaio de resistência à compressão axial, conforme NBR12118, em um período de 7, 21 e 28 dias. Além disso, a partir do slump test, foi analisada a capacidade do concreto fresco, do concreto natural ao concreto com adição de madeira nos teores de 0%, 10%, 20% e 30%, considerando a NBR 7233. As microestruturas foram analisadas através de varredura microscopia eletrônica (MEV) e difração de raios X (DRX). Assim, o trabalho mostrou o estudo da viabilidade da adição de madeira ao agregado natural na confecção do concreto para o produto da construção civil. Concluindo assim, através dos resultados que a confecção de concreto com adição de fibras de madeira serviu para concreto não estrutural e não foi eficiente para concreto estrutural.

Palavras-chave: Compósitos, Eucalipto, Agregado, Concreto.

ABSTRACT

The current movement in favor of sustainable development in the search for the preservation of natural resources brings relevance to the ecosystem, affecting the way services are provided, including in construction. To that end, affirmative actions are applied that aim at the construction of low cost, the reduction of consumer goods, the segregation of waste and the recycling of materials, in order to store recyclable raw materials. In accordance with the resolution of CONAMA 307, all municipalities must provide environmentally sound management of construction waste, thus aiming for a sustainable legacy for the new generations, according to the new world order. Therefore, the present work analyzed the mechanical properties of the concrete from the addition of wood from eucalyptus, by means of the axial compressive strength test, according to NBR12118, in a period of 7, 21 and 28 days. In addition, from the slump test, the capacity of fresh concrete, from natural concrete to concrete with addition of wood in contents of 0%, 10%, 20% e 30%, analyzed, considering NBR 7233. Microstructures also has been analyzed through scanning electron microscopy (SEM) and X-ray diffraction (XRD). Thus, the work showed it the study of the feasibility of adding wood to the natural aggregate in the confection of the concrete for the civil construction product. In conclusion, through the results that the confection of concrete with the addition of wood fibers served for non-structural concrete and was not efficient for structural concrete.

Keywords: Composites, Eucalypto, Aggregate, Concrete, Cement, Sustainable.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Classificação dos resíduos da madeira, segundo sua granulometria: (a) Descarte; (b) Grosso; (c) Médio; (d) Fino (TEIXEIRA, 2005).....	28
Figura 2. Resultados da massa média dos blocos de concreto secos ao ar (DANTAS; BRITO, 2005).....	30
Figura 3. Resultados obtidos no ensaio de absorção de água (DANTAS; BRITO, 2005).....	31
Figura 4. Resistências à compressão médias dos blocos de concreto comparados com o limite médio estabelecido pela NBR 7173 (DANTAS; BRITO, 2005).....	31
Figura 5. Resistência à compressão da amostra com pó de serra tratado em solução alcalina (MACIEL et al).....	33
Figura 6. Obtenção das lascas de pau de escoramento (Fonte: Autoria própria).....	37
Figura 7. Lascas de pau de escoramento (Fonte: Autoria própria).....	38
Figura 8. Material dentro da betoneira em movimento (Fonte: Autoria própria).	39
Figura 9. Medição do abatimento através de <i>Slump</i> (Fonte: Autoria própria).....	39
Figura 10. Prensa hidráulica EMIC, utilizada nos ensaios de resistência à compressão axial(Fonte: Autoria própria).....	40
Figura 11. Corpo de prova inserido na prensa hidráulica durante aplicação de carga (Fonte: Autoria própria).....	40
Figura 12. Corpo de prova rompido após ensaio de compressão (Fonte: Autoria própria).....	41
Figura 13. Resistência à compressão do traço 1 com adição de 0% de lascas de madeira (Fonte: Autoria própria).....	45

Figura 14. Resistência à compressão do traço 2 com adição de 10% de lascas de madeira (Fonte: Autoria própria).....	45
Figura 15. Resistência à compressão do traço 3 com adição de 20% de lascas de madeira (Fonte: Autoria própria).....	46
Figura 16. Resistência à compressão do traço 4 com adição de 30% de lascas de madeira (Fonte: Autoria própria)	46
Figura 17. Valores de resistência à compressão para todos os traços analisados, de acordo com o tempo de cura (Fonte: Autoria própria).....	47
Figura 18. Micrografia de amostra com 10% de adição de madeira e 28 dias de cura, obtida com aumento de 100x (Fonte: Autoria própria).....	48
Figura 19. Micrografia de amostra com 10% de adição de madeira e 28 dias de cura, obtida com aumento de 500x (Fonte: Autoria própria).....	48
Figura 20. Micrografia de amostra com 10% de adição de madeira e 28 dias de cura, obtida com aumento de 2000x (Fonte: Autoria própria).....	49
Figura 21. Micrografia de amostra com 20% de adição de madeira e 28 dias de cura, obtida com aumento de 100x (Fonte: Autoria própria).....	50
Figura 22. Micrografia de amostra com 20% de adição de madeira e 28 dias de cura, obtida com aumento de 500x (Fonte: Autoria própria).....	50
Figura 23. Micrografia de amostra com 20% de adição de madeira e 28 dias de cura, obtida com aumento de 2000x (Fonte: Autoria própria).....	51
Figura 24. Micrografia de amostra com 30% de adição de madeira e 28 dias de cura, obtida com aumento de 100x (Fonte: Autoria própria).....	52
Figura 25. Micrografia de amostra com 30% de adição de madeira e 28 dias de cura, obtida com aumento de 250x (Fonte: Autoria própria).....	52
Figura 26. Micrografia de amostra com 30% de adição de madeira e 28 dias de cura, obtida com aumento de 500x (Fonte: Autoria própria).....	53

Figura 27. Micrografia de amostra com 30% de adição de madeira e 28 dias de cura, obtida com aumento de 2000x (Fonte: Autoria própria).....	53
Figura 28. Difratoograma da amostra com adição de 10% de madeira e 28 dias de cura (Fonte: Autoria própria).....	54
Figura 29. Difratoograma da amostra com adição de 20% de madeira e 28 dias de cura (Fonte: Autoria própria).....	55
Figura 30. Difratoograma da amostra com adição de 30% de madeira e 28 dias de cura (Fonte: Autoria própria).....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tipos de concreto segundo a ABESC (ABESC, 2007)	22
Tabela 2. Composição dos cimentos Portland (AMBROZEWICZ, 2012).....	24
Tabela 3. Resistência à compressão dos traços de concreto (MACIEL et al., 2018).....	33
Tabela 4. Traços estudados e suas respectivas dosagens.....	38
Tabela 5. Resultados dos testes de resistência à compressão.....	44

Lista de Abreviaturas, Siglas e Símbolos

°C	Graus Celsius
μM	Micrômetro
ABESC	Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem do Brasil
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANFACER	Associação Nacional de Fabricantes de Cerâmica para Revestimento
ARI	Alta Resistência Inicial
cm	Centímetro
CP	Cimento Portland
DRX	<i>Difração de raios-x</i>
Kg	Quilograma
Kg/m ³	Quilograma por metro cúbico
kgf	Quilograma Força
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
mm	Milímetro
MPa	Mega Pascal
NBR	Norma Brasileira de Regulamentação
UniFOA	Centro Universitário de Volta Redonda – Fundação Oswaldo Aranha

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. OBJETIVOS	17
3. JUSTIFICATIVA	18
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
4.1. Concreto.....	20
4.2. Cimento <i>Portland</i>	22
4.2.1. Evolução Histórica	22
4.2.2. Agregados	23
4.2.3. Tipos de Cimento	24
4.3. Adições em Concreto.....	27
4.3.1. Adição de Madeira	27
4.4. Estudos já realizados com adição de madeira em concreto	29
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	36
5.1. Materiais.....	36
5.1.1. Cimento Portland CPIII	35
5.1.2. Areia Média	35
5.1.3. Brita 1	36
5.1.4. Adição de lascas de pau de escoramento	36
5.2. Preparo da amostra	38
5.3. Slump Test.....	39
5.4. Moldagem e Cura	40
5.5. Ensaio de Resistência à Compressão	40
5.6. Caracterizações físicas e morfológicas	42
5.6.1. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	42
5.6.2. Difração de Raios-X (DRX)	42
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
6.1. Testes de resistência à compressão	44
6.2. Microscopia eletrônica de varredura.....	478
6.2.1. Adição de 10%.....	48
6.2.2. Adição de 20%.....	49
6.2.3. Adição de 30%.....	51

6.3. DIFRAÇÃO DE RAIOS-X	534
7. CONCLUSÕES	56
8. TRABALHOS FUTUROS.....	57
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho buscou desenvolver um sistema construtivo pré-fabricado modular com corpos de prova cilíndricos, com fibras de madeira de eucalipto (gênero *Eucalyptus*) como matéria-prima e não havendo substituição de nenhum de seus componentes.

A elaboração deste sistema permite a fácil inserção em regime de mutirões para viabilizar edificações favoráveis ao meio ambiente, uma vez que as vigas de concreto podem ser produzidas em alta escala com a utilização de insumos renováveis, além do fato de ser um material novo com características diferentes das convencionais, que resulta em concretos mais viáveis economicamente e em um abatimento importante no valor da obra, por se tratar de material reciclado, desonerando o meio ambiente. Outrossim, os resultados obtidos no estudo, apontaram se o material pesquisado teve resistência mecânica dentro dos parâmetros da Engenharia Civil e da Ciência de Materiais.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi analisar as composições variadas de concreto com adição de resíduos de fibras de madeira e avaliar sua aplicação na construção civil. Como objetivos específicos, foram avaliadas as alterações nas propriedades físicas do concreto endurecido, tais como resistência mecânica à compressão e análise de microestrutura através de equipamentos como microscópio eletrônico de varredura e difratômetro de raios-X.

Tal avaliação foi realizada através de ensaios mecânicos (resistência à compressão) e através de análises de microestrutura, mediante a realização de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e difração de raios-X (DRX).

3. JUSTIFICATIVA

Em busca do desenvolvimento sustentável, a reutilização de resíduos recicláveis originados de obras, indústrias e domicílios brasileiros vem sendo estudada, na intenção de reduzir a utilização de materiais não renováveis tradicionalmente utilizados na construção civil, como por exemplo, areia, brita e cimento. Segundo estudos de SILVA, (2017), essa prática é positiva para a manutenção do meio ambiente e proporciona benefícios para a população. A exequibilidade da produção de compósitos com adição de fibras ou partículas naturais são temas de pesquisas há décadas, apresentando longa história de aceitação e emprego na construção civil, principalmente na Europa e Ásia (IWAKIRI, 2005).

A madeira é uma fonte renovável de matéria-prima que produz alta quantidade de rejeito, quando usada em larga escala, podendo ser prejudicial ao meio ambiente como qualquer outro material de fonte não-renovável, se descartada erroneamente. Há países onde ela é um dos principais materiais aplicados nas construções, porém seu aproveitamento na construção de edificações no Brasil é um pouco tímido, como demonstrado no estudo de SANTOS (2009). Destaca-se que os resíduos de madeira utilizados nesses processos são provenientes de serrarias e do desdobro de árvores, de maneira que o material não passa por processos produtivos, o que resulta em matéria mais pura.

Por outro lado, muitos subprodutos são gerados nos processos de industrialização e aproveitamento da madeira e, em muitos casos, são destinados ao meio ambiente de forma equivocada. Assim, estudos e aplicações de novas tecnologias de materiais e alternativas de uso tornaram-se de suma necessidade e o conceito de aproveitamento vai além da questão reaproveitar ou reciclar, trazendo como opção a produção de peças de maior eficiência, tanto na construção civil quanto em outras áreas, de acordo com as características positivas da madeira (BIJOS; ZANATTA, 2017). Além do fato de minimizar a degradação do meio ambiente pelo seu despejo em lixões, o pequeno consumo de energia para seu beneficiamento, acaba gerando um maior interesse no material (DANTAS; BRITO, 2005).

Segundo MOSLEMI (2014), SEMPLE; EVANS (2004), o compósito cimento-madeira exibe muitos benefícios, entre os quais estão a alta disponibilidade de matéria-prima, a baixa massa específica, a eventualidade de serem serrados e parafusados, o que os torna aplicável na produção de elementos de vedação e de alvenaria, painéis de fechamento, forros e telhas, e a baixa permeabilidade.

Os compósitos cimento-madeira não produzem rejeitos nocivos em sua manufatura, e sua produção possui baixo consumo de energia, sendo, inclusive, uma alternativa aos fibrocimentos que utilizam amianto. No mais, apresentam boas características como excelente estabilidade dimensional, isolante termoacústico e boa capacidade de dispersão de energia (LIMA; IWAKIRI, 2014).

A principal desvantagem está relacionada à falta de compatibilidade química entre a madeira e o cimento, que afeta de forma adversa a hidratação do cimento Portland, devido ao fato de a madeira ser constituída por açúcares, resinas, fenóis e amido (MOSLEMI, 2014). Este problema pode ser otimizado através de tratamentos de extração em água fria ou quente (SIMATUPANG, 1988).

Sendo assim, as vantagens da adição da madeira em compósitos na construção civil, juntamente com a necessidade da busca pelo desenvolvimento sustentável, justificam a realização deste trabalho.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. CONCRETO

O material mais utilizado na construção civil é o concreto, material compósito que se compõe de partículas ou fragmentos de agregado imersos em um meio ligante. No entanto, no presente trabalho, considera-se o concreto como uma mistura de água, cimento *Portland*, agregados graúdos, agregados miúdos e aditivos (ASTM C125-11, 2011).

Em 1963, os Estados Unidos produziram cinco vezes o consumo de aço em massa, em toneladas de concreto (cerca de 500 milhões de toneladas). O consumo mundial de concreto, foi orçado em três bilhões de toneladas no ano de 1993, ou seja, uma tonelada por ser humano vivo. Nenhum outro material, com exceção da água, é consumido em tal quantidade pelo homem. Calcula-se que o consumo mundial de concreto atualmente é da ordem de 11 bilhões de toneladas ao ano (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Tal consumo pode ser explicado, primeiramente, devido ao seu alto uso em canalizações para conduzir água até tanques de estocagem, barragens e canais vistos em grande parte do mundo, desde o Império Romano. Isso acontece por sua alta resistência à água, sendo ideal para estruturas destinadas à sua estocagem ou transporte. Outra razão para o uso tão disseminado do concreto é a trivialidade de execução dos elementos estruturais fabricados com ele, em variedade de formas e tamanhos. Além disso, seus principais ingredientes, o cimento Portland e os agregados, são relativamente baratos e encontrados com facilidade na maior parte do mundo (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

O concreto é classificado em três categorias, pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2006), baseadas na massa específica no estado endurecido, estabelecidas pela norma NBR 12655:2006:

- Concreto normal, com massa específica maior do que 2000 kg/m^3 , e que não excede 2800 kg/m^3 , sendo constituído normalmente de pedra britada, areia natural ou seixo rolado.

- Concreto leve, com massa específica entre 800 kg/m^3 e 2000 kg/m^3 . Constituído por agregados processados termicamente com baixa densidade ou naturais (resíduos de esgoto sinterizado, escória siderúrgica, agregados expandidos de argila, ardósia, vermiculita e outros).

- Concreto pesado, com massa específica maior que 2800 kg/m^3 . Ele é constituído de agregados de alta densidade, como magnetita, hematita, barita e limonita.

MEHTA, MONTEIRO (2008), estudaram a classificação do concreto baseando-se em critérios de resistência à compressão, durante 28 dias, designando-se três categorias: concreto de baixa resistência, com resultado menor que 20MPa; concreto de resistência moderada, com resultado ente 20 e 40 MPa; e concreto de alta resistência, com resultado de ensaio superior a 40MPa. No entanto, a NBR 12655, considera como concreto de alta resistência aquele com resistência à compressão maior que 50 Mpa (ABNT, 2006).

A NBR 12655 ainda classifica o concreto de diversas outras formas: concreto aerado, concreto-massa, concreto projetado, concreto prescrito, concreto dosado e concreto espumoso (ABNT, 2006). De acordo com a ABESC, a classificação dos concretos mais comuns se dá em concordância à sua aplicação em obra, porquanto o êxito de uma construção dependerá da aplicação correta do concreto (ABESC, 2007; MAGALHÃES, 2007). Os principais tipos aparecem na Tabela 1, abaixo.

Tabela 1. Tipos de concreto segundo ABESC (2007).

TIPO	APLICAÇÃO
Rolado	Barragens, pavimentação rodoviária e urbana.
Bombeado	De uso em qualquer obra. Obras de difícil acesso.
Resfriado	Peças de elevado volume como bases ou fundações.
Projetado	Reparo ou reforço estrutural, revestimento de túneis.
ARI	Estruturas convencionais ou protendidas, pré-fabricados.
Fluido	Peças delgadas, elevada taxa de armadura.
Pesado	Como lastro contrapeso, barreira à radiação.
Leve	Elementos de vedação.
Leve estrutural	Peças estruturais, enchimento de pisos e lajes.
Alto Desempenho CAD	Elevada resistência. Pré-fabricados e peças protendidas.
Convencional	Uso corrente da construção civil.
Submerso	Plataformas marítimas.
Grout	Agregados de diâmetro máx. de 4,8 mm.

4.2. CIMENTO PORTLAND

4.2.1. Evolução Histórica

No antigo Egito a construção das pirâmides era realizada com uma massa obtida a partir da mistura de pedra de calcário e gesso. Na Roma e na Grécia antigas, os monumentos eram construídos com uma massa de cinzas vulcânicas hidratadas, mas com a derrocada de suas civilizações, a verdadeira fórmula ficou perdida no tempo. Por isso houve uma decadência dos cimentos na Idade Média e tiveram que ser desenvolvidos novamente (MAGALHÃES, 2007).

A falta absoluta de entendimento sobre o que garantia as propriedades e o comportamento hidráulico dos aglomerantes foi responsável pelo atraso no desenvolvimento do material até a metade do século XVIII. Somente em 1756, John Smeaton desenvolveu um aglomerante resistente à água, através de estudos com argila para a construção do farol de Eddystone, na Inglaterra, que mostraram sua importância na hidraulicidade do concreto. Os aglomerantes que deixavam resíduo de argila e quartzo por não se dissolverem em ácido nítrico, eram considerados de boas propriedades hidráulicas (LABAHN; KOAHLAAS, 1985).

Alguns anos depois, James Parker descobriu um cimento composto por pedaços de rochas sedimentadas e ganhou evidência com as publicações feitas pelo francês Louis José Vicat, em 1818. Porém, o ponto mais importante da história do cimento atual aconteceu através das experiências que envolviam processos de mistura de argila e pó de pedras calcárias, retiradas das ruas, do construtor inglês Joseph Aspdin. Como resultado, Aspdin alcançou um material pulverulento, que, ao ser misturado com uma certa quantidade de água, se transformava em uma argamassa e, depois de seca, em um material com dureza próxima a das pedras utilizadas nas edificações (MGORILA, 2015).

Finalmente, em 1824, em consequência das semelhanças com rochas extraídas de uma pequena península inglesa, ele patenteou seu produto como cimento *Portland*. No entanto, este cimento seguiu se desenvolvendo e só em 1845, quando Isaac Charles Johnson experimentou elevar a temperatura de queima para 1400°C e diminuir a granulometria do clínquer resultante desta queima. O produto obtido foi um cimento mais fino e de maior qualidade (MGORILA, 2015).

Atualmente, o cimento Portland é obtido a partir da moagem de material calcário, de alumina e sílica, encontrados como argilas ou xisto, suas matérias-primas, seguido de queima a 1450°C, dando origem ao clínquer. Após as etapas de processamento, o clínquer é composto por silicatos, aluminatos e gipsita, que inibe a tendência à pega instantânea. O resultado é um aglomerante hidráulico aplicado na produção do concreto ou argamassa (MGORILA, 2015).

4.2.2. Agregados

A adição de agregados ao concreto tem a função de aumentar as propriedades de resistência à compressão, possibilitando a moldagem de peças, por exemplo. Eles podem ser classificados em graúdos, definidos como grãos de granulometria entre 152 mm e 4,8 mm, ou miúdos, definidos por areia de origem natural ou derivada da britagem de rochas estáveis ou mistas (origem sintética), com granulometria entre 4,8 mm e 75 µm (ABNT, 2009).

Os agregados desempenham importante papel nos ensaios realizados em aplicações definidas quando adicionados em uma mistura, tais como granulometria,

massa peculiar, módulo de finura, argila em altas temperaturas, impurezas orgânicas e materiais pulverulentos. Sendo assim, são fundamentais na produção de concreto e argamassa (SILVA, 2017).

4.2.3. Tipos de Cimento

Os tipos de cimentos são definidos de acordo com as adições realizadas, a partir da sigla CP, de cimento *Portland*, acompanhada de algarismos de I a V. Quando necessário, são identificadas também as classes representadas pelos números 25, 32 e 40, os quais designam o indicativo de resistência à compressão do corpo de prova padronizado (AMBROZEWICZ, 2012). Conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Composição dos cimentos Portland (AMBROZEWICZ, 2012)

COMPOSICAO DOS CIMENTOS PORTLAND (% massa)						
Tipo de Cimento	Sílica	Clínquer + Gesso	Escória de Alto Forno (E)	Escória de Pozolânio (Z)	Material Carbônico (F)	Norma
Comum	CPI CPI-S CPII-E	100 99-95 94-56	-- -- 6-34	-- -- --	-- -- 0-10	NBR 5732 [21]
Composto	CPII-Z CPII-F	94-76 94-90	-- --	6-14 --	6-10	NBR 11578 [22]
Alto-Forno	CPIII-40	65-25	35-70	--	0-5	NBR 5735 [23]
Pozolânico	CP-IV	85-45	--	15-50	0-5	NBR 5736 [24]
Alta Resistência Inicial (ARI)	CPV-ARI	100-95	--	--	0-5	NBR 5733 [25]

Os principais aditivos, que aparecem na **Error! Reference source not found.**, são clínquer, gesso, escória de alto-forno, argila pozolânica e material carbonáceo. O clínquer é uma mistura de minério de ferro, calcário e argila, aquecida até 1450°C e

resfriado subitamente, que possui alta resistência mecânica, quando pulverizado e reagido com água. O gesso é responsável pelo retardo da pega do cimento. Sem a adição de gesso, o cimento endureceria imediatamente após o contato com a água, impossibilitando seu uso (AMBROZEWICZ, 2012).

A escória de alto forno é um ligante hidráulico que reage quando a água está presente, atuando como aglomerante, assim como o clínquer. Seu uso garante maior resistência final ao cimento e maior durabilidade (AMBROZEWICZ, 2012).

Para melhorar a trabalhabilidade do material, são realizadas adições de material carbonáceo (rochas com carbonato de cálcio em sua composição), visto que os grãos desses materiais se alojam entre os outros componentes, devido às dimensões adequadas, exercendo a função de lubrificante (AMBROZEWICZ, 2012).

Por fim, a argila pozolânica tem atividade potencializada de impermeabilizar o concreto (TORRES, 2017). Ressalta-se a intervenção dos componentes do cimento de acordo com sua regionalidade e características oriundas de fábricas e indústrias locais.

Em relação à definição dos cimentos, a sigla CP-I se refere ao Cimento Portland Comum, fabricado apenas com a adição de gesso, componente responsável pela perda da fluidez da pasta denominado pega, baseado na NBR 5732 (ABNT, 2014). A sigla CP-II representa o Cimento *Portland* Composto, resultante da análise do cimento Portland Comum, quando se elaborou um formato com componentes adicionados de escória ou pozolana, tornando um produto competitivo que corresponde a 70% do mercado industrial do Brasil. Atribuindo em grande escala em aplicações usuais, substituindo diretamente o CP-I, com base na NBR 11578 (ABNT, 2014).

O CP-III-40 é o Cimento *Portland* de Alto-forno, fruto da adição de escória siderúrgica da fusão de metais processados no alto-forno com aparecimento de silicato. As escórias siderúrgicas exercem o papel de representarem as particularidades hidráulicas latentes, porém as atividades de hidratação do produto supracitado são vagarosas. Frequentemente esse material é aplicado na construção e pavimentação de pistas de aeroportos, obras e ambientes marítimos, barragens, represas e estação de esgoto, com base NBR 5735 (ABNT, 2014).

O CP-IV é o Cimento *Portland* Pozolânico, atingido pelo somatório de escória de forno siderúrgico e pozolana. Diferentemente da escória, a pozolana não exerce reação sobre a água. No seu processo de moagem, ela apresenta reação com componente de hidróxido de cálcio, associado ao ligante hidráulico em temperatura ambiente, resultando em compostos com propriedades em massa, com base NBR 5736 (ABNT, 1986).

A sigla CP-V-ARI se refere ao Cimento Portland de Alta Resistência Inicial, cuja característica principal é alcançar resistência imediata elevada após a aplicação. Isso se deve à possibilidade de utilizar uma quantidade específica de argila e calcário na fabricação do clínquer, e o refinamento na moagem para o cimento, que quando reagido com a água, adquire aumento na taxa de resistência e velocidade, segundo a NBR 5733 (FONSECA, 2010).

4.3. ADIÇÕES EM CONCRETO

De acordo com a literatura, há 25 definições distintas para as adições feitas em concreto, que não devem ser confundidas com os aditivos. As adições visam somar ou substituir, parcialmente, o cimento, devido às propriedades semelhantes, enquanto os aditivos modificam as características do cimento sem interferir na sua composição (FONSECA, 2010). Porém, segundo estudos de MALHOTRA, MEHTA (1996) o termo adição é definido como qualquer material utilizado como ingrediente do concreto, além de água, cimento e agregados.

Várias pesquisas mostram que produtos a adição de fibras de carbono, e vidro, de aço e de amianto ao cimento Portland como reforço de matriz, têm apresentado características mecânicas adequadas. Todavia, são produtos que causam controvérsia, seja pelo alto custo de produção, seja pelos danos causados ao meio ambiente. Neste contexto, as fibras vegetais vêm se tornando interessantes para o desenvolvimento de compósitos, por se mostrarem bastante adequadas, devidos a algumas vantagens que apresenta, tais como, disponibilidade de matéria-prima renovável, densidade reduzida, reaproveitamento de resíduos, resistência adequada e agentes degradadores, resistência a impactos e bom isolamento termoacústico (CARVALHO, 2000).

4.3.1. Adição de Madeira

Mesmo sendo um material renovável, a madeira pode afetar o meio ambiente, quando na forma de resíduo. Seus processos de industrialização e beneficiamento geram subprodutos em grandes quantidades e que não são aproveitados na maioria das indústrias, recebendo destinos que prejudicam o meio ambiente. Tudo o que resta de um processo e que é destinado ao abandono por seu proprietário, é considerado resíduo (BIJOS; ZANATTA, 2017).

O resíduo da madeira é classificado com um resíduo ligno-celulósico, por ser composto, em sua maioria, por lignina e celulose, que pode ser reciclado ou reutilizado como matéria-prima em um processo diferente do de origem. São resíduos que apresentam baixa densidade, elevado teor de umidade e são dispersos geograficamente, concentrando-se nas indústrias de processamento de madeira, o

que encarece a coleta e o transporte, dificultando o aproveitamento energético. Outra característica comum dos resíduos é a sua heterogeneidade, por apresentar variedade nos formatos e na granulometria. Em seu trabalho, TEIXEIRA (2005), classificou resíduos de madeira através de ensaio de peneiramento como:

- Descartes – Lascas e maravalha de grandes dimensões e de restos de pontas, cascas e palha. Partículas grosseiras;
- Grosso – Lascas e maravalha, ásperas e rijas ao toque;
- Médio – Pequenas lascas, maravalhas e raspas ásperas ao toque, com fases entre granulosa e fibrosa;
- Fino – Presença de fases que variam de pó fino até grãos com textura similar à farinha de mandioca, e ainda partículas fibrosas, macias e maleáveis ao toque. Granuloso.

CLASSIFICAÇÃO	PENEIRA	%	% TOTAL	DESCRIÇÃO	IMAGEM
DESCARTADO	25,40	0,91	5,75	Constituído de partículas grosseiras, compostas de lascas e maravalha de grandes dimensões e de restos de pontas, casca e palha.	
	19,10	4,84			
GROSSO	9,52	22,90	33,84	Constituído de lascas e maravalha, ásperas e rijas ao toque.	
	4,76	10,94			
MÉDIO	2,00	10,94	27,47	Material com fases entre granulosa e fibrosa, composto de pequenas lascas, maravalhas e raspas ásperas ao toque.	
	0,84	16,52			
FINO	0,59	6,51	32,95	Material granuloso, com fases indo do pó fino como talco até grãos com textura similar à farinha de mandioca e ainda partículas fibrosas, macias e maleáveis ao toque.	
	<0,59	26,44			

Figura 2. Classificação dos resíduos da madeira, segundo sua granulometria: (a) Descarte; (b) Grosso; (c) Médio; (d) Fino (TEIXEIRA, 2005)

CARVALHO (2000) cita que as misturas madeira-cimento podem ser moldadas através da prensagem ou com o uso de formas, sem sofrer pressão, combinada ou não com a extrusão. Quando se diz respeito à umidade, como as partículas vegetais absorvem água do meio, é necessário molhar para não absorverem a água do

amassamento do cimento. Em contrapartida, são necessários muitos cuidados com relação à perda de água, relacionada à cura do cimento, visto que estas partículas liberam a água de acordo com a perda de água da matriz.

MATOSKI (2005) estudou a afinidade do cimento com a madeira e concluiu que, essa compatibilidade depende da espécie da madeira, pois a quantidade de carboidratos, glucosídeos e componentes fenólicos podem interferir na pega do cimento, inclusive, inibindo-a. Além disso, o comportamento alcalino do cimento ao ser dissolvido na água, pode minimizar a resistência da madeira, pouco resistente a meios alcalinos.

SILVA et al. (2018), citam que um dos maiores problemas que a confecção de compósitos com adição de misturas madeira-cimento enfrenta é a aderência entre os compostos, porque ela depende do material vegetal que está sendo utilizado. Os autores afirmam ainda, que as coníferas são as árvores mais interessantes para tal, por apresentarem propriedades harmonizáveis com o cimento, não levando à inibição de pega e ao endurecimento. Outrossim, estudos apontam que o uso de eucalipto também é adequado para a aplicação em questão.

4.4. ESTUDOS JÁ REALIZADOS COM ADIÇÃO DE MADEIRA EM CONCRETO

Apesar do pequeno avanço científico relacionado à adição de resíduo de madeira em concreto, o que leva a informações insuficientes sobre as propriedades, a estrutura e o comportamento destes compósitos, esta seção mostrará alguns estudos já realizados sobre a aplicação deste material para a construção civil.

DANTAS FILHO (2004) trabalhou na elaboração de blocos de concreto sem finalidade estrutural com incorporação de até 50% de pó de serra. O autor verificou que esta incorporação melhorou a resistência térmica e diminuiu a massa do material. Conquanto a resistência à compressão tenha sido menor àquele sem a presença de pó de serra, o produto obedeceu às normas para vedação em alvenarias.

Ao final, o trabalho evidenciou que o pó de serra pode substituir total ou parcialmente o agregado miúdo mineral na fabricação de blocos destinados à vedação e enchimento em lajes pré-moldadas. Verificou-se ainda vantagens tais como melhor

desempenho térmico, devido à baixa condutividade térmica da madeira e massa reduzida.

Em ano seguinte, DANTAS FILHO; BRITO (2005) fizeram um estudo complementar sobre o comportamento do bloco de concreto já obtido, mas com variações de 30% (traço B), 40% (traço C), 50% (traço D), 60% (traço E) e 100% (traço F). Propriedades como condutibilidade térmica, absorção de água e resistência à compressão foram comparadas com um concreto de referência (traço A). Conforme a imagem a seguir.

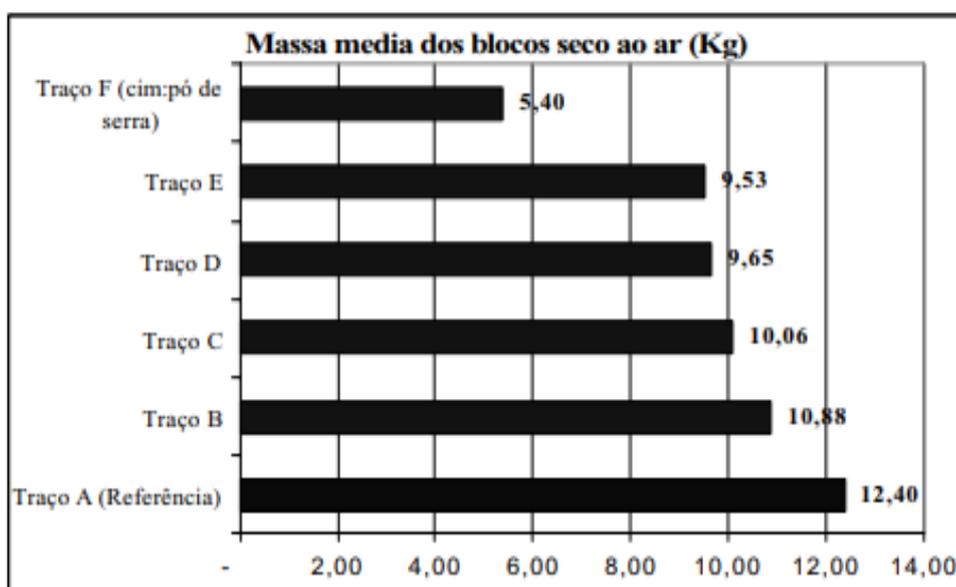


Figura 3. Resultados da massa média dos blocos de concreto secos ao ar (DANTAS FILHO; BRITO, 2005)

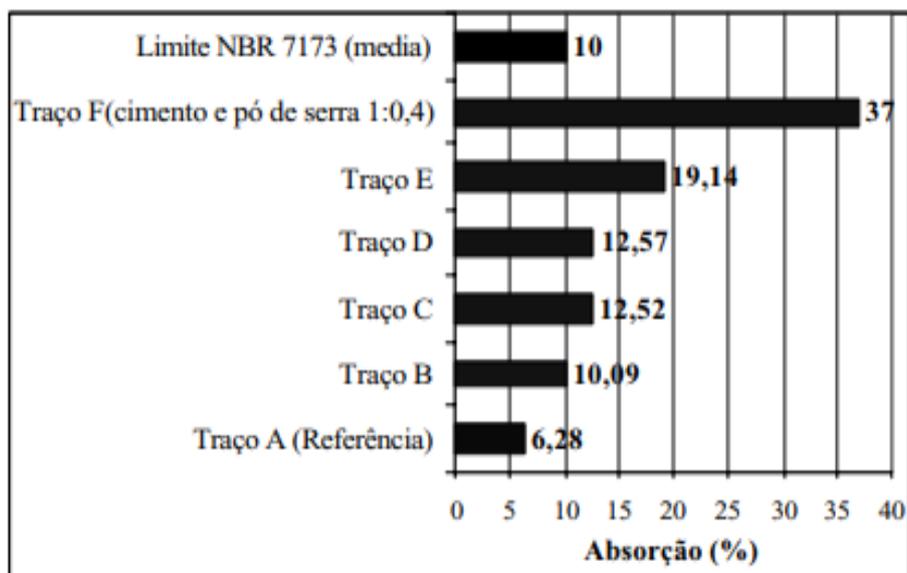


Figura 4. Resultados obtidos no ensaio de absorção de água (ABNT, 1982; DANTAS FILHO; BRITO, 2005)

mostra a massa média dos blocos secos ao ar. O traço C apresentou redução de 2,4 kg, os traços E e D reduziram, aproximadamente, 3 Kg, e o traço B, em torno de 1,5 Kg. O traço F exibiu a maior redução de massa entre as amostras (cerca de 7 Kg).

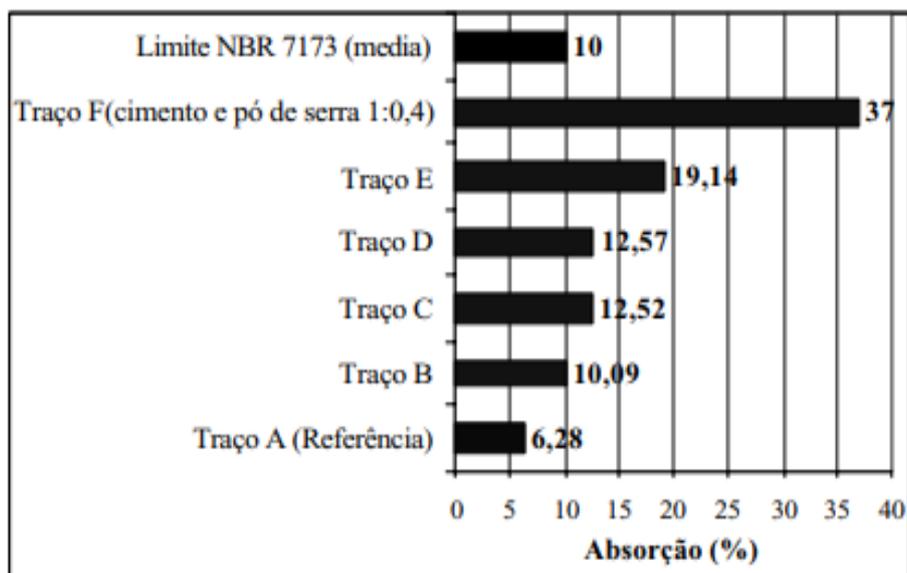


Figura 4. Resultados obtidos no ensaio de absorção de água (ABNT, 1982; DANTAS FILHO; BRITO, 2005)

A **Error! Reference source not found.** mostra os resultados dos ensaios de absorção de água e o limite máximo de 10% estabelecido pela NBR 7173 (ABNT, 1982), atual NBR 6136 (ABNT, 2016). Todas as amostras exibiram valores acima do limite estabelecido, principalmente o traço F. Este fato pode ser explicado através da facilidade em absorver umidade que a madeira possui.

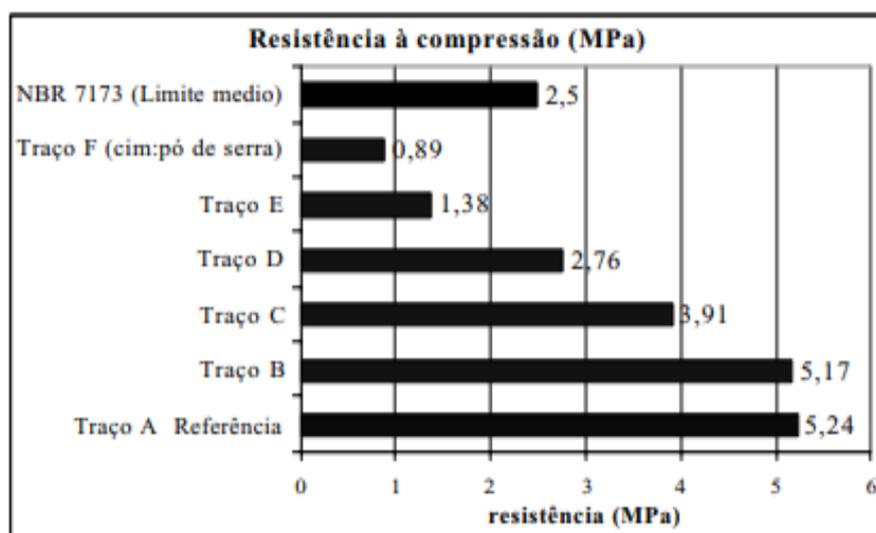


Figura 5. Resistências à compressão médias dos blocos de concreto comparados com o limite médio estabelecido pela NBR 7173 (ABNT, 1982; DANTAS FILHO; BRITO, 2005)

A **Error! Reference source not found.** mostra os valores obtidos para a resistência à compressão e o valor limite estabelecido pela NBR 6136 (ABNT, 2016). O traço de referência (traço A) possui resistência de 5,4 MPa, semelhante ao traço B, com 5,17 MPa, mas que possui 1,5 Kg a menos. O traço E não se mostrou aceitável por exibir resistência abaixo do valor proposto pela norma em questão, todavia o traço D, de massa similar, exibiu resistência acima do determinado pela norma. Assim sendo, os traços B, C e D são aplicáveis a vedações, contanto que sejam respeitados seus limites de resistência mecânica, enquanto os traços E e F só poderão ser utilizados de forma secundária, apenas, no enchimento de lajes pré-moldadas ou na execução de contrapisos, por exemplo.

A partir dos resultados apresentados, os autores confirmaram que a substituir o agregado miúdo mineral por pó de serra propicia um menor consumo de areia para a produção do concreto. Além disso, foi viabilizada a concepção de um compósito de baixa massa específica, quando comparado ao concreto de referência. No entanto, tais blocos devem ser restritos a ambientes secos ou submetidos a tratamento superficial pertinente, para que lhes sejam conferidos certa impermeabilidade. (ABNT, 1982; ABNT, 2016; DANTAS FILHO; BRITO, 2005)

MACIEL et al. (2018) também estudaram a exequibilidade em se substituir o agregado miúdo por pó de serra, parcialmente, na produção de concreto, porém, para pavimentação de vias de tráfego leve. Os experimentos foram realizados com três tipos de amostras, sendo uma contendo pó de serra in natura, outra com pó de serra tratado em solução alcalina e a terceira sem a substituição da areia para níveis de comparação.

Após os procedimentos, os autores observaram que a mistura com pó de serra in natura não se solidificou de forma eficiente, eventualmente, em consequência do alto nível de absorção de água que o pó de serra in natura possui, resultando em perturbações na hidratação do cimento e da presença de impurezas. Por conseguinte, somente a mistura com pó de serra alcalinizado e a mistura sem a substituição da areia foram passíveis da realização dos ensaios de resistência à compressão. A Tabela 3 e

Figura 6 mostram os resultados de resistência à compressão obtidos no estudo (MACIEL et al., 2018).

Tabela 3. Resistência à compressão dos traços de concreto (MACIEL et al., 2018)

Amostra	Tensão (MPa)		
	14 dias	21 dias	28 dias
Sem substituição	8,3	10,6	11,4
Pó de serra em solução alcalina	1,9	2,6	3,9

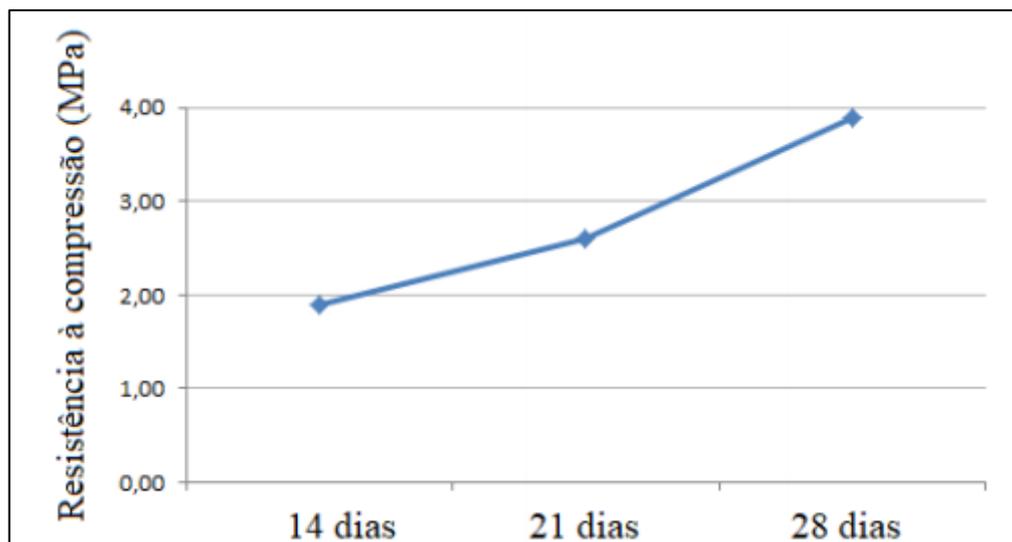


Figura 6. Resistência à compressão da amostra com pó de serra tratado em solução alcalina (MACIEL et al., 2018).

Desta forma, foi possível observar que o concreto teve sua resistência à compressão significativamente reduzida pela adição do pó de serra. Eles acreditam que o tratamento realizado não foi efetivo para manter o resíduo inerte e purificado. Entretanto, no decorrer da idade de cura, verifica-se aumento da resistência da amostra com pó de serra em solução alcalina, sugerindo que o cimento é hidratado até os 28 dias de cura (MACIEL et al., 2018).

ARRUDA et al. (2012) também avaliaram o efeito da incorporação de pó de serra em concreto, porém para a fabricação de placas e tijolos maciços, aplicados como componente de vedação ou com função não estrutural. Foram avaliados a absorção de água, a massa específica, granulometria e índice de vazios e igualmente, as propriedades mecânicas, mediante ensaios de resistência, tendo como base a normalização.

ARRUDA et al. (2012); MACIEL et al. (2018) concluíram que o emprego do pó de serra na confecção da argamassa em substituição ao agregado miúdo mineral levou ao decaimento da resistência à compressão axial, quando comparada à argamassa de referência, porém, tais resultados estão dentro dos critérios requeridos pela normatização. Para mais, a razão cimento/madeira foi esclarecida por meio da adição química e as características observadas são bastante semelhantes às dos

materiais convencionais, afirmando a factibilidade da confecção de bloco e tijolos maciços, entre outros elementos construtivos.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo descreverá a metodologia desta pesquisa, bem como os materiais utilizados para a realização dela, levando-se em consideração todos os experimentos realizados em Laboratório de Engenharia da UniFOA.

Os materiais foram separados e misturados em betoneira para a obtenção de quatro traços, com 0%, 10%, 20% e 30% de adição de madeira de eucalipto. Depois, houve a realização do *slump test*, seguido do término da moldagem e secagem. Os corpos de prova foram desenformados após 24 horas, identificados e levados para cura por 7, 14, 21 e 28 dias.

Após a cura, as amostras foram ensaiadas nos dias especificados em prensa hidráulica (resistência à compressão axial) e passaram por ensaios difração de raios-x (DRX) e microscopia eletrônica de varredura (MEV), para análise de suas microestruturas.

5.1. MATERIAIS

Para o estudo de um novo tipo de concreto, foram utilizados cimento *Portland* CPIII, areia média, brita 1, água e lascas de pau de escoramento como adição. Também foi necessária a utilização de cola branca PVA Cascorez com objetivo de aumentar a aderência da madeira aos agregados graúdos e miúdos evitando a sua segregação.

5.1.1 Cimento *Portland* CPIII

O cimento *Portland* CPIII foi escolhido para ao presente trabalho por ser comumente utilizado na construção civil. Sua principal característica foi o alto teor de escória siderúrgica, proveniente do processo de alto-forno, com a presença de silicato (TORRES, 2017). Sua composição consistiu em 25 a 65% de clínquer e gesso, 35 a 70% de escória e 0 a 5% de calcário (AMBROZEWICZ, 2012).

5.1.2 Areia Média

A areia média é uma areia padronizada e foi adquirida no próprio laboratório. Ela possui tamanho médio de grão entre 2 e 0,6 mm.

5.1.3 Brita 1

A brita 1 tipo natural possui tamanho de 19 mm e foi composta, basicamente, por granito. Ela também foi concedida pelo laboratório e é oriunda da extração da Pedreira de Volta Redonda.

5.1.4 Adição de lascas de pau de escoramento

Como adição, foi utilizada madeira de eucalipto em forma de lascas de pau de escoramento. A Figura 6 mostra a obtenção das lascas de pau de escoramento.



Figura 7. Obtenção das lascas de pau de escoramento (Fonte: Autoria própria)

A Figura 7 mostra as lascas na forma com que foram utilizadas na mistura de concreto. Como a granulometria das lascas de madeira se assemelha muito à granulometria da brita, não foi necessária a realização de sua análise granulométrica.



Figura 8. Lascas de pau de escoramento (Fonte: Autorial própria)

5.2. PREPARO DA AMOSTRA

Primeiramente, foram designadas as proporções da adição de madeira no concreto, de acordo com a Tabela 4. Foram estudados quatro traços, cada um com 0%, 10%, 20% e 30% de madeira. É importante ressaltar que a madeira não substituiu nenhum dos componentes da mistura de concreto. Foi utilizada cola branca PVA para aumentar a aderência da madeira aos agregados graúdos e miúdos evitando a sua segregação.

Tabela 4. Traços estudados e suas respectivas dosagens (Fonte: Autorial própria).

Traço	Adição (%)	Materiais (L)					
		Areia	Cimento	Brita	Madeira	Água	Cola Branca
1	0	12	6	12	0	4,3	1
2	10	12	6	12	1,2	4,3	1
3	20	12	6	12	2,4	4,3	1
4	30	12	6	12	3,6	4,3	1

Depois de separados, os materiais foram inseridos em betoneira CS 150 litros, destinadas a construção de casas e empreendimentos de pequeno porte com transmissão realizada por correia tipo V, tambor com fundo reto que melhora a mistura do fundo e o acúmulo de agregados, obedecendo as dosagens previamente estabelecidas, até atingir a homogeneidade ideal do concreto, através de agitação

mecânica. A agitação durou cerca de 5 minutos de acordo com a NBR 12655 (Figura 8).



Figura 9. Material dentro da betoneira em movimento (Fonte: Autoria própria)

5.3. SLUMP TEST

O ensaio do *Slump Test* foi realizado com base na norma NBR NM 67 (ABNT, 2011). Primeiramente, o cone de Abrams é posicionado sobre a placa base depois de processo de umidificação. Ele é, então, preenchido com três camadas de alturas de mesma altura ($1/3$ da altura do cone) e cada camada foi golpeada 25 vezes com haste de socamento. Ao final, o excesso de concreto foi retirado e a superfície regularizada.

O molde foi retirado verticalmente e colocado ao lado da massa de concreto, de cabeça para baixo, para que então fosse medido o abatimento. A medição do abatimento aparece na Figura 10, onde pode-se observar um resultado de 11,5 cm, demonstrando assim a boa trababilidade do mesmo.



Figura 10. Medição do abatimento através de *Slump Test* (Fonte: Autoria própria)

5.4. MOLDAGEM E CURA

Após o *Slump Test*, os copos de provas foram moldados conforme a norma NBR 5738 (ABNT, 2008), com formato cilíndrico de 20 cm de altura e 10 cm de diâmetro na base. Os moldes foram preenchidos em duas camadas de concreto, golpeando-as 12 vezes com auxílio da haste de socamento e em seguida, o repousou por 24 horas. Depois das 24 horas completas, os moldes foram abertos para que os corpos de prova fossem identificados, de acordo com a dosagem utilizada em sua fabricação, e direcionados à câmara de cura.

Na câmara de cura, o corpo de prova permaneceu submerso até o dia de realização do ensaio de compressão axial. Para cada traço, foram realizados ensaios com três corpos de prova, garantindo confiabilidade e representatividade do ensaio. Os ensaios foram realizados em 7, 14, 21 e 28 dias de cura.

5.5. ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Nos ensaios de compressão axial, os corpos foram testados individualmente com carga contínua até a sua ruptura. Eles foram realizados em prensa hidráulica EMIC, modelo PC150C, cuja carga máxima suportada era de 150000 kgf, com ausência de choque e presença de aceleração. A Figura 10 mostra a prensa hidráulica utilizada no ensaio.

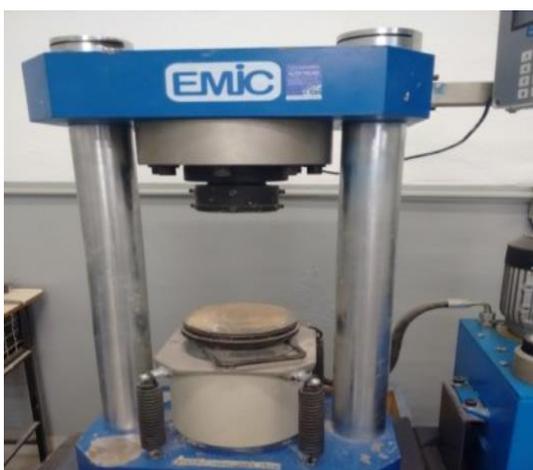


Figura 11. Prensa hidráulica EMIC, utilizada nos ensaios de resistência à compressão axial (Fonte: Autoria própria)

A Figura 1 mostra o corpo de prova inserido na máquina durante aplicação de carga, no momento de sua ruptura.



Figura 11. Corpo de prova inserido na prensa hidráulica durante aplicação de carga (Fonte: Autoria própria)

E por fim, a Figura 122 mostra o corpo de prova após os ensaios de compressão.



Figura 122. Corpo de prova rompido após ensaio de compressão (Fonte: Autoria própria)

5.6. CARACTERIZAÇÕES FÍSICAS E MORFOLÓGICAS

A caracterização das amostras foi realizada através de microscopia em MEV e de difração de raios-x (DRX), descritas nas subseções a seguir, para análise de suas microestruturas.

5.6.1. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

O equipamento utilizado foi o microscópio eletrônico de varredura da marca HITACHI e modelo TM 3000, com uso de detector de elétrons secundários, presente no laboratório do prédio 12 Fundação Oswaldo Aranha - Centro Universitário de Volta Redonda (UniFOA).

5.6.2. Difração de Raios-X (DRX)

Para este ensaio, as amostras foram fragmentadas e colocadas em porta amostras, que seguiu para o difratômetro. Os difratogramas resultantes foram obtidos

por meio do software Right Gonio System Analysis and Spooler Program® e a radiação utilizada foi a de Cobre Cu $K\alpha = 1,54\text{\AA}$ e a varredura realizada na faixa de 10° a 80° .

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. TESTES DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Resultados obtidos nos testes de resistência à compressão, considerando três corpos de prova para cada traço, em quatro tempos de cura, bem como a média entre eles e o desvio padrão, conforma da Tabela 5.

Tabela 5. Resultados dos testes de resistência à compressão.

Traço	Adição	Idade	Resistência (MPa)			Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
1	0%	7 dias	19,03	18,94	18,13	18,7	0,40
		14 dias	21,98	20,84	21,67	21,5	0,48
		21 dias	24,73	26,89	26,89	26,17	1,02
		28 dias	28,12	27,58	28,55	28,08	0,40
2	10%	7 dias	5,33	5,21	5,17	5,24	0,07
		14 dias	6,12	5,91	5,98	6,00	0,09
		21 dias	6,21	6,13	6,33	6,22	0,08
		28 dias	7,12	6,98	7,43	7,18	0,19
3	20%	7 dias	5,21	5,44	5,11	5,25	0,14
		14 dias	5,17	5,04	5,61	5,27	0,24
		21 dias	5,91	6,19	6,17	6,09	0,13
		28 dias	5,98	6,18	6,94	6,37	0,41
4	30%	7 dias	4,61	4,21	4,54	4,45	0,17
		14 dias	5,14	4,99	5,01	5,05	0,07
		21 dias	5,21	5,18	5,11	5,17	0,04
		28 dias	5,45	6,12	5,97	5,85	0,29

A seguir encontra-se a tabela de referência a resistência a compressão do traço 1 com adição de 0% de lascas de madeira, conforme a imagem 12.

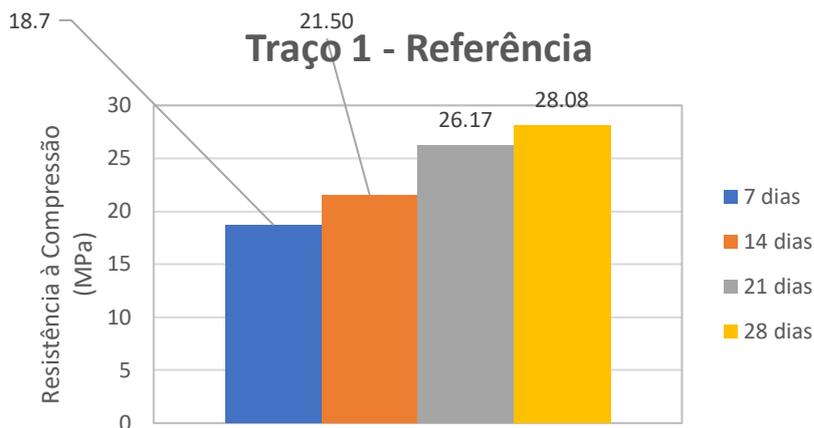


Figura 13. Resistência à compressão do traço 1 com adição de 0% de lascas de madeira (FONTE: Autoria própria).

Os resultados da resistência à compressão para adições de lascas de madeira em 10, 20 e 30% estão representados, nas figuras 14, 15 e 16 respectivamente. Quando analisamos estes valores aos dias de cura, foi possível perceber que a resistência segue aumentando com o passar do tempo, mesmo que muito pouco em alguns casos, para todas as amostras.

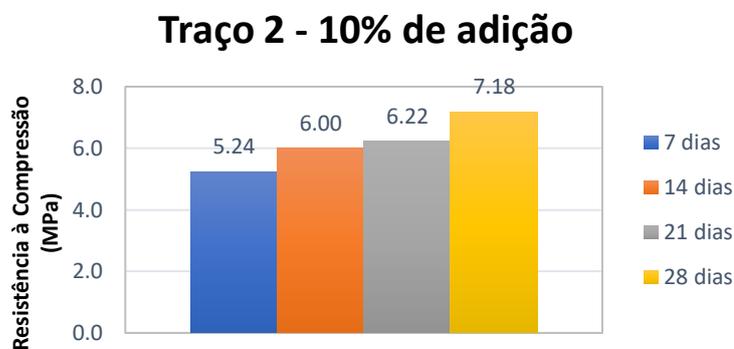


Figura 14. Resistência à compressão do traço 2 com adição de 10% de lascas de madeira (FONTE: Autoria própria).

Traço 3 - 20% de adição

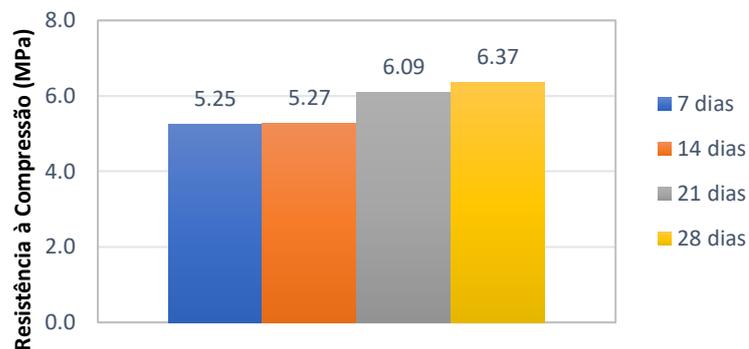


Figura 15. Resistência à compressão do traço 3 com adição de 20% de lascas de madeira (FONTE: Autoria própria).

Traço 4 - 30% de adição

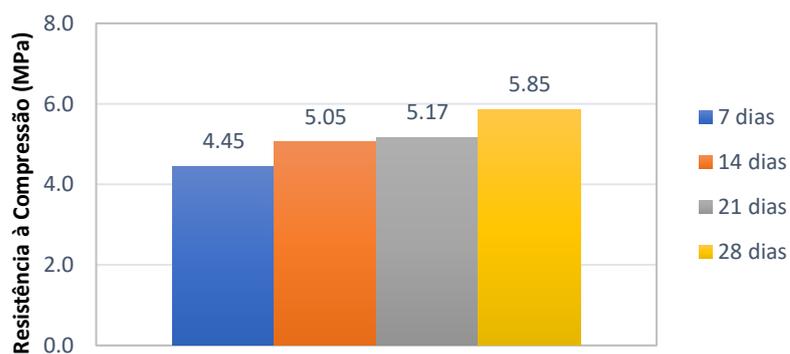


Figura 16. Resistência à compressão do traço 4 com adição de 30% de lascas de madeira (FONTE: Autoria própria).

A seguir foi feita uma nova tabela com referências em dias de cura, sendo 7, 14, 21 e 28 dias (Imagem 17).

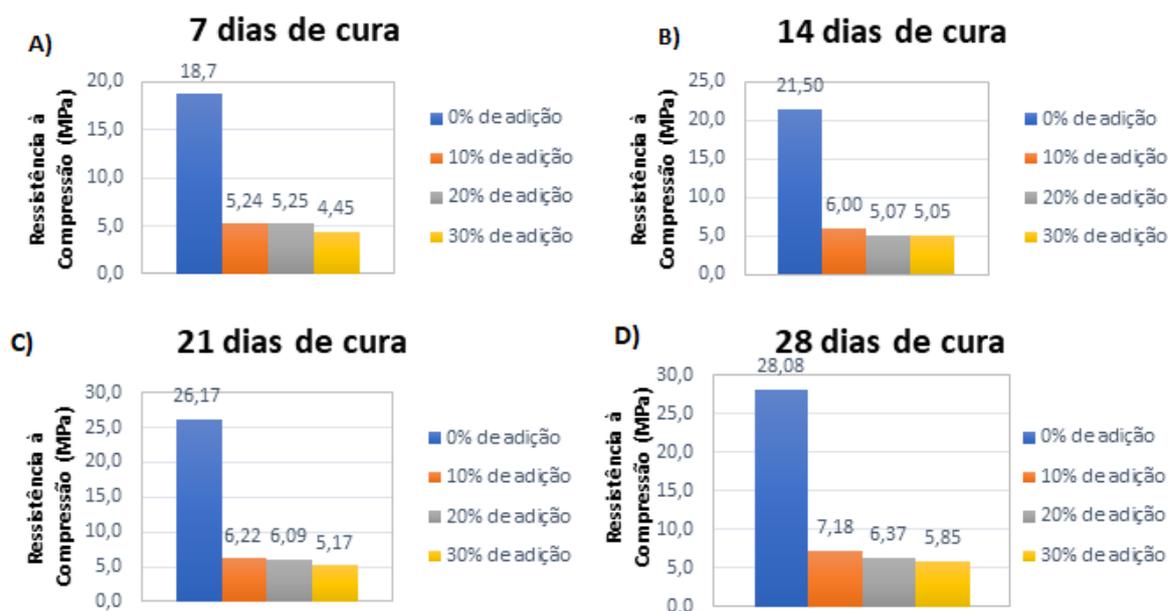


Figura 17: Valores de resistência à compressão para todos os traços analisados, de acordo com o tempo de cura com divisão A, B, C e D (FONTE: Autoria própria).

De acordo com Maciel (DANTAS FILHO; BRITO, 2005), tal fato indica que ocorre hidratação do cimento até os 28 dias de cura analisados. As informações completas para obtenção destes resultados encontram-se nas figuras 13 a 17. Ao analisar o resultado do teste de compressão do traço 1 (Figura 13), de referência, observa-se que a adição das lascas de madeira diminuiu significativamente a resistência à compressão do concreto. Além disso, explicita esta condição quando os resultados são comparados de acordo com o tempo de cura.

6.2. Microscopia eletrônica de varredura

6.2.1. Adição de 10%

As micrografias das superfícies de fratura da amostra com 10% de adição de fibras de madeira obtidas em MEV encontram-se na Figura 18, com aumento de 100X.

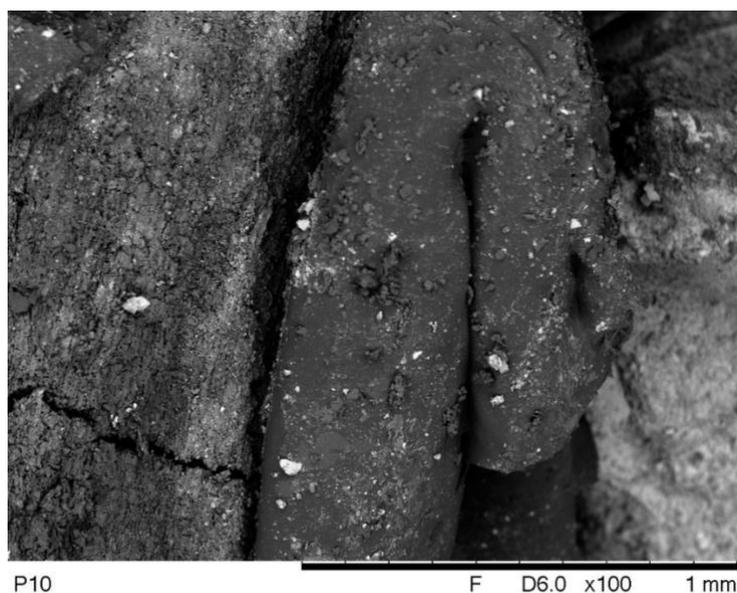


Figura 18. Micrografia de amostra com 10% de adição de madeira e 28 dias de cura, obtida com aumento de 100X (Fonte: Autoria própria).

A Figura 19 com o aumento de 500x.

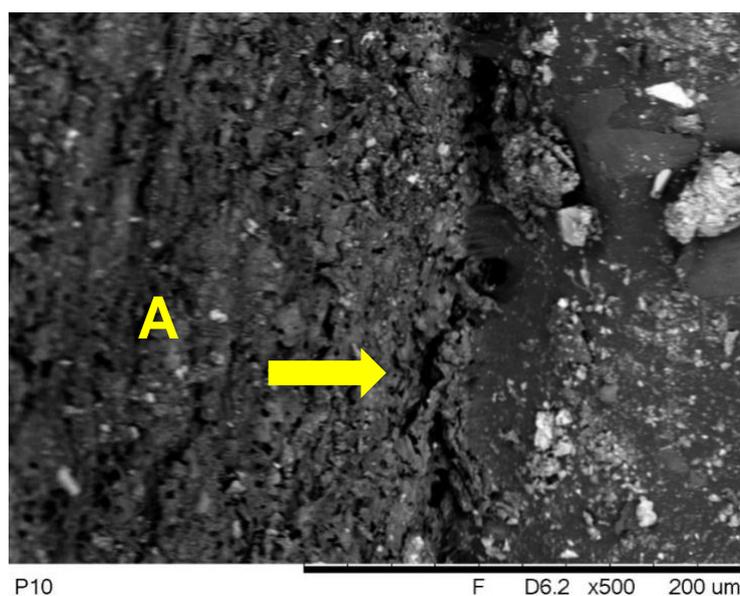


Figura 19. Micrografia de amostra com 10% de adição de madeira e 28 dias de cura, obtida com aumento de 100X (Fonte: Autoria própria).

E por fim, a Figura 20 com o aumento de 2000x.

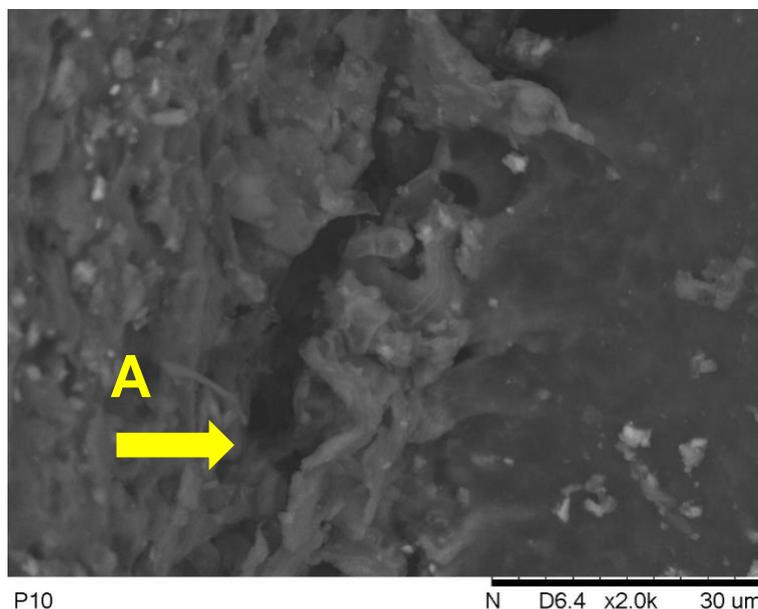


Figura 20. Micrografia de amostra com 10% de adição de madeira e 28 dias de cura, obtida com aumento de 2000X (Fonte: Autoria própria).

A análise foi feita para as amostras com 28 dias de cura. Foi possível observar a presença de microtrincas, como indicado nas figuras, além de uma região de superfície porosa (A) que mostra que não houve muita compactação da estrutura por meio da fibra de madeira. Segundo SOUZA (2006), essas regiões porosas são uma zona de transição, na qual os produtos obtidos na hidratação do cimento se aderem às fibras de madeira.

6.2.2. Adição de 20%

As superfícies de fratura da amostra com 20% de adição de fibras de madeira, também com 28 dias de cura, conforme a Figura 21, com aumento de 100X.

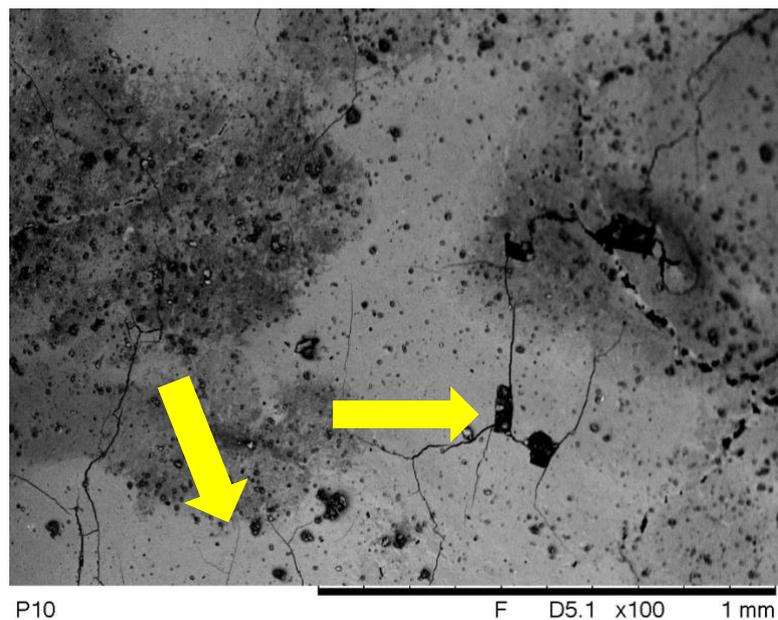


Figura 21. Micrografia de amostra com 20% de adição de madeira e 28 dias de cura, obtida com aumento de 100X (Fonte: Autoria própria).

Na

Figura 22, com aumento de 500X.

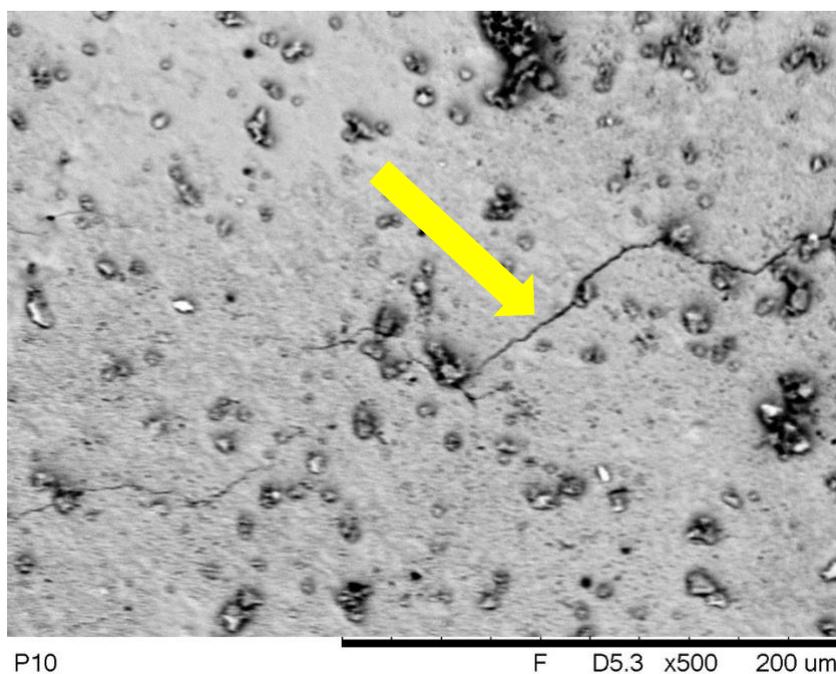


Figura 22. Micrografia de amostra com 20% de adição de madeira e 28 dias de cura, obtida com aumento de 500X (Fonte: Autoria própria).

Por último, a Figura 23 aumento de 2000X.

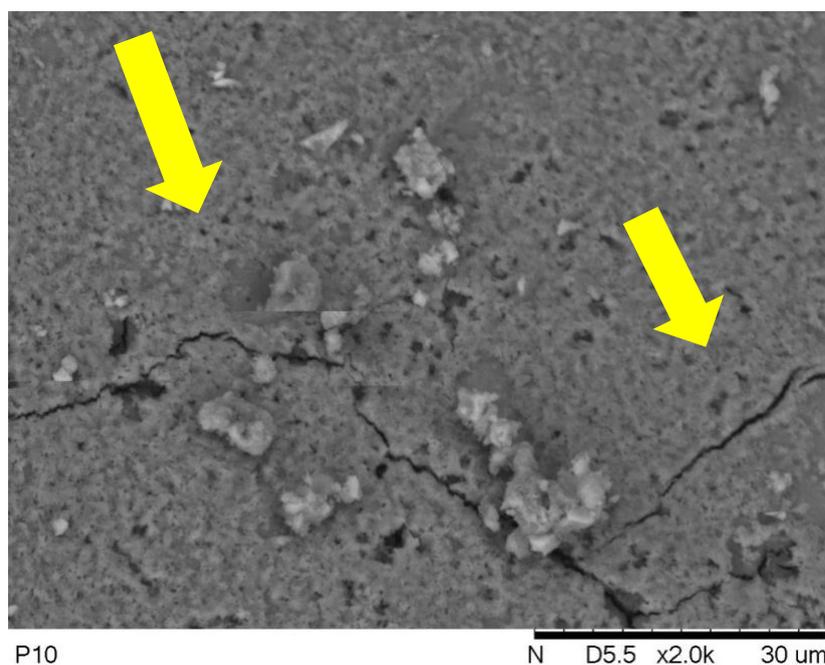


Figura 23. Micrografia de amostra com 20% de adição de madeira e 28 dias de cura, obtida com aumento de 2000X (Fonte: Autoria própria).

Neste caso, foram observadas as superfícies que não foram totalmente fraturadas, e é possível perceber que as microfissuras aparecem em maior quantidade do que na composição com 10%. Tais fissuras ocorrem nas regiões onde estão presentes os agregados, concentradores naturais de tensão. Elas estão demarcadas nas figuras com setas amarelas e nota-se que elas fazem uma espécie de ligação entre os agregados.

6.2.3. Adição de 30%

Ao aumentar a proporção de fibras de madeira, sua visualização é ainda de forma mais nítida (B), como pode ser visto na Figura 24, com aumento de 100X.

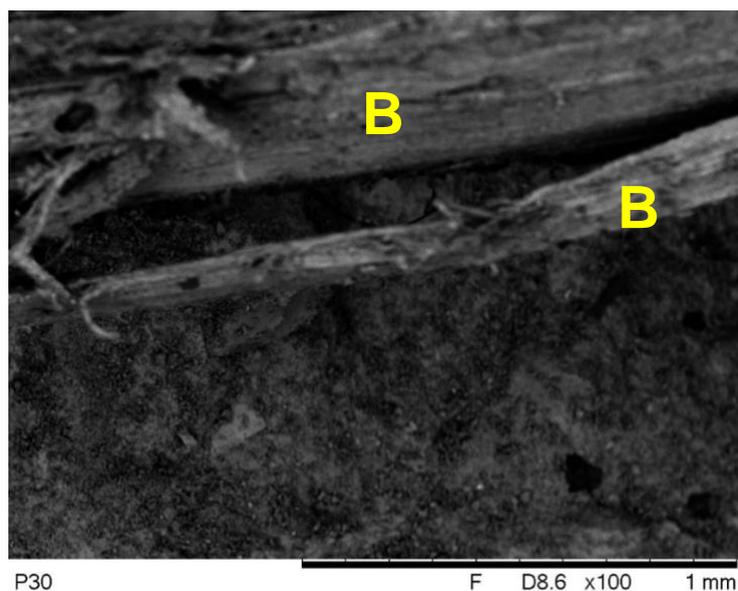


Figura 24. Micrografia de amostra com 30% de adição de madeira e 28 dias de cura, obtida com aumento de 100X (Fonte: Autoria própria).

As

Figuras, 25, 26 e 27, verificam-se as micrografias da amostra com 30% de adição de fibra e 28 dias de cura, para aumentos de 250X, 500X e 2000X, respectivamente, nas quais, é possível observar uma região de fibras rompidas, indicadas com setas amarelas, e regiões de transição porosa (A). Além disso, aparece uma região C de fibras cortadas longitudinalmente.

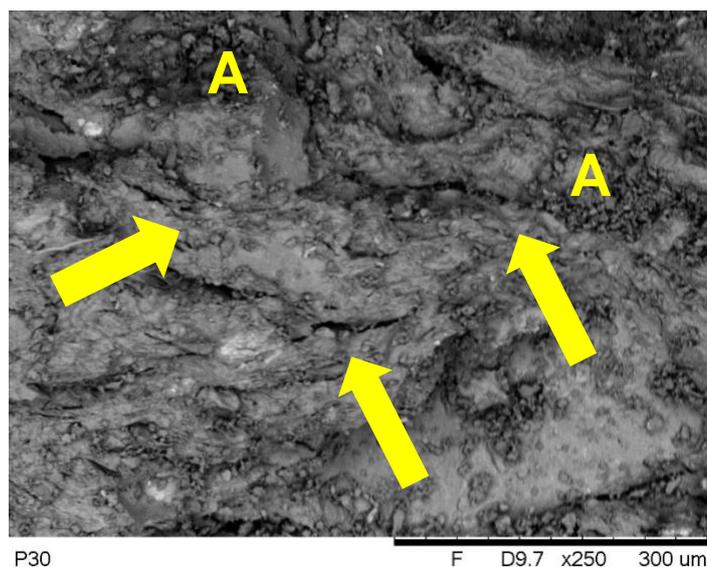


Figura 25. Micrografia de amostra com 30% de adição de madeira e 28 dias de cura, obtida com aumento de 250X (Fonte: Autoria própria).

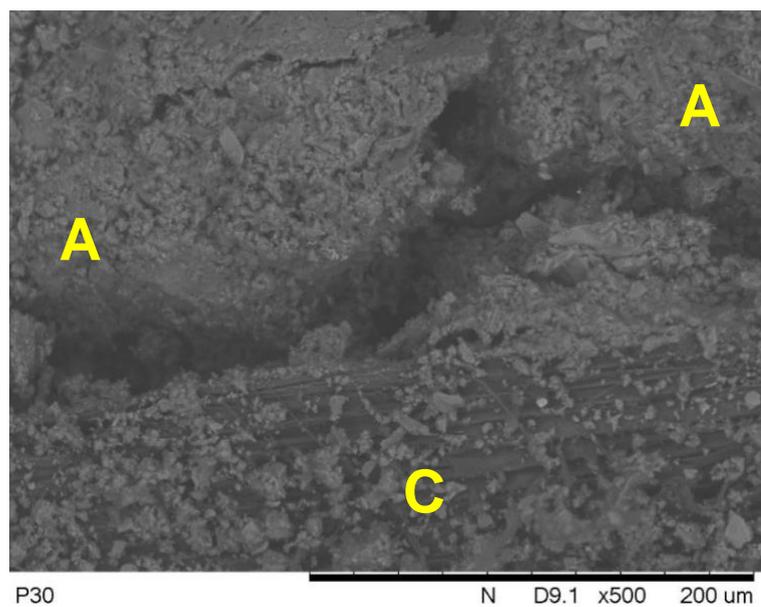


Figura 26. Micrografia de amostra com 30% de adição de madeira e 28 dias de cura, obtida com aumento de 500X (Fonte: Autoria própria).

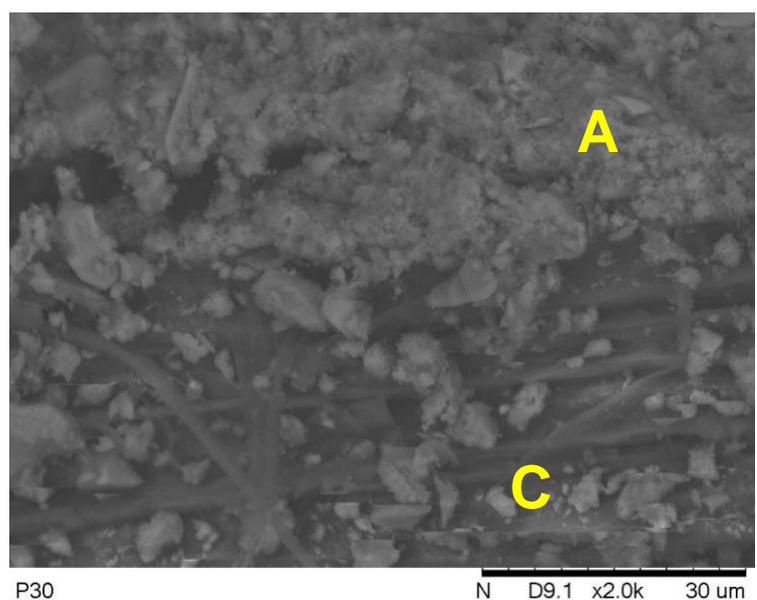


Figura 27. Micrografia de amostra com 30% de adição de madeira e 28 dias de cura, obtida com aumento de 2000X (Fonte: Autoria própria).

A grande presença de regiões de transição porosa se dá devido à alta porosidade das fibras vegetais que permitem que haja um fluxo de água induzido em sua direção, comprometendo a adesão fibra-matriz, através do deslocamento da própria fibra (SOUZA, 2006).

6.3. DIFRAÇÃO DE RAIOS-X

A Figura 28, mostra o difratograma da amostra com adição de 10% de fibra de madeira e 28 dias de cura, o espectograma da difração de raios X apresentou picos bem definidos, tais como de Quartzo e Calcita, demonstrando ser uma estrutura basicamente cristalina.

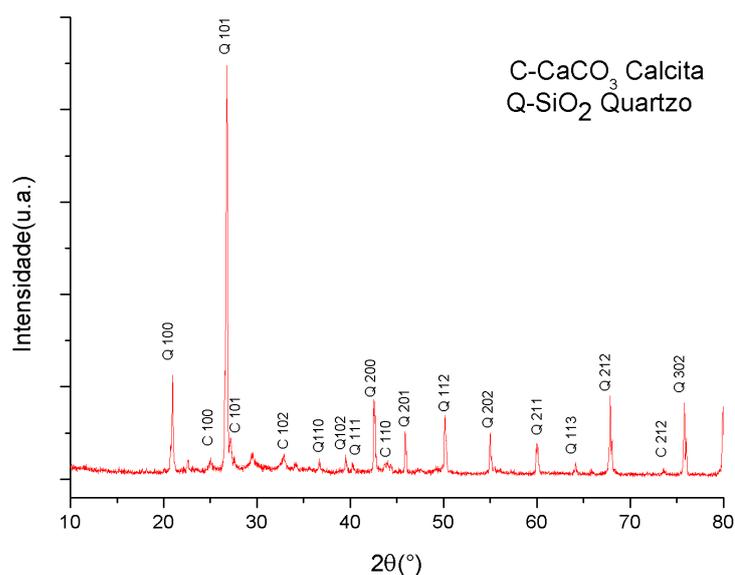


Figura 28. Difratograma da amostra com adição de 10% de madeira e 28 dias de cura (Fonte: Autoria própria)

A Figura 29 mostra o difratograma da amostra com adição de 20% de fibra de madeira e 28 dias de cura. O espectograma da difração de raios X apresentou picos bem definidos, tais como de quartzo e Calcita, demonstrando o ser uma estrutura basicamente cristalina.

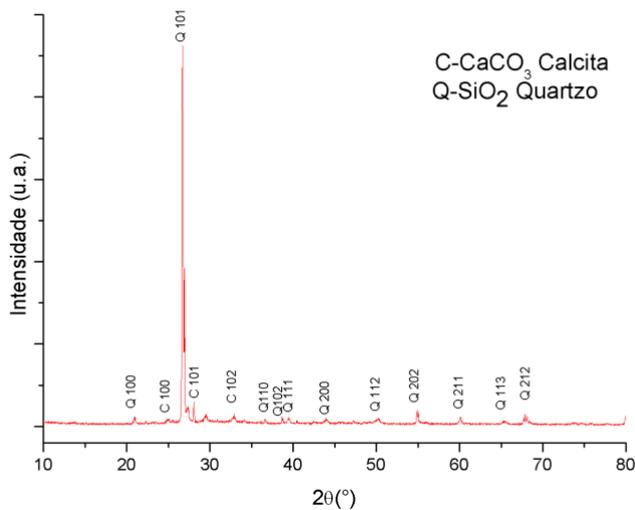


Figura 29. Difratoograma da amostra com adição de 20% de madeira e 28 dias de cura (Fonte: Autoria própria)

Figura 30 mostra o difratograma da amostra com adição de 30% de fibra de madeira e 28 dias de cura, o espectograma da difração de raios X apresentou picos bem definidos, tais como de quartzo e Calcita, demonstrando o ser uma estrutura basicamente cristalina.

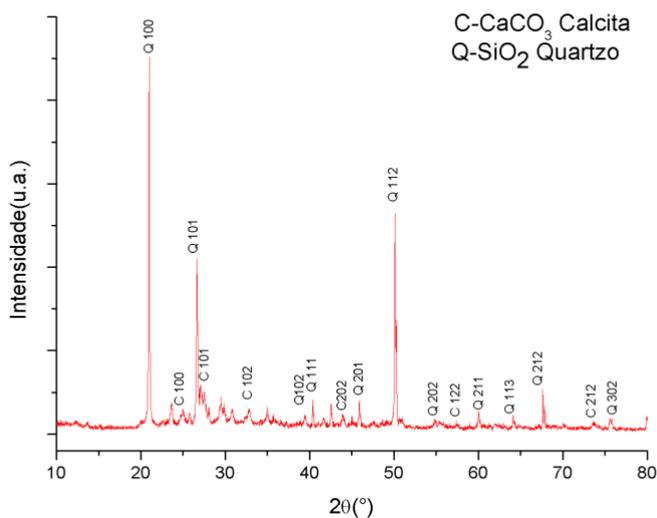


Figura 30. Difratoograma da amostra com adição de 30% de madeira e 28 dias de cura (Fonte: Autoria própria)

7. CONCLUSÕES

Foram produzidos corpos de prova cilíndricos com adição de fibras de madeira sem substituição ao agregado miúdo em teores de 0% (traço1), 10% (traço 2), 20% (traço3) e 30% (traço 4) para analisar as conformidades da propriedade mecânica no concreto, através de teste de resistência à compressão axial, em períodos de 7, 14, 21 e 28 dias, ensaios de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e difração de raios-x (DRX).

No teste de resistência à compressão axial, verificou-se que quanto maior a quantidade de lascas de madeira presente, menor é a resistência à compressão do material. É possível afirmar a partir desses resultados que não é viável a adição de lascas de madeira para a produção do compósito em questão. Uma alternativa é substituir as lascas de madeira pelo pó de madeira, visando a maior homogeneidade.

Nos ensaios em microscopia eletrônica por varredura (MEV) foram demonstrados que quanto maior a quantidade de madeira adicionada no traço, maior é o número de fissuras causadas pela absorção da água pelas lascas de madeiras podendo ser observado claramente na figura 27.

Nos ensaios em DRX, foi demonstrado existência de regiões cristalinas no Calcita e Quartzo, que são elementos próprios do cimento.

Dessa forma, foi possível concluir com os resultados que a confecção de concreto com adição de fibras de madeira serviu para concreto não estrutural e não foi eficiente para concreto estrutural.

8. TRABALHOS FUTUROS

Com base nas discussões realizadas verifica-se a necessidade de estudos no que diz respeito à realização de novos traços com adição de pó de madeira com 10%, 20% e 30%, para estudar se serão obtidos melhores resultados quando comparados aos testes com fibras de madeira, relacionados à resistência à compressão axial.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABESC – Manual do concreto dosado em central. In: Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem do Brasil, São Paulo. 2007.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7173. Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural. Rio de Janeiro, 1982,3p.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5.736 - Cimento Portland pozolânico. Rio de Janeiro, 1986. 5p.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 12655 Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento - Procedimento - Especificação. Rio de Janeiro, 2006.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5738. Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2008,6p.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7.211. Agregados para o Concreto: especificação. Rio de Janeiro,2009,12p.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 67. Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 2011,8p.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5.732 - Cimento Portland comum-especificação. Rio de Janeiro, 2014. 5p.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5.733 - Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 2014. 5p.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5.735 - Cimento Portland de alto-forno. Rio de Janeiro, 2014. 6p.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 11.578 - Cimento Portland composto - Especificação. Rio de Janeiro, 2014. 5p.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6136. Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Requisitos. Rio de Janeiro, 2016,10p.

AMBROZEWICZ, P.H.L. **Materiais de construção**. 1ª Edição. Ed. PINI. P. 460. 2012.

ARRUDA, P. P., SILVA, A. O., MARTINEZ, R. G., **Utilização de resíduos de madeira como elemento construtivo**. XIV ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - 29 a 31 outubro 2012 - Juiz de Fora.

ASTM C125-11, Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates, **ASTM International**, West Conshohocken, PA, 2011.

BIJOS, A. P., ZANATTA, L. A., **Resíduo de madeira: caracterização e aplicabilidade junto ao concreto**. Universidade Estadual de Santa Catarina. Revista Científica da UNESC. Vol. 15. N. 1, 2017.

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

DANTAS FILHO, F.P. **Contribuição ao estudo para aplicação do pó de serra da madeira em elementos de alvenaria de concreto não estrutural**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - Universidade Estadual de Campinas, 2004.

DANTAS FILHO, F. P., BRITO, L. A. P. F. **Análise das características mecânicas, térmicas e acústicas de blocos de concreto produzidos com areia e pó de serra; uma alternativa ambiental**. ENCAC – ELACAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído – Maceió, Alagoas. 2005.

FONSECA, G.C. **Adições minerais e as disposições normativas relativas à produção de concreto no Brasil: uma abordagem epistêmica** – 105 f. Belo Horizonte, MG – UFMG. 2010.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF. 2005. 247 p.

LABAHN, O.; KOAHLAAS, B. **Prontuario del cemento**. 5 ed. Barcelona: Editores Técnicos Asociados, 1985.

LIMA, A. J. M.; IWAKIRI, S. Utilização de resíduos de madeira de pinus spp. como substituição ao agregado miúdo na produção de blocos de concreto para alvenaria estrutural. **Ciência Florestal**, 2014, Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 223-235.

MACIEL, C. C. C., VOUGADO, I. S., MARQUES, C. S. A., VICENTINI, A. H. **O pó de serra de madeira utilizado como agregado fino na utilização de concreto para pavimentação em vias de tráfego leve**. 1º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade. Gramado – RS. 2018.

MAGALHÃES, A. G. **Caracterização e análise macro e microestrutural de concretos fabricados com cimentos contendo escórias de alto-forno**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Estruturas. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

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

MGORILA. Concretiza. **A ORIGEM DO CIMENTO E SUA PARTICIPAÇÃO NA CONSTRUÇÃO**, 2015. DISPONÍVEL EM: <[HTTP://WWW.CONCRETIZACONCRETO.COM.BR/A-ORIGEM-DO-CIMENTO/](http://www.concretizaconcreto.com.br/a-origem-do-cimento/)> ACESSADO EM: 29/07/2018.

MALHOTRA, V.M; MEHTA, P.K. Pozzolanic and cementitious materials. **Advances in concrete technology**. Volume 1, Canadá, 1996.

MALISKA, A. M. **Microscopia eletrônica de varredura e microanálise**. Laboratório de Materiais. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis – SC. Disponível em: <http://www.usp.br/nanobiodev/wp-content/uploads/MEV_Apostila.pdf> Acessado em: 1 de novembro de 2018.

MOSLEMI. A. A. Wood-cement panel products: coming of age. In: INORGANIC BONDED FIBER COMPOSITES SYMPOSIUM. **FOREST PRODUCTS RESEARCH SOCIETY**. 1., 1988, Estados Unidos. Proceedings. 1989, p. 12-18, 2014.

MATOSKI, A. **Utilização de pó de madeira com granulometria controlada na produção de painéis de cimento-madeira**. 2005. Tese (Doutorado em Ciências

Florestais). Curitiba: Setor de Ciências Agrárias – Universidade Federal do Paraná, 2005.

QUEIROZ, A., KUROSAWA, R, BARRETO, R. **Difração de Raios-X. Laboratório Avançado de Física Computacional**. Universidade de São Paulo. São Carlos – SP. Disponível em: < <http://macbeth.if.usp.br/~gusev/Raios%20X%20aula.pdf>> Acessado em: 1 de novembro de 2018.

RESENDE, D. S. **Estudo do efeito da incorporação de cinzas de cavaco de eucalipto como material cimentício suplementar**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais da REDEMAT. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto – MG. 2013.

SANTOS, M. P. **Fabricação de solo-cimento com adição de resíduos de madeira provenientes da construção civil**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em construção civil. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG. 2009.

SEMPLE, K. E.; EVANS, P. D. Wood-cement composites – Suitability of Western Australian mallee eucalypt, blue gum and melaleucas. **Rural Industries Research and Development Corporation**. Kingston: ACT, 2004. 64 p.

SILVA, C. E. V. **Confecção de concreto com adição de embalagens cartonadas assépticas**. Fundação Oswaldo Aranha – Centro Universitário de Volta Redonda. Programa de Mestrado Profissional em Materiais. Volta Redonda – RJ. 2017.

SILVA, G. C., LATORRACA, J. V. F., TEIXEIRA, D. E., BORTOLETTO JR., G., Produção do compósito madeira e casca de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake e cimento Portland. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 68, ago. 2005. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/>>. Acesso em 04 de agosto de 2018.

SIMATUPANG, M.H. et al. **Influence of wood species on the setting of cement and gypsum**. International congress on fiber and particleboard with inorganic binder, 1988, Idaho. Proceedings, 1988. p. 33-42.

SOUZA, A. A. C. **Utilização de resíduos da indústria madeireira para fabricação de chapas cimento-madeira.** Tese de Doutorado. Universidade Federal do Pará. Belém – PA, 2006.

TEIXEIRA, M. G. **Aplicação de conceitos da ecologia industrial para a produção de materiais ecológicos: o exemplo do resíduo de madeira.** Salvador, 2005.

TORRES, D.R. Influência da variação da velocidade de rotação e do tipo de cimento nas propriedades de argamassas de revestimento nos estados frescos e endurecidos. **Revista Cerâmica**, 2017.