



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

JENNEF CARLOS TAVARES

**POTENCIALIDADE DO USO DA CINZA DA FOLHA DA BANANEIRA COMO
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND EM CONCRETOS**

NATAL/RN

2019

JENNEF CARLOS TAVARES

POTENCIALIDADE DO USO DA CINZA DA FOLHA DA BANANEIRA COMO
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND EM CONCRETOS

Dissertação apresentada ao curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito final à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Dra. Luciana de Figueiredo Lopes Lucena.

Natal

2019

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN

Sistema de Bibliotecas - SISBI

Catálogo de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Central Zila Mamede

Tavares, Jennef Carlos.

Potencialidade do uso da cinza da folha da bananeira como substituição parcial do cimento Portland em concretos / Jennef Carlos Tavares. - 2019.

81f.: il.

Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Programa de pós-graduação em engenharia civil, Natal, 2019.

Orientadora: Dra. Luciana de Figueiredo Lopes Lucena.

1. Atividade pozolânica - Dissertação. 2. Resíduo da biomassa - Dissertação. 3. Efeito filler - Dissertação. 4. Compósito cimentício - Dissertação. I. Lucena, Luciana de Figueiredo Lopes. II. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 624

JENNEF CARLOS TAVARES

POTENCIALIDADE DO USO DA CINZA DA FOLHA DA BANANEIRA COMO
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND EM CONCRETOS

Dissertação apresentada ao curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito final à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA

– Prof^a. Dr^a. Luciana de Figueiredo Lopes Lucena, Orientadora (UFRN)

– Prof. Dr. Kleber Cavalcanti Cabral, Examinador Interno (UFERSA)

– Prof. Dr. Alisson Gadelha de Medeiros, Examinador Externo (UFERSA)

Natal, 19 de agosto de 2019

A Deus, por sempre iluminar meus caminhos,
mesmo nas horas mais difíceis Ele me deu
forças para continuar nessa batalha.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, à Deus, pelo dom da vida e a força que me sustentou em todo o percurso, pois sem Ele eu hoje não estaria aqui cumprindo as tarefas que foram delegadas no andamento da pesquisa.

Aos meu pais, Jailton Tavares de Oliveira e Maria Helena Tavares de Oliveira; e meu irmão Jandson Henrique Tavares, pelo ânimo, amor e exemplo constante que me deram nesta jornada.

À minha namorada, Larissa Martins de Oliveira, meu amor e futura esposa. Sem ela não conseguiria alcançar tamanha conquista, pois teve paciência, sabedoria e soube esperar os momentos certos para nosso crescimento, e sem dúvida, sou grato por tudo.

À minha orientadora, Luciana de Figueirêdo Lopes Lucena, por ter aceitado meu convite de ser minha orientadora, e ter contribuído tanto nesta pesquisa. Foi um privilégio ter sido seu aluno, e sobretudo seu orientando, uma pessoa muito especial para mim, que sempre me ajudou e incentivou na área profissional, por meio de sua excelência em tudo que faz, sua competência e sua responsabilidade, e também pela qualidade humilde de repassar todos os seus conhecimentos a fim de tornar também outros profissionais qualificados.

Aos docentes do mestrado em engenharia civil da UFRN, em especial, Kleber Cabral, Marcos Alyssandro, Wilson Acchar, Sávio Melo, Luiz Alessandro e Fagner França, pelo exemplo e ensinamento.

Aos técnicos e responsáveis pelos laboratórios, que ensinaram a humildade de sempre ajudar ao próximo: Laboratório de Engenharia Civil- UFERSA, Laboratório de Materiais de Construção Civil UFRN, Laboratório de Materiais Multifuncionais e Experimentação Numérica da Escola de Ciências e Tecnologia da UFRN, Laboratório de Peneiras Moleculares, Núcleo de Pesquisa em Petróleo e Gás - UFRN, Laboratório de Propriedades Físicas dos Materiais Cerâmicos – UFRN, Laboratório de Caracterização Estrutural de Materiais, laboratório de edificações – IFRN, Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura – UFERSA, Laboratório de Solos - UFERSA. Laboratório de Nutrição Animal – EAJ/UFRN.

Aos amigos do mestrado, pelo esforço diário para nos mantermos firmes no caminho, pois pelo companheirismo e amizade fizeram da nossa turma, a melhor turma do PEC/UFRN.

Aos amigos e irmãos que estiveram juntos me incentivando e apoiando desde sempre, porque sem o auxílio e companheirismo de vocês não seria capaz de me tornar a pessoa que sou hoje.

Ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, à Universidade Federal do Rio Grande do Norte, à Universidade Federal Rural do Semi-Árido, que estiveram comigo desde o princípio da jornada acadêmica.

Por fim, a todos que me auxiliaram, direta e indiretamente, no desenvolvimento da pesquisa.

“Vinde a mim, vós todos que estais aflitos sob o fardo, e eu vos
aliviarei.” (Mt, 11, 28)

RESUMO

O uso de materiais alternativos na composição dos concretos tem sido objeto de pesquisas que investigam a possibilidade de melhorias nas propriedades físicas, mecânicas e de durabilidade desse compósito, incentivando ainda a incorporação de adições minerais de origem natural e/ou substituições em relação aos materiais constituintes. Nesta perspectiva, esta pesquisa tem como objetivo estudar o uso da cinza da folha da bananeira (CFB) como substituição parcial do aglomerante em concretos de cimento Portland. Para tanto, a CFB foi caracterizada pelos ensaios de massa específica, finura de Blaine, teor de matéria orgânica, atividade pozolânica por meio do método do Chappelle modificado e condutividade elétrica, também foram realizadas análises mineralógicas, químicas, termogravimétricas e microestruturais. Quanto aos agregados e ao cimento, os ensaios realizados foram referentes às propriedades físicas. Os concretos foram produzidos considerando um traço 1:1,89:2,45:0,5 (cimento:areia:brita:água), dosado pelo método da ABCP, com variações dos teores de 0 a 15% de substituição da massa do cimento pela CFB. Após a dosagem, os concretos foram submetidos aos ensaios tecnológicos: *slump test*, massa específica, resistência à compressão (7, 28 e 49 dias), absorção de água, índice de vazios, massa específica no estado endurecido e avaliação da microestrutura, por meio do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV). Analisando as propriedades do concreto no estado fresco, identificou-se que a incorporação do resíduo diminuiu a consistência e aumentou a massa específica, com um ponto de inflexão destes ensaios para o teor de 10%. No que se refere aos índices físicos, a substituição pela CFB apresentou menor absorção de água e menor índice de vazios. Os concretos obtiveram incremento das resistências à compressão com o avanço das idades e com o aumento do teor de substituição, até os 10%, havendo decréscimo nos valores para o teor de 15%, comportamento também observado para a massa específica. Portanto, foi verificado que a viabilidade técnica da substituição parcial do cimento pela CFB, diante das condições abordadas, é favorável para o teor 10%, tendo em vista as melhorias nas propriedades físicas e mecânicas.

Palavras-chave: Atividade pozolânica; Resíduo da biomassa; Efeito filler; compósito cimentício.

ABSTRACT

The use of alternative materials in the composition of concretes has been the object of research that investigates the possibility of improvements in the physical, mechanical and durability properties of this composite, also encouraging the incorporation of mineral additions of natural origin and / or substitutions in relation to the constituent materials. . In this perspective, this research aims to study the use of banana leaf ash (CFB) as partial binder replacement in Portland cement concretes. CFB was characterized by specific mass, Blaine fineness, organic matter content, pozzolanic activity by the modified Chapelle method and electrical conductivity. Mineralogical, chemical, thermogravimetric and microstructural analyzes were also performed. Regarding aggregates and cement, the tests performed were related to physical properties. The concretes were produced considering a trait 1: 1.89: 2.45: 0.5 (cement: sand: gravel: water), dosed by the ABCP method, with variations of the contents from 0 to 15% of mass replacement. CFB. After dosing, the concretes were subjected to technological tests: slump test, specific mass, compressive strength (7, 28 and 49 days), water absorption, voids index, specific mass in the hardened state and microstructure evaluation. Scanning Electron Microscopy (SEM). Analyzing the properties of the concrete in the fresh state, it was found that the incorporation of the residue decreased the consistency and increased the specific mass, with a tipping point of 10% for these tests. Regarding the physical indices, the substitution by CFB presented lower water absorption and lower voids index. The concretes had increased compressive strengths with increasing age and increasing substitution content, up to 10%, with decreasing values for the 15% content, behavior also observed for the specific mass. Therefore, it was found that the technical feasibility of partial replacement of cement by CFB, under the conditions addressed, is favorable for the 10% content, given the improvements in physical and mechanical properties.

Keywords: Pozzolanic activity; Residue of biomass; Effect filling; Cementitious composite.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – MEV filler silicoso	14
Figura 2 - Evolução da produção brasileira de banana. Dados de 2018 (estimativa).	16
Figura 3 - Mapa do Rio Grande do Norte: área plantada com banana – 1985 a 2015.	18
Figura 4- Plantação de bananeiras: (a) Apodi/RN, (b) Olho D'água do Borges/RN.	20
Figura 5 - Procedimento experimental.	22
Figura 6 - Determinação da massa específica de acordo com a NBR 16605 (ABNT, 2017). ..	23
Figura 7 - Mufla do Laboratório do curso de Ciência e Tecnologia da UFRN.	24
Figura 8 - Teor matéria orgânica do resíduo	26
Figura 9 - Ensaio de Chapelle Modificado.	27
Figura 10 - Banho maria termostático com célula acoplada para medição da condutividade elétrica.	28
Figura 11 - Curva granulométrica da areia	33
Figura 12 - Difração de raios X	36
Figura 13 – Análise térmica TG/DTA/DTG da CFB.	39
Figura 14 – MEV do Resíduo com 5k X.....	40
Figura 15 - MEV do Resíduo com 10k X.....	40
Figura 16 - Condutividade elétrica	42
Figura 17- Slump test.....	43
Figura 18 – Massa Específica no estado fresco.....	44
Figura 19 – Massa específica estado endurecido.....	45
Figura 20 – Absorção de água e índice de vazios.....	46
Figura 21 – Resistência à compressão	47
Figura 22 – MEV do CP-00.....	49
Figura 23 - MEV do CP-00.	50
Figura 24 – MEV do CP-05.....	50
Figura 25 - MEV do CP-05.	51
Figura 26 – MEV do CP-10.....	52
Figura 27 - MEV do CP-10.	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Exigências químicas e físicas	6
Tabela 2 - Avaliação da atividade pozolânica pela condutividade elétrica	8
Tabela 3 - Critérios PICO	9
Tabela 4 - Quantificação dos óxidos dos resíduos.....	10
Tabela 5- Produção brasileira de banana em 2017	17
Tabela 6- Fatores a serem considerados na dosagem do concreto	28
Tabela 7- Nomenclatura utilizada na pesquisa	29
Tabela 8 - Quantidades de CPs.....	29
Tabela 9 - Nomenclatura utilizada na pesquisa	30
Tabela 10 – Massa específica e massa unitária dos agregados.....	32
Tabela 11 – Análise granulométrica	33
Tabela 12 – Área superficial <i>Blaine</i> do cimento	33
Tabela 13 – Massa específica real do cimento	34
Tabela 14 - Fluorescência de raios-X	34
Tabela 15 – Massa específica real do resíduo	37
Tabela 16 – Área superficial <i>Blaine</i> do resíduo.....	37
Tabela 17 - Teor de Matéria Orgânica.....	38
Tabela 18 – Chapelle modificado.....	41

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CAERN – Companhia de Abastecimento de Água e Esgoto do Rio Grande do Norte;

CO₂ - Dióxido de carbono

C-S-H – Silicato de Cálcio Hidratado

D_{máx} - Diâmetro máximo característico

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MEV – Microscópio Eletrônico Vetorial;

MF - Módulo de Finura

NBR - Norma Brasileira

NM - Norma Mercosul

UFERSA – Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Justificativa.....	2
1.2. Objetivos.....	3
1.2.1. Objetivos geral.....	3
1.2.2. Objetivos específicos.....	3
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	4
2.1. Concreto.....	4
2.1.1. Hidratação do cimento.....	4
2.2. Adições minerais.....	5
2.2.1. Atividade pozolânica.....	6
2.2.1.1. <i>Métodos de avaliação da atividade pozolânica.....</i>	<i>7</i>
a. Chapelle modificado.....	7
b. Condutividade elétrica.....	8
2.2.1.2. <i>Revisão sistemática de pozolanas em concretos.....</i>	<i>8</i>
a. Quantificação dos óxidos dos principais resíduos.....	10
b. Incorporação das cinzas da biomassa nas propriedades do concreto.....	12
2.2.2. <i>Efeito Filler.....</i>	<i>13</i>
2.2.2.1. <i>Incorporação do filler em concretos.....</i>	<i>15</i>
2.3. Plantio e cultura da <i>musa spp</i>.....	15
2.3.1. Produção da banana.....	16
2.3.2. Folha da bananeira.....	18
2.3.3. Cinza da folha da bananeira.....	19
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
3.1 Materiais.....	20
3.1.1. Cinza da Folha da Bananeira - CFB.....	20
3.1.2. Cimento.....	20
3.1.3. Agregado miúdo.....	21
3.1.4. Agregado graúdo.....	21
3.1.5. Água.....	21
3.1.6. Aditivo.....	21
3.2 Métodos.....	21

3.2.1. Caracterização dos agregados	22
3.2.2. Caracterização do cimento	23
3.2.2.1. <i>Índice de finura</i>	23
3.2.2.2. <i>Massa específica real</i>	23
3.2.3. Caracterização do resíduo	24
3.2.3.1. <i>Análise mineralógica e química</i>	25
3.2.3.2. <i>Massa Específica Real</i>	25
3.2.3.3. <i>Área Superficial – Método de Blaine</i>	25
3.2.3.4. <i>Teor de matéria orgânica</i>	25
3.2.3.5. <i>Análise termogravimétrica</i>	26
3.2.3.6. <i>Análise microestrutural (MEV)</i>	26
3.2.3.7. <i>Índice de Atividade Pozolânica</i>	27
3.3 Definição do traço e produção dos concretos	28
3.3.1. Dosagem do concreto.....	28
3.3.2. Cálculo dos consumos de materiais	29
3.3.3. Moldagem dos corpos de provas de concreto	30
3.4 Propriedades dos concretos.....	30
3.4.1. Propriedades do concreto no estado fresco	30
3.4.1.1. <i>Ensaio de abatimento de tronco de cone (Slump Test)</i>	30
3.4.2. Propriedades do concreto no estado endurecido.....	31
3.4.2.1. <i>Absorção de água e Índice de vazios</i>	31
3.4.2.2. <i>Ensaio de resistência a compressão</i>	31
3.4.2.3. <i>Microscopia eletrônica de varredura</i>	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	32
4.1 Caracterização dos agregados.....	32
4.1.1. Massa Unitária e Massa Específica	32
4.1.2. Granulometria	32
4.2 Caracterização do cimento	33
4.2.1. Finura – Método de <i>Blaine</i>	33
4.2.2. Massa Específica Real	34
4.3 Caracterização do resíduo.....	34
4.3.1. Fluorescência de Raios-X	34
4.3.2. Difração de Raios-X.....	36

4.3.3. Massa Específica Real	37
4.3.4. Área Superficial – Método de <i>Blaine</i>	37
4.3.5. Teor de Matéria Orgânica	38
4.3.6. Análise Termogravimétrica.....	38
4.3.7. Análise Microestrutural.....	40
4.3.8. Ensaio Chapelle modificado	41
4.3.9. Atividade pozolânica pela Condutividade elétrica.....	41
4.4 Propriedades do concreto no estado fresco	42
4.4.1. Abatimento de tronco de cone (<i>Slump Test</i>).....	42
4.4.2. Massa Específica.....	44
4.5 Propriedades do concreto no estado endurecido.....	45
4.5.1. Massa Específica.....	45
4.5.2. Absorção de água e Índice de Vazios	45
4.5.3. Resistência a Compressão	47
4.5.4. Microscopia Eletrônica de Varredura	49
5 CONCLUSÕES.....	53
5.1 Sugestões para pesquisas futuras	55
Referências	56

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, os resíduos sólidos passaram a ser foco da elaboração de políticas públicas (CARVALHO *et al.*, 2011). Tais resíduos são definidos pela NBR 10004 (ABNT, 2004a), que considera como resíduos sólidos os materiais sólidos ou semissólidos resultantes de atividades de origem industriais, domésticas, hospitalar, comercial, agrícolas, de serviços e de varrição.

Nessa perspectiva, a Agenda 21 assinada no Brasil, durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada em 1992, no capítulo 21, evidencia que a gestão dos resíduos sólidos deve-se basear em quatro fatores basilares: diminuir os resíduos produzidos; promover a disposição e o tratamento; maximizar a reutilização e a reciclagem dos resíduos; e ampliar a cobertura do serviço de coleta a toda a população (CASTRO e ARAÚJO, 2004).

Quanto ao compromisso de maximizar a reutilização e a reciclagem dos resíduos, sob esse prisma é que surge a ideia da incorporação de novos materiais na construção civil, especificamente em compósitos cimentícios, com redução do uso de recursos naturais, minimizando a exploração e uso de materiais convencionais. Vale salientar que a maior preocupação ambiental na produção dos concretos está no consumo de cimento, o qual é corresponde de 10 a 15% do volume do concreto, fazendo com que este material se torne bastante utilizado no ramo da engenharia (WANG *et al.*, 2016).

Wang *et al.*, (2018) e Daminieli (2010), mostram que aproximadamente 7% das emissões de CO₂ no mundo são oriundas da produção de cimento Portland. Neste sentido, são recomendadas pesquisas que visem a utilização de materiais alternativos em substituição do cimento. muitas pesquisas foram realizadas com incorporação de resíduos em concretos, buscando reduzir o impacto ambiental oriundo da liberação do CO₂ da produção do cimento. Estudos apontam que mais de 1600 pesquisas foram publicadas no período de 2005 a 2014, utilizando resíduos sólidos como material pozolânico (WANG *et al.*, 2016).

Dentre os potenciais resíduos utilizados em substituição ao cimento Portland, existem os resíduos da biomassa. Em pesquisas anteriores a esta, já foi estudada uma variedade de materiais orgânicos com potencial pozolânico tais como: cinza da casca de arroz (ALNAHHAL *et al.*, 2018), (CHALEE *et al.*, 2013), (CORDEIRO *et al.*, 2012), (ZERBINO; GIACCIO; ISAIA, 2011); cinza do bagaço cana de açúcar (CORDEIRO *et al.*, 2012), (ROSSIGNOLO *et al.*, 2017), (ZAREEI; AMERI; BAHRAMI, 2018); cinza do óleo de palma (ALNAHHAL *et al.*, 2018), (KARIM; HASHIM; RAZAK, 2016), (KHANKHAJE *et al.*,

2016); cinza da madeira (CHOWDHURY; MANIAR; SUGANYA, 2015), (SIDDIQUE, 2014), (VELAY-LIZANCOS *et al.*, 2017); cinza do capim elefante (CORDEIRO; SALES, 2015); cinza esterco de gado (ZHOU *et al.*, 2015), cinza da folha da bananeira (KANNING, 2010).

Kanning (2010) caracterizou a cinza da folha de bananeira com a avaliação da atividade pozolânica. Na sequência, Kanning (2013), desenvolveu um estudo pioneiro com a adição da cinza da folha de bananeira em argamassas. Posteriormente, Kanning *et al.*, (2014), estudaram os desempenhos de resistência mecânica e química das amostras de concreto de 10% e 20% com incorporação da cinza. Nos estudos realizados até então, a CFB sempre foi utilizada como incorporação, restando uma lacuna o estudo dos concretos de cimento Portland com a substituição parcial do aglomerante em teores diferentes.

1.1. Justificativa

A banana é a fruta mais consumida *in natura* no Brasil e no mundo, com produção mundial de 113,28 milhões de toneladas produzidas em 2016 (OLIVEIRA; BRUCKNER; SILVA, 2018). O cultivo da banana se destacou entre a fruticultura do Brasil, correspondendo a 29,0% do valor da produção (VIDAL, 2018).

De acordo com Ataíde *et al.* (2014), a produção e o cultivo da bananicultura implicam na geração de um volume elevado de resíduos, provocada pelas próprias perdas inerentes ao próprio processo produtivo, bem como pelo manejo inadequado e baixo desenvolvimento tecnológico associado à cultura. No entanto, a palha de bananeira como matéria orgânica não decomposta no solo, mobiliza intensa atividade microbiana provocando, temporariamente, uma deficiência de nitrogênio às plantas (BORGES; ELISABETH, 2014).

Nesta perspectiva, justifica-se o uso do CFB, pois a bananeira é uma espécie frutífera de ciclo de vida curto e que gera um volume significativo de resíduos (BASTOS, 2010). O estado do Rio Grande do Norte apresenta uma área de plantio da bananicultura de aproximadamente 7.446 hectares (EMBRAPA, 2018). Considerando que cada hectare possui cerca de 1333 bananeiras (CORDEIRO, 2006), e cada bananeira gera, em média, 1,343 kg de folha seca (KANNING, 2010), totaliza-se 13,33 mil toneladas de folhas secas com potencial de geração de 1,33 mil toneladas de cinza no RN.

1.2.Objetivos

1.2.1.Objetivos geral

O objetivo desta pesquisa é avaliar a viabilidade técnica da substituição parcial da cinza da folha da bananeira em concretos de cimento Portland, verificando as propriedades físicas e mecânica.

1.2.2.Objetivos específicos

- Realizar a caracterização física, química e mineralógica das cinzas e demais materiais para produção dos concretos (cimento, areia e brita).
- Analisar e comparar a influência da substituição nas propriedades dos concretos em relação ao convencional nos estados fresco e endurecido.
- Analisar a microestrutura dos concretos com a incorporação das cinzas.
- Identificar o teor ótimo de substituição do cimento Portland pela CFB.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo serão apresentadas algumas definições sobre o concreto, as reações de hidratação do cimento Portland e as adições minerais. Assim, serão abordados a atividade pozolânica e o efeito filler nos concretos, mostrando os efeitos destas adições minerais nas propriedades deste compósito. Posteriormente será apresentado um levantamento dos quantitativos da bananicultura em âmbito internacional, nacional e local, finalizando com os aspectos da cinza da folha da bananeira.

2.1. Concreto

Um dos primeiros materiais compósitos usados na engenharia civil foi o concreto, com sua origem datada a partir do século XIX, iniciando uma revolução na engenharia civil. É possível utilizar atualmente, com os avanços das pesquisas, o concreto em obras grandes com economia e segurança. As propriedades dos concretos são bastante conhecidas e pesquisadas, permitindo sua utilização nos mais variados tipos de estruturas (GIAMMUSSO, 1992).

Concreto é um material compósito que consiste, essencialmente, de um meio aglomerante no qual são aglutinados partículas ou fragmentos de agregado. No concreto de cimento hidráulico, o aglomerante é formado de uma mistura de cimento e água (MEHTA E MONTEIRO, 2014).

2.1.1. Hidratação do cimento

Os cimentos Portland são constituídos basicamente de 4 fases, silicatos tricálcico (C_3S), silicatos dicálcio (C_2S), aluminatos tricálcio (C_3A) e o ferroaluminato tetracálcio (C_4AF). Estes em contato com a água (H_2O) formarão os seguintes compostos expressos nas Equações 1, 2, 3 e 4:



Durante o processo de hidratação do cimento, a primeira reação que acontece é de C_3A , que seria praticamente instantânea se não fosse a ação do sulfato de cálcio, promovendo o retardamento da pega. Posteriormente ocorre a reação entre os cristais de C_3S , que é o principal responsável pela resistência nas idades iniciais. O C_4AF possui pega rápida, mas não é instantânea. Neste sentido, o óxido de ferro age como fundente, fixando a alumina e melhorando a resistência ao ataque de águas sulfatadas. A partir dos 7 dias começam as reações do C_2S com a água. A reação é lenta e se processa com mais efetividade após os 28 dias, uma vez que este composto é responsável pela resistência da pasta em idades mais avançadas (SOKOLOVICZ, 2013).

Dentre os compostos hidratados, O C-S-H é o principal composto responsável pela resistência mecânica da pasta e o hidróxido de cálcio (CH) é o agente responsável pela alcalinidade.

2.2. Adições minerais

O uso das adições minerais é datado desde o período de 1500 a.C. As primeiras adições naturais eram provenientes da erupção de vulcões. Atualmente, a cinza volante e a escória de alto forno são as adições mais utilizadas, sendo derivadas as demais dos resíduos industriais ou agrícolas (SILVA, 2014).

De acordo com Sokolovicz (2013), as adições minerais são compostos inorgânicos, de natureza sílico-aluminosa que adicionados ao concreto promovem uma melhoria no desempenho com relação a durabilidade e propriedades mecânicas.

As adições minerais podem ser classificadas como cimentantes (ex: escórias), materiais pozolânicos e inertes (ex.: filler calcário). A substituição parcial do cimento Portland por uma adição isolado, ou uma combinação de dois ou três materiais cimentícios suplementares nos concretos, pode melhorar suas propriedades reológicas, mecânicas e a durabilidade (AÏTCIN, 2000).

Segundo Sokolovicz (2013), para amenizar o impacto ambiental e econômico da fabricação do cimento, as adições minerais têm se mostrado uma alternativa viável e eficiente para a substituição parcial do clínquer, considerando que grande parte dessas adições é formada por resíduos agroindustriais.

2.2.1. Atividade pozolânica

Um material pozolânico é aquele que possui pouca ou nenhuma atividade cimentante, mas quando finamente moído e em presença de hidróxido de cálcio e água, à temperatura ambiente, formará compostos com propriedades aglomerantes, segundo a NBR 12653 (ABNT, 2014a). É interessante entender esta definição para a compreensão da atividade pozolânica. Cincotto (1988) a define como a capacidade de fixação de hidróxido de cálcio, na forma de compostos hidratados, contribuindo para a resistência mecânica.

Os materiais pozolânicos podem ser classificados em três classes: as pozolanas naturais (classe N), as pozolanas da cinza volante (classe C) e classe E todos os demais materiais (ABNT, 2014a). Para serem considerados como pozolanas, as adições devem atender às exigências químicas e físicas definidas na Tabela 1.

Tabela 1 – Exigências químicas e físicas

EXIGÊNCIAS QUÍMICAS E FÍSICAS			
PROPRIEDADES	CLASSES DE MATERIAL POZOLÂNICO		
	N	C	E
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ , % mín.	70	70	50
SO ₃ , % máx.	4,0	5,0	5,0
Teor de umidade, % máx.	3,0	3,0	3,0
Perda ao fogo, % máx.	10,0	6,0	6,0
Álcalis disponíveis em Na ₂ O, % máx.	1,5	1,5	1,5
Material retido na peneira 45 µm, % máx.	34	34	34
Índice de atividade pozolânica:			
- Com cimento aos 28 dias, em relação ao controle, % mín.	75	75	75
- Com a cal aos 7 dias, em MPa	6,0	6,0	6,0
- Água requerida, % máx.	115	110	110

Fonte: adaptado da NBR 12653 (ABNT, 2014a)

A reação pozolânica ocorre devido a presença do CH com a pozolana e água, gerando uma nova fase de C-S-H, menos densa se comparada à primeira formação do produto, podendo ser ilustrado na Equação 05.



As reações pozolânicas apresentam tanto importância química, com a formação do gel de C-S-H secundário, como uma importância física, no que se refere ao tamanho dos poros, pois esta nova fase de C-S-H preenche os poros maiores, favorecendo assim à durabilidade e à resistência mecânica (DAL MOLIN, 2011).

2.2.1.1. Métodos de avaliação da atividade pozolânica

A atividade pozolânica do material pode ser mensurada e quantificada por alguns métodos, destacando o método convencional de acordo com a NBR5752 (ABNT, 2014b), o Chapelle modificado, a condutividade elétrica, a análise termogravimétrica associado com a difração de raios-X, entre outros. Nesta pesquisa foram explorados dois métodos: o do Chapelle modificado e da condutividade elétrica.

a. Chapelle modificado

O método do Chapelle consiste numa análise química em que determina a quantidade de óxido de cálcio consumido pela adição a ser estudada. Este ensaio é comumente aplicado pelo IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas.

Para a realização deste método, inicialmente é misturado 1g do resíduo com 1g de óxido de cálcio em 250 ml de água em um Erlenmeyer de 500 ml. Esta mistura é mantida a 90 ± 5 ° C em banho maria com agitador magnético, por 16 ± 2 h. Após resfriar, adiciona uma solução de sacarose (240g / L), fecha-se erlenmeyer e agita-se a solução durante quinze minutos, seguido de uma filtragem e armazenamento de 50 mL, para determinar a alcalinidade com ácido clorídrico 0,1 M.

O resultado deste ensaio é expresso em miligramas de cal (CaO) reagidos por grama de pozolana. Segundo Raverdy *et al.* (1980), para ser considerado como pozolana é estabelecido um valor limite de 330 mg de CaO.

b. Condutividade elétrica

Outro método possível para determinar a pozolanicidade do material é pela condutividade elétrica. Esta metodologia foi pioneiramente produzida por Luxán (1989) e adaptado por Silva (2016).

Este ensaio consiste na medição da condutividade elétrica em tempos pré-estabelecidos, numa solução com o 0,45g de hidróxido de cálcio, 250ml de água deionizada e 5,25g resíduo (SILVA, 2016).

A proposta de Luxán et al. (1989) é medir a condutividade elétrica nos 120 segundos iniciais, enquanto Silva (2016) mostra em sua pesquisa que mesmo após os 120s e 10.000s a condutividade elétrica continua a diminuir, sugerindo a fazer uma medição com 85.000s. Villar Cociña (2005) afirma que após os 10.000s ainda há formação do C-S-H, confirmando a necessidade de continuar a análise até os 85.000s.

Após a realização do ensaio, é determinada a diferença da condutividade nos tempos inicial e final, comparando com valores propostos por Luxán et al. (1989), na Tabela 2.

Tabela 2 - Avaliação da atividade pozolânica pela condutividade elétrica

CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL	VARIAÇÃO DA CONDUTIVIDADE DE ACORDO COM O MÉTODO PROPOSTO (mS/cm)
Não pozolana	Menor que 0,40
Pozolana variável	Entre 0,4 e 1,2
Boa pozolana	Maior que 1,2

Fonte: Luxán et al (1989)

2.2.1.2.Revisão sistemática de pozolanas em concretos

A quantificação dos óxidos é necessária para poder classificar o resíduo estudado como uma possível pozolana. Conforme a NBR 12653 (ABNT, 2014a), serão pertencentes às classes N e C, as adições que apresentem uma quantidade de óxido superior a 70 % e de classe E quando o somatório dos óxidos ultrapassa os 50 %.

Foi realizada uma revisão sistemática referente ao uso de cinzas da biomassa, sintetizando quais apresentaram atividade pozolânica em concretos de cimento Portland, abordando as recomendações do Felizardo et al. (2017). Os critérios adotados pela revisão basearam-se da elegibilidade de estudos, fontes de informações, busca e seleção de estudos.

A seleção dos estudos desencadeou uma busca de artigos referentes ao uso de cinzas da biomassa em concretos de cimento Portland. Algumas pesquisas não foram consideradas, pois baseavam-se no uso de concreto especiais e a pesquisa visou o uso de concreto convencional. Para consultar informações mais recentes, foi usado um espaço temporal de publicações de 2008 até 2018.

Foi pesquisada uma variedade de artigos internacionais em diferentes bases. A partir da leitura foi possível nortear e encontrar algumas características a serem identificadas do material. Dentre os critérios estabelecidos, a pesquisa foi delimitada pelo método PICO (População, Intervenção, Comparação e Resultados), que tem como objetivo basilar a pesquisa. Esta metodologia está sintetizada na Tabela 3:

Tabela 3 - Critérios PICO

CRITÉRIOS PICO	
População	Produção de concretos de cimento Portland
Intervenção	Uso da cinza da biomassa
Comparação	Substituição parcial do cimento Portland pelas cinzas da biomassa
Resultado	Potencialidade de uso das cinzas como material pozolânico

Fonte: Autoria Própria (2019)

Para o levantamento das informações, usaram-se artigos extraídos das bases de dados SCIENCE DIRECT e SCOPUS. O acesso a estas bases ocorreu até o dia 03 de novembro de 2018. Para a busca dos artigos nas referidas bases utilizaram-se uma “*String*” de busca, que passou por alguns refinamentos e testes até chegar a string final, desta forma, a string ficou: “concrete” and (“pozzolan” or “biomass”) and “ash”.

Com a leitura dos artigos foi possível aplicar os critérios de inclusão e exclusão adotados. Para ser incluído, o artigo deveria ter usado cinza da biomassa em concretos de cimento Portland como material pozolânico. Como critério de exclusão, foram retirados os artigos que não apresentavam DRX e FRX para poder quantificar os óxidos de silício, alumínio e ferro.

Com a aplicação da string nas bases de busca foram encontrados 126 artigos, havendo a necessidade de acréscimo de mais 1 artigo que foi encontrado sobre o tema e não havia sido localizado nas referidas bases.

A quantidade de artigos publicados por ano, mostra que houve um aumento de publicação para os anos de 2012 até 2014, permanecendo constante após o ano 2017. Dentre os artigos selecionados, o periódico “Construction and Building Materials” consta com 50% das publicações e a revista “Cement & Concrete Composites” com 25%.

Com relação as filiações dos autores por país, verifica-se que o destaque é para o Brasil com 20 % das publicações no total dos artigos selecionados, a China, a Malásia e a Tailândia ficaram, cada país com 12 % das publicações; e Palestina, Espanha, Argentina, França, Grécia, Índia, Irã, Portugal e U.S.A, apareceram com 4% cada.

a. Quantificação dos óxidos dos principais resíduos

A análise de FRX permite identificar a quantidade de óxidos presentes em cada material. O somatório dos óxidos de silício, alumínio e ferro é importante para classificar o resíduo como material pozolânico. Na Tabela 4 apresenta-se a quantificação percentual dos óxidos de cada pesquisa analisada, mediante os resultados dos artigos selecionados.

Tabela 4 - Quantificação dos óxidos dos resíduos

TIPOS DE RESÍDUOS	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	ÓXIDOS TOTAIS (%)	CaO(%)	REFERÊNCIA
Cimento	21,0	5,9	3,4	30,3	64,7	ALNAHHAL et al., 2018
Cinza casca de arroz	91,0	0,4	0,4	91,8	0,5	ALNAHHAL et al., 2018
Cinza casca de arroz	87,0	1,1	2,6	90,7	1,3	CHALEE et al., 2013
Cinza casca de arroz	82,6	0,4	0,5	83,5	0,9	CORDEIRO et al., 2012
Cinza casca de arroz	94,8	0,4	0,5	95,8	1,3	ZERBINO; GIACCIO; ISAIA, 2011
Cinza da biomassa (madeira)	11,6	4,4	2,6	18,6	34,9	VELAY-LIZANCOS et al., 2017

TIPOS DE RESÍDUOS	SiO₂ (%)	Al₂O₃ (%)	Fe₂O₃ (%)	ÓXIDOS TOTAIS (%)	CaO(%)	REFERÊNCIA
Cinza da madeira	65,3	4,3	2,2	71,8	10,0	CHOWDHURY; MANIAR; SUGANYA, 2015
Cinza da madeira	50,7	8,2	2,1	61,0	19,6	SIDDIQUE, 2014
Cinza de combustível de óleo de palma	64,2	3,7	6,3	74,2	5,8	ALNAHHAL et al., 2018
Cinza de combustível de óleo de palma	55,5	-	-	70,3	12,4	KHANKHAJE et al., 2016
Cinza de combustível de óleo de palma	65,3	2,5	1,9	69,7	6,9	TANGCHIRAPAT; JATURAPITAKKUL, 2010
Cinza do bagaço cana de açúcar	78,3	8,9	3,6	90,8	2,2	CORDEIRO et al., 2012
Cinza do bagaço cana de açúcar	60,1	12,5	10,4	83,0	3,1	ROSSIGNOLO et al., 2017
Cinza do bagaço cana de açúcar	64,2	9,1	5,5	78,8	8,2	ZAREEI; AMERI; BAHRAMI, 2018
Cinza do capim elefante	59,6	22,1	5,9	87,6	2,6	CORDEIRO; SALES, 2015
Cinzas de esterco de gado	53,1	8,8	5,0	66,8	13,4	ZHOU et al., 2015
Pó de clínquer de óleo de palma	60,3	5,8	4,7	70,8	3,3	ALNAHHAL et al., 2018
Pó de clínquer de óleo de palma	60,3	5,8	4,7	70,8	3,3	KARIM; HASHIM; RAZAK, 2016
Cinza da folha da bananeira	48,7	2,6	1,4	52,7	17,8	KANNING, 2010

Fonte: Autoria própria (2019)

Analisando a Tabela 4, verifica-se que os resíduos da biomassa por serem de origem natural, apresentam variações nas quantidades de óxidos para o mesmo material em diferentes regiões, como é o caso da cana-de-açúcar, que apresentou a quantidades de sílica variando de 60,1% a 78,3%.

Neste sentido, a cinza da casca do arroz apresenta a maior quantidade de óxido quando comparado aos demais materiais, acarretando uma maior atividade pozolânica,

confirmado por Alnahhal *et al.* (2018), Chalee *et al.* (2013), Cordeiro *et al.* (2012), Zerbino; Giaccio e Isaia (2011). A cinza do bagaço da cana de açúcar também apresenta quantidade de óxidos considerável (acima de 70%), indicando-a como uma boa pozolana (CORDEIRO *et al.*, 2012), (ROSSIGNOLO *et al.*, 2017), (ZAREEI; AMERI; BAHRAMI, 2018).

b. Incorporação das cinzas da biomassa nas propriedades do concreto

Com o intuito de compreender o efeito das adições provenientes da biomassa e verificar quais dos resíduos são mais usuais como pozolanas em concreto de cimento Portland, pode-se destacar alguns, como a cinza da casca do arroz, do bagaço da cana de açúcar, do clínquer de palma, da madeira, do capim elefante, do esterco bovino e da folha da bananeira.

Segundo Alnahhal *et al.* (2018), o uso da cinza da casca do arroz (CCA) foi viável para substituição do cimento em até 30%, uma vez que a resistência atingiu 30 MPa, valor estimado após 90 dias de cura com água, obtendo uma menor absorção capilar para a mesma idade e melhorando a durabilidade dos concretos frente ao ataque por cloretos. O resultado da durabilidade também foi observado por Chalee *et al.* (2013), para os concretos contendo 15 a 35% de substituição, ocasionado pela formação da nova fase de C-S-H, que aumentou a resistência à compressão.

De acordo com Cordeiro *et al.* (2012) que pesquisou sobre a mistura da cinza da casca do arroz com a cinza do bagaço da cana de açúcar em concretos, observou-se que para o teor de até 40%, as propriedades mecânicas não são afetadas. Zerbino, Giaccio, Isaia (2011), concluíram que na incorporação da cinza da casca do arroz, os concretos apresentaram excelentes características no estado fresco e incrementos significativos nas propriedades mecânicas, chegando a substituir até 25% da massa do cimento.

Contudo, Zareei, Ameri, Bahrami (2018) verificaram que a incorporação da cinza da casca do arroz melhorou algumas propriedades do concreto, em especial, quanto a resistência à compressão e à tração. O teor ótimo identificado pelos autores foi de 5%. Para este teor, o concreto apresentou boa velocidade de pulso ultrassônico e a demanda de água foi diretamente proporcional ao teor de substituição. Para Rossignolo *et al.* (2017), a incorporação da cinza do bagaço da cana de açúcar, apresentou atividade pozolânica igual aos 90 dias, quando comparado ao concreto convencional e a redução do tamanho da zona de transição entre o agregado e a matriz da pasta.

Segundo Alnahhal et al. (2018) a substituição do cimento pela cinza da palma em até 30% garante uma boa resistência a compressão aos 90 dias em cura. Houve também uma redução da absorção de água de 10% a 20% para mesma idade. O comportamento da resistência à compressão é confirmado por Karim, Hashim e Razak (2016), que encontraram resultados próximos para os mesmos teores. A confirmação da atividade pozolânica foi determinada pela análise de DRX, verificando decréscimos nos picos das fases nas idades de 3, 28 e 90 dias.

Khankhaje *et al.* (2016), encontraram resultados análogos, ocasionado pela finura ideal dos resíduos, no qual os concretos com incorporação dos resíduos em até 20%, apresentam menor retração de secagem, menor permeabilidade à água e maior resistência ao ataque de cloreto e sulfato. Neste sentido Tangchirapat e Jaturapitakkul (2010), mostraram que o módulo de elasticidade do concreto com cinza da palma aumentou com o acréscimo da resistência à compressão, apresentando assim, redução da permeabilidade à água do concreto.

Conforme Chowdhury, Maniar e Suganya (2015), as cinzas da madeira apresentam atividade pozolânica devido a sua elevada área superficial. Esta atividade pode ser validada com os ensaios de resistências que apresentam um acréscimo de valor com idades avançadas, quando comparado ao concreto de referência. Entretanto, um teor elevado de incorporação do resíduo pode levar a uma redução na resistência (SIDDIQUE, 2014). Segundo Velay-Lizancos *et al.* (2017). o módulo de elasticidade apresentou resultado negativo nas primeiras horas depois de produzido, normalizado os valores de “E” para idades superiores a 7 dias.

Existem outros resíduos naturais sendo usados em substituição ao cimento Portland, como as cinzas do esterco bovino e as cinzas do capim elefante. As cinzas de origem animal aumentaram a trabalhabilidade do concreto devido ao aumento do tamanho das partículas, acarretando um decréscimo de sua resistência (ZHOU et al., 2015). De acordo com Cordeiro & Sales (2015), os concretos produzidos com as cinzas do capim, apresentaram valores positivos de resistência, módulo de Young e absorção de água com substituição de até 20% com relação a massa do cimento. Este resíduo foi caracterizado como pozolânico por meio do ensaio de Chapelle modificado e de condutividade elétrica

2.2.2.Efeito Filler

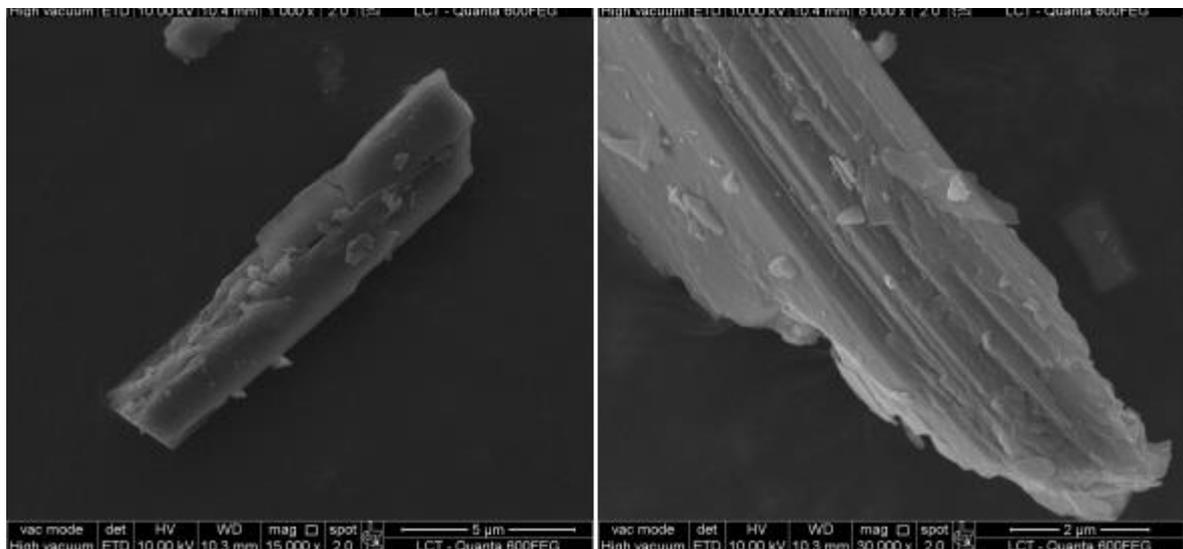
O emprego do filler nos compósitos cimentícios vem sendo amplamente estudado principalmente devido a função de preenchimento deste material na matriz cimentícia (SILVA e BRITO, 2015). Neste sentido, Sua-iam, Sokrai e Makul (2016) afirmam que há melhoria da

distribuição das partículas do esqueleto granular das misturas, melhorando o seu empacotamento. Gomes e Barros (2009) ainda asseguram que estes materiais geralmente são finamente moídos e quando incorporados aos concretos apresentam melhorias específicas, podendo reduzir os custos de produção.

Assim, a forma das partículas de agregados exerce grande influência na trabalhabilidade do concreto, de forma que quanto mais cúbico ou arredondado for o grão, vai gerar um menor consumo de água para o mesmo slump (MEHTA e MONTEIRO, 2014). De acordo com Koehler e Fowler (2007), a demanda de água pode estar relacionada com a forma, a granulometria e a mineralogia das partículas microfinas.

No entanto, com relação a forma do grão, foi constatado que quanto mais alongadas forem as partículas (Figura 1), mais elas afetam negativamente a reologia dos produtos cimentícios. Uma explicação na interferência nas propriedades no estado fresco está na movimentação da partícula, pois embatem em movimentos distintos, provocando um bloqueio e interferência na reologia (DAMINELI, 2013).

Figura 1 – MEV filler silicoso



Fonte: Damинeli (2013)

Quanto a influência dos fillers na hidratação do cimento Kadri, Aggoun e Schutter (2010), apontaram que os microcomponentes aceleraram este processo de hidratação. Outro fator de destaque é que estes finos provocam a multiplicação dos núcleos dos locais onde os produtos hidratados poderiam se desenvolver, ocasionando o efeito de nucleação.

Em conjunto com o efeito físico, há o efeito químico, que influencia na hidratação e propriedades da matriz, pois aumentam a resistência a compressão devido ao resultado conjunto do filler com o pozolânico, se desenvolvendo em idades mais avançadas, como o caso das cinzas volantes e das pozolanas naturais (NEVILLE, 2016).

2.2.2.1. Incorporação do filler em concretos

A incorporação de fillers nas misturas de concreto vem apresentando melhoria nas propriedades mecânicas, físicas e de durabilidade, quando comparado aos concretos contendo apenas o cimento como material fino (SADEK, ATTAR E ALI, 2016). Segundo Isaia, Furquim e Gastaldini (2012), a atuação de cada tipo de adição mineral tem um comportamento diferente na matriz cimentícia, com suas variáveis sendo a finura, atividade química, física ou o teor de substituição.

Quanto as propriedades dos concretos, Bosiljkov (2003) afirma que com o aumento do teor de substituição do filler, em relação ao cimento, há uma melhoria na deformabilidade e na resistência mecânica. Corroborando com esses resultados, Silva e Brito (2015), mostram que as misturas de cimentos com o filler apresentam maiores resistências para pequenos teores de substituição e redução da porosidade total.

Outra possível aplicação do filler é na substituição do agregado miúdo. Singh et al. (2016) mostram que esta incorporação aumentou a compacidade de matriz da pasta, diminuindo a concentração de Ca(OH)_2 na zona de transição e, conseqüentemente, aumento da resistência dos concretos. No entanto, esta adição pode causar perda na trabalhabilidade.

2.3. Plantio e cultura da *musa spp*

Segundo Donato (2006) existem muitas espécies das bananeiras no Brasil. Vale salientar que algumas características desta espécie que predominam, como: porte adequado, resistência à seca e ao frio, preferência dos consumidores, produtividade e tolerância a pragas. Com isso, os tipos que mais significativos são: bananas tipo prata (Prata, Pacovan e Prata-Anã), responsáveis por 60% da área cultivada; a Maçã, a Mysore, as bananas tipo Cavendish (Nanica, Nanicão e Grande Naine), preferidas pelo mercado internacional, e as bananas tipo Terra (Terra e D'Angola) (SILVA et al., 2013).

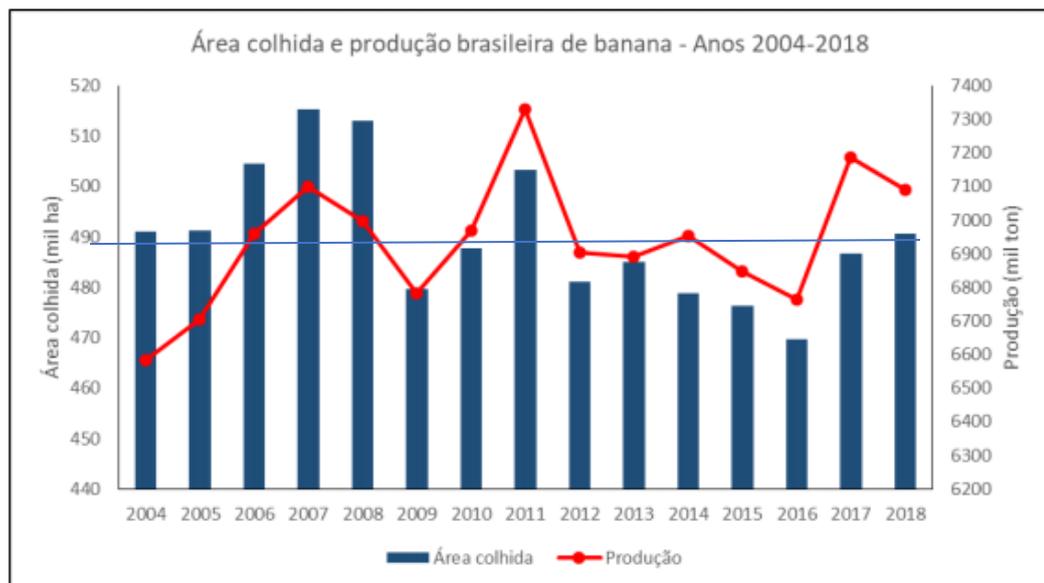
Neste cenário, as principais culturas da *musa spp* cultivadas no Rio Grande do Norte são Pacovan, Pacovan Ken, Maçã e Grand Naine, com destaque para a cultivar Pacovan plantada no Vale do Açu pelos pequenos produtores. Com aproximadamente 90% da área plantada na região, esta espécie surge da mutação da Prata (GUERRA et al., 2009)

Entre essas espécies, Damatto Junior et al. (2006), aponta que mesmo sendo modificadas algumas características químicas no solo, não foi verificada diferença nas concentrações de nutrientes nas folhas das bananeiras, devido à adubação orgânica, evidenciando maior concentração química de potássio(aproximadamente 30%). Contudo, a profundidade das raízes das bananeiras favorece o aumento do teor de fósforo e o acúmulo de fósforo, potássio e cálcio nas folhas das bananeiras, resultando em uma maior massa de folhas (COSTA et al., 2011).

2.3.1. Produção da banana

A Índia se destaca como o país de maior produção de bananas, com 29,12 milhões de toneladas de banana no ano de 2016. Para o mesmo ano, o Brasil apareceu em quarto lugar na produção mundial com 6,76 milhões de toneladas (OLIVEIRA; BRUCKNER; SILVA, 2018). A evolução da produção brasileira de banana é apresentada na Figura 2.

Figura 2 - Evolução da produção brasileira de banana.



Fonte: IBGE (2018), LSPA (2018).

De acordo com a Embrapa (2018) o maior estado produtor da banana no ano de 2017 foi São Paulo, com a produção em 49.012 hectares e 1.084.514 de toneladas do produto. O Rio Grande do Norte está entre os dez estados brasileiros com maior produção, apresentando 7.446 hectares de produção e 210.933 toneladas de banana, conforme apresentado na Tabela 5 que apresenta dados dos dez maiores produtores da banana no país.

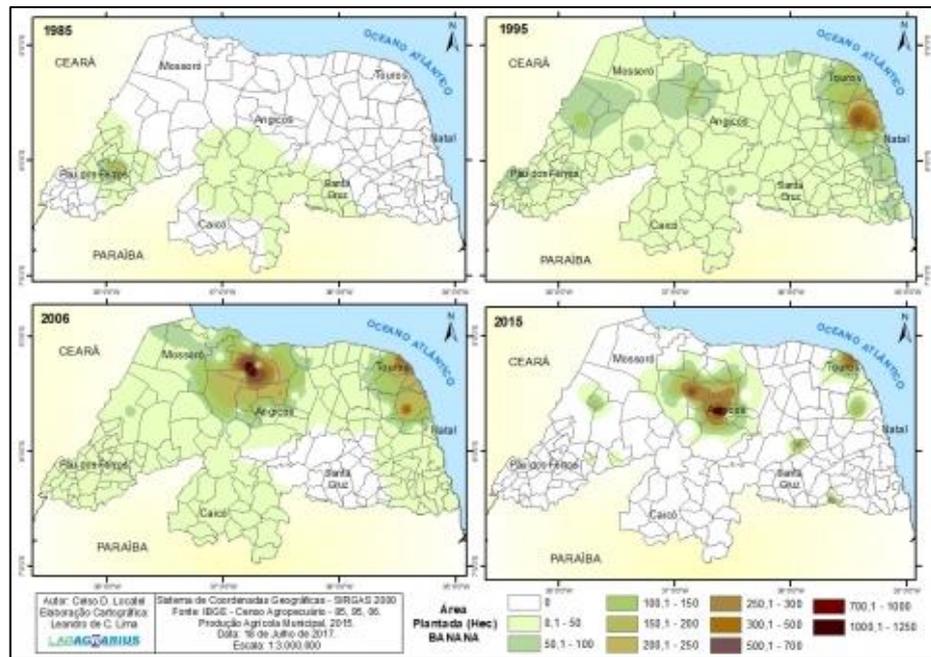
Tabela 5- Produção brasileira de banana em 2017

ESTADOS	ÁREA COLHIDA (HA)	PRODUÇÃO (T)	RENDIMENTO (T/HA)
São Paulo	49.012	1.084.514	22,13
Bahia	72.584	866.591	11,94
Santa Catarina	29.145	712.775	24,46
Minas Gerais	41.525	685.471	16,51
Pará	43.145	514.205	11,92
Pernambuco	40.399	413.311	10,23
Ceará	40.029	393.738	9,84
Espírito Santo	25.020	339.082	13,55
Rio Grande do Norte	7.446	210.933	28,33
Goiás	13.719	208.911	15,23
Brasil	465.434	6.675.100	14,34

Fonte: IBGE – PRODUÇÃO AGRÍCOLA MUNICIPAL (2017)

No Rio Grande do Norte, a produção da banana vem aumentando a cada década. Locatel (2018) mostrou que a área de produção aumentou 2.112,6% de 1985 até 2015. Apesar do aumento deste território, com o passar dos anos ocorre à intensificação da produção em determinados locais, como evidencia a Figura 3.

Figura 3 - Mapa do Rio Grande do Norte: área plantada com banana – 1985 a 2015.



Fonte: LOCATEL (2018).

De acordo com a Figura 3, na década de 80 destacava-se a região de Pau dos Ferros, Seridó e Central do estado como maiores produtores de banana. Nos anos 90 há uma disseminação do plantio em todo o estado, com maior concentração próximo a Ceará-Mirim. Nos anos 2000 a concentração é identificada na região central e até 2015 é intensificada esta produção, ganhando destaque comparado a todo território estadual. O município de Ipanguaçu se sobressai como o maior produtor de banana no estado.

A área de coleta das folhas da bananeira utilizadas neste estudo foi a Região Oeste Potiguar, nas cidades de Apodi e Olho D'água do Borges/RN, com este primeiro município destacando-se no mapa da Figura 3.

2.3.2. Folha da bananeira

A biomassa da folha da bananeira é composta essencialmente do pseudocaule e da folha, apresentando decomposição direta no local do plantio após a colheita. Este cenário permite que várias pesquisas sejam realizadas visando a utilização da biomassa da bananeira.

Dentre as possíveis utilizações da folha da bananeira, pode-se destacar as fibras. Souza (2017) verificou o comportamento de um geotêxtil produzido com látex e a fibra da folha da

bananeira, caracterizando-as quanto às suas propriedades físicas, químicas, mecânicas e térmicas.

No entanto, compósitos feitos a partir dessas fibras, geralmente apresentam problemas com a grande absorção de água. Assim Pujari, Ramakrishna e Padal (2017) estudaram a caracterização desses materiais com foco na absorção com uma análise comparativa de duas metodologias para a predição de propriedades físicas de compósitos de fibras naturais.

2.3.3. Cinza da folha da bananeira

A biomassa de origem vegetal é entendida como a quantidade de matéria orgânica no sistema ecológico, produzida por fotossíntese, processo em que as espécies produzem os carboidratos e oxigênio a partir do dióxido de carbono (ALMEIDA, 2008). Segundo Mesa (2011), a composição da biomassa, geralmente é de 40% a 60% de celulose, 20% a 40% de hemicelulose e de 10% a 25% de lignina.

.De acordo com Fernandes (2011), as bananeiras quando submetidas ao processo térmico começam a perder massa, nos seguintes estágios: até 120 °C ocorre a perda de umidade; de 150 °C até 420 °C ocorre degradação dos materiais mais voláteis como hemicelulose, celulose e lignina; acima de 420 °C a lignina se degrada totalmente, até ficar constante em aproximadamente 900 °C.

Kanning (2010) apresenta em seu estudo que cada bananeira gera, em média, cerca de 1.343,30 gramas de folhas secas, o que representa, anualmente, um potencial nacional de geração de cerca de 895,3 milhões de toneladas de folhas secas. Conclui também que o rendimento da folha seca em cinza é da ordem de 10%.

Diante dessas informações, é que se embasa o motivo de escolher utilizar a CFB, pois no caso da utilização das folhas ainda como fibras, estas poderiam conter matéria orgânica na sua composição o que causaria problemas iniciais e de durabilidade nos concretos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo contém a descrição dos materiais utilizados, bem como, os procedimentos metodológicos adotados na avaliação da influência da incorporação da CFB na substituição parcial do cimento em concretos de cimento Portland.

3.1 Materiais

3.1.1. Cinza da Folha da Bananeira - CFB

A Figura 4 apresenta as plantações das bananeiras. As cinzas estudadas nesta pesquisa foram oriundas de uma plantação de bananeiras nas cidades de Apodi e Olho D'água do Borges, ambas na Região Oeste Potiguar.

Figura 4- Plantação de bananeiras: (a) Apodi/RN, (b) Olho D'água do Borges/RN.



Fonte: Autoria própria (2019).

3.1.2. Cimento

O cimento empregado na pesquisa foi comercializado em sacos de 50 Kg. Para esta análise utilizou-se um cimento tipo Portland composto com Filler (CP II – F 32) com resistência de 32 MPa aos 28 dias, da marca Montes Claros. A escolha se deu visando uma composição isenta de pozolanas.

3.1.3. Agregado miúdo

Foi aplicada na produção dos concretos uma areia quartzosa de origem natural, proveniente de uma jazida localizada na cidade de Pau dos Ferros/RN. A areia foi armazenada em tambores no Laboratório de Engenharia Civil – UFERSA.

3.1.4. Agregado graúdo

O agregado graúdo deste estudo é a brita granítica, adquirida de uma pedreira na cidade de Caraúbas/RN. A brita foi armazenada em tambores no Laboratório de Engenharia Civil – UFERSA.

3.1.5. Água

Foi utilizada água potável fornecida pela concessionária local, a CAERN – Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte, proveniente do sistema de abastecimento público da cidade de Pau dos Ferros/RN.

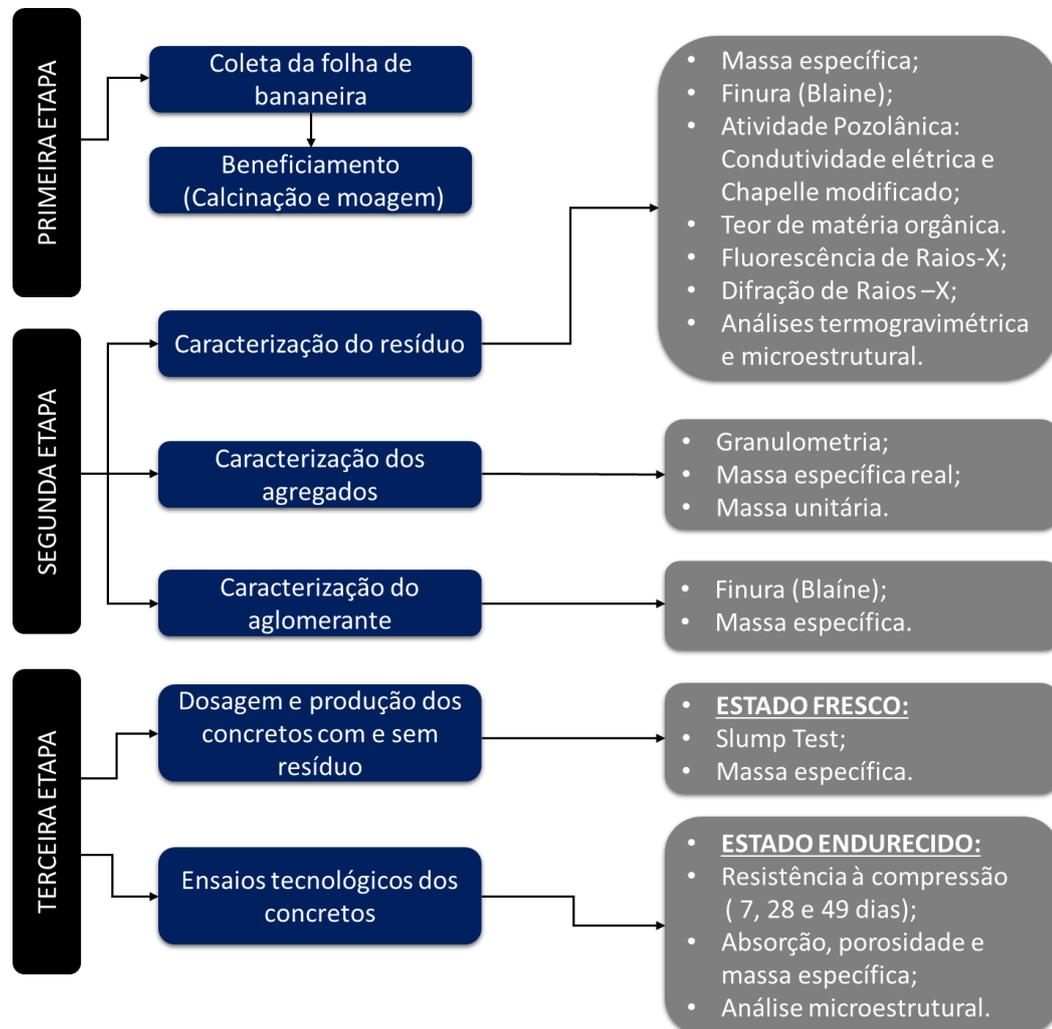
3.1.6. Aditivo

O aditivo empregado para produção dos concretos foi o aditivo plastificante para concretos e argamassas da marca Stankalit.

3.2 Métodos

O programa experimental foi dividido em três etapas. Na primeira, foi realizada a coleta e o beneficiamento da folha da bananeira. Na segunda etapa, foram caracterizados a cinza, a areia, a brita e o cimento. Posteriormente, na terceira etapa, foram realizados os ensaios nos concretos nos estados frescos e endurecido. No fluxograma da Figura 5 constam os procedimentos experimentais de todo o programa.

Figura 5 - Procedimento experimental.



Fonte: Autoria Própria (2019)

3.2.1. Caracterização dos agregados

Os ensaios para caracterização da areia foram a granulometria, a massa unitária e a massa específica, preconizados pelas normas NM 248 (ABNT, 2003), NM 45 (ABNT, 2006) e NM 52 (ABNT, 2009a), respectivamente. Os ensaios de caracterização foram realizados na UFERSA Pau dos Ferros no Laboratório de Engenharia Civil.

A caracterização da brita foi feita na UFERSA Pau dos Ferros, no Laboratório de Engenharia Civil. Foram realizados os ensaios de análise granulométrica, massa unitária e

massa específica, normalizados respectivamente pelas NM 248 (ABNT, 2003), NM 45 (ABNT, 2006) e NM 53 (ABNT, 2009b).

3.2.2. Caracterização do cimento

3.2.2.1. Índice de finura

A finura do cimento foi obtida por meio da NBR16372 (ABNT, 2015a), método de Blaine. O ensaio foi realizado no laboratório de Construção Civil do IFRN – Mossoró/RN.

3.2.2.2. Massa específica real

Para este procedimento, empregou-se a NBR 16605 (ABNT, 2017). A Figura 6 mostra a realização do experimento.

Figura 6 - Determinação da massa específica de acordo com a NBR 16605 (ABNT, 2017).



Fonte: A autoria própria (2019)

O ensaio foi realizado no laboratório de materiais de construção da UFRN.

3.2.3. Caracterização do resíduo

Após a coleta, as folhas das bananeiras foram expostas ao sol e armazenadas para ocorrer a desidratação a fim de facilitar o beneficiamento. Em seguida, foram submetidas à primeira calcinação com temperatura de 200 °C em uma fábrica de cerâmica na cidade de São Francisco do Oeste/RN.

Uma segunda calcinação foi necessária para poder atingir a temperatura de 900°C, que conforme Kanning (2010) assegura uma atividade pozolânica aceitável. Neste processo final de obtenção da cinza, utilizou-se de uma mufla (marca Jung) do Laboratório de Materiais Multifuncionais e Experimentação Numérica da Escola de Ciências e Tecnologia da UFRN, como mostra a Figura 7.

Figura 7 - Mufla do Laboratório do curso de Ciência e Tecnologia da UFRN.



Fonte: Autoria própria (2019).

Com o intuito de obter o material a ser empregado na pesquisa, o resíduo foi colocado em um moinho de bolas do laboratório de Materiais de Construção da UFRN. O material foi moído por trinta minutos e, em seguida, passado na peneira #200 de abertura de 75 µm.

3.2.3.1. Análise mineralógica e química

As análises mineralógicas das amostras foram executadas por meio do ensaio de difração de Raios X, no Laboratório de Materiais Multifuncionais e Experimentação Numérica – LAMMEN – UFRN. O Difratorômetro é da marca BRUKER e modelo D2 PHASER. Os espectros foram obtidos sob as seguintes condições: varredura (2θ) de 3° a 70° e passo angular de $0,02^\circ$.

As cinzas foram submetidas à análise química por meio do ensaio de caracterização de espectrometria de Fluorescência de raios X (FRX). O ensaio foi realizado no Laboratório de Peneiras Moleculares – LABPEMOL – UFRN, em um aparelho Bruker S2 Ranger utilizando radiação de paládio ou prata, com potência máxima de 50 W, tensão máxima de 50 kV, e corrente máxima de 2 mA,

3.2.3.2. Massa Específica Real

O ensaio de massa específica real é indispensável na caracterização física das cinzas e é normatizado pela NBR 16605 (ABNT, 2017). Todo o procedimento do ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção da UFRN.

3.2.3.3. Área Superficial – Método de Blaine

A finura da CFB foi realizada seguindo a NBR16372 (ABNT, 2015a) pelo método de Blaine, no laboratório de Construção Civil do IFRN – Mossoró/RN.

3.2.3.4. Teor de matéria orgânica

O ensaio de teor de matéria orgânica para as cinzas (Figura 8) foi executado no Laboratório de Solos, na Universidade Federal Rural do Semi-Árido, em Mossoró.

Figura 8 - Teor matéria orgânica do resíduo



Fonte: Autoria própria (2019).

O teor de matéria orgânica é de grande importância para o estudo, uma vez que a presença no concreto pode interferir nas reações de hidratação, modificando suas propriedades, tal como a resistência (TAFAREL *et al.*, 2016).

3.2.3.5. Análise termogravimétrica

A análise ocorreu no Laboratório de Propriedades Físicas dos Materiais Cerâmicos - LABPFIC/UFRN, utilizando um analisador termogravimétrico Modelo DTG-60H Shimadzu Corporation., com temperatura de 900°C, taxa de aquecimento de 10°/min, fluxo de gás de 50 ml/min e atmosfera de argônio.

3.2.3.6. Análise microestrutural (MEV)

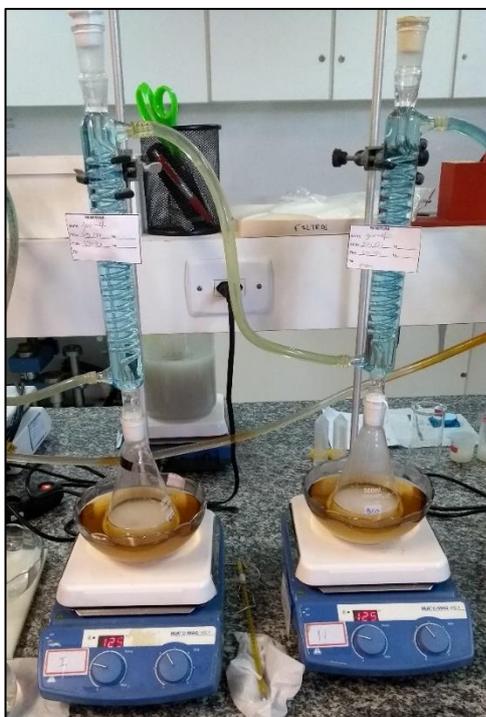
A análise da microestrutura do resíduo foi realizada no Laboratório de Caracterização Estrutural de Materiais, Departamento de Materiais - UFRN, utilizando um microscópio eletrônico de varredura (MEV – HITACHI).

3.2.3.7. Índice de Atividade Pozolânica

A atividade pozolânica foi avaliada de forma comparativa empregando dois ensaios: Chapelle modificado, seguindo os procedimentos estabelecidos na NBR 15895 (ABNT, 2010) e o método da condutividade elétrica seguindo a metodologia definida em Luxán, Madruga e Saavedra (1989). Ambos os testes serviram para uma análise mais precisa e rápida da pozolanicidade do material.

O procedimento do ensaio de Chapelle foi realizado no Instituto de Química da UFRN (Figura 9).

Figura 9 - Ensaio de Chapelle Modificado.



Fonte: Autoria própria (2019).

A complementação da avaliação da atividade pozolânica do material foi executada por meio do ensaio de condutividade elétrica, baseado na metodologia proposta por Luxán, Madruga e Saavedra (1989) e adaptado por Silva (2016), que consiste na medição da condutividade em uma solução com o hidróxido de cálcio, água deionizada e cinza (Figura 10).

Figura 10 - Banho maria termostático com célula acoplada para medição da condutividade elétrica.



Fonte: Autoria própria (2019).

O procedimento da condutividade elétrica foi realizado no Núcleo de Pesquisa em Petróleo e Gás - NUPPEG do Departamento de Engenharia Química da UFRN.

3.3 Definição do traço e produção dos concretos

3.3.1. Dosagem do concreto

A dosagem para estabelecer o traço empregado neste estudo foi calculada pelo método da ABCP para concretos de cimento Portland não estruturais com fck de 20 MPa aos 28 dias. Para a dosagem do concreto foram considerados alguns fatores, como mostra a Tabela 6.

Tabela 6- Fatores a serem considerados na dosagem do concreto

ABATIMENTO	80 mm
CONDIÇÃO DE PRODUÇÃO	A

Fonte: Autoria Própria (2019)

Com o traço estabelecido, foram produzidos os concretos. A mistura foi desenvolvida de forma mecânica por uma betoneira de 400 litros, escolhida por conter uma maior energia de mistura e homogeneidade.

Para estabelecer a trabalhabilidade ideal, adotou-se o uso de aditivo plastificante, fixando a quantidade em 1% da massa do cimento. A norma NBR 11768 (ABNT, 2011), regulamenta o uso de aditivo em até 2%.

Foram adotados os seguintes teores de substituição parcial em relação ao cimento pela CFB: 0% (referência), 5%, 10 e 15% (CP-00, CP-05, CP-10, CP-15), totalizando 4 dosagens. Os teores dos resíduos foram adotados com base em Alnahhad *et al.* (2018), pois para os materiais pesquisados obtiveram efeitos positivos nos concretos em substituição de até 30%. A nomenclatura usada nesta pesquisa encontra-se apresentada na Tabela 7.

Tabela 7- Nomenclatura utilizada na pesquisa

CONCRETO	CIMENTO	AREIA	BRITA	ÁGUA	CINZAS
CP – 00	1,00	1,89	2,45	0,5	0,00
CP – 05	0,95	1,89	2,45	0,5	0,05
CP – 10	0,90	1,89	2,45	0,5	0,10
CP – 15	0,85	1,89	2,45	0,5	0,15

Fonte: Autoria Própria (2019)

3.3.2.Cálculo dos consumos de materiais

O cálculo de consumo de materiais foi estabelecido com base no quantitativo de corpos de prova para cada ensaio. Com base nas normas, a Tabela 8 descreve as quantidades de CPs para cada ensaio.

Tabela 8 - Quantidades de CPs

APLICAÇÃO	CPS
Resistência a compressão aos 7 dias	4
Resistência a compressão aos 28 dias	4
Resistência a compressão aos 49 dias	4
Índice de vazios e absorção de água	4
Reserva	2
Total	18
Volume total de concreto para os CPs (dm ³)	28,26

Fonte: Autoria Própria (2019)

Então, foram confeccionados 18 CPs cilíndricos de 10 cmx20 cm de altura, conforme NBR 5738 (ABNT, 2015b) para cada idade. Como analisou-se três idades (7, 28 e 49 dias) e três teores de substituição além do concreto de referência, faz-se necessário a produção de 72 CPs. O cálculo do consumo de materiais está expresso na Tabela 9.

Tabela 9 - Nomenclatura utilizada na pesquisa

CONSUMO (kg/m ³)	CIMENTO	AREIA	BRITA	ÁGUA	CINZAS
CP – 00	400	755	979	200	0
CP – 05	380	755	979	200	20
CP – 10	360	755	979	200	40
CP – 15	340	755	979	200	60

Fonte: Autoria Própria (2019)

3.3.3. Moldagem dos corpos de provas de concreto

A moldagem dos corpos de prova de concreto foi baseada na NBR 5738 (ABNT, 2015b). Os corpos de prova foram submetidos a uma cura inicial de 24h, conforme estabelece a norma. Posteriormente ocorreu a cura úmida até a idade dos ensaios.

3.4 Propriedades dos concretos

Os ensaios para avaliação comparativa físicas e mecânica dos concretos foram realizados nos estados fresco e endurecido. No estado fresco, analisou-se a consistência do concreto por meio dos ensaios de *slump test* e de massa específica. Para o estado endurecido, foram executados os ensaios de absorção, porosidade total e resistência à compressão. Uma análise com objetivo de avaliar a microestrutura por meio do MEV foi realizada aos 28 dias.

3.4.1. Propriedades do concreto no estado fresco

3.4.1.1. Ensaio de abatimento de tronco de cone (*Slump Test*)

O ensaio de abatimento de tronco de cone foi realizado de acordo com a NM 67 (ABNT, 1998), visando identificar a trabalhabilidade por meio da análise de consistência.

O uso deste ensaio é justificado devido ao resíduo utilizado na pesquisa ser possivelmente capaz de absorver de uma parcela da água de amassamento, podendo modificar a trabalhabilidade (DAMINELI, 2013).

3.4.2. Propriedades do concreto no estado endurecido

3.4.2.1. *Absorção de água e Índice de vazios*

Este ensaio ocorreu na idade de 28 dias, e tem por objetivo, a determinação do índice de vazios e da massa específica e ainda, avaliar a velocidade da absorção de água do concreto. O procedimento para a realização dos ensaios físicos é preconizado na NBR 9778 (ABNT, 2009a).

3.4.2.2. *Ensaio de resistência a compressão*

O ensaio de resistência a compressão foi realizado de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2018). As idades de realização do ensaio foram 7, 28 e 49 dias, justificando estas datas pela possibilidade da cinza vir a apresentar incremento de resistência em idades mais avançadas.

O ensaio foi executado no laboratório de Engenharia Civil da UFERSA – campus Pau dos Ferros/RN. O equipamento utilizado para o rompimento dos corpos-de-prova foi a prensa hidráulica da marca Solocap, Modelo CI 100/200 toneladas força.

3.4.2.3. *Microscopia eletrônica de varredura*

A microscopia eletrônica de varredura foi aplicada nos concretos aos 28 dias para a análise da microestrutura. Este procedimento ocorreu no laboratório de microscopia eletrônica de varredura na UFERSA- Mossoró.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão apresentados, primeiramente, os resultados dos ensaios realizados com os agregados e o aglomerante. Em seguida, serão abordados os ensaios que caracterizaram a CFB. Por fim, são analisados e discutidos os resultados dos ensaios nos estados fresco e endurecido dos concretos com e sem substituição. Também foram estabelecidas relações entre as variáveis estudadas, por meio de comparações dos resultados.

4.1 Caracterização dos agregados

4.1.1. Massa Unitária e Massa Específica

Os resultados das massas específica e unitária dos agregados miúdos e graúdos encontram-se na Tabela 10.

Tabela 10 – Massa específica e massa unitária dos agregados

ENSAIO	AREIA	BRITA
Massa Específica (kg/m ³)	2.560	2.630
Massa Unitária (kg/m ³)	1.640	1.390

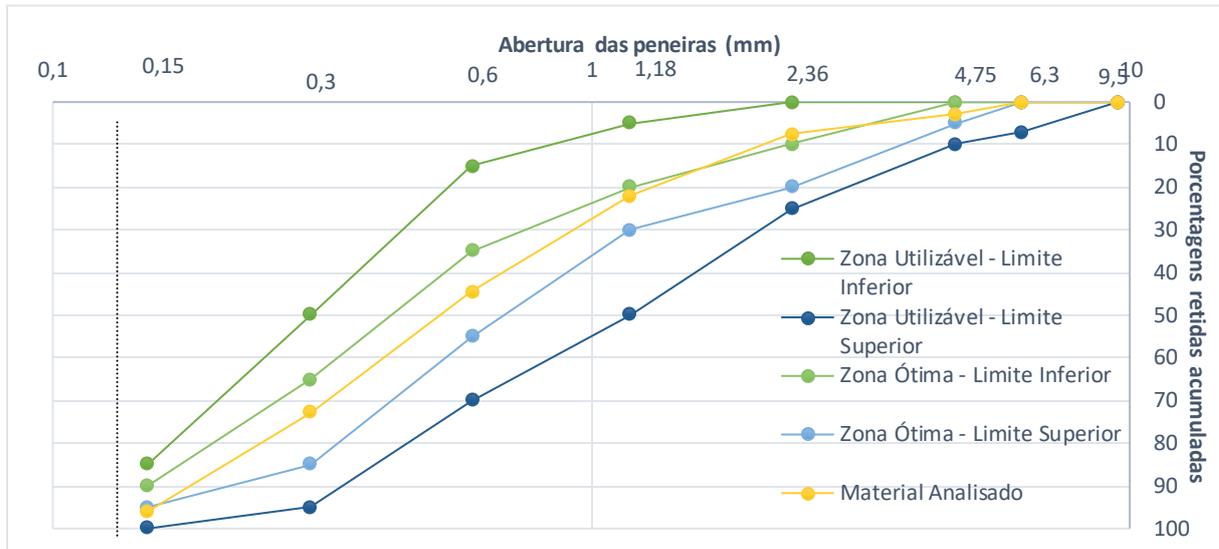
Fonte: Autoria Própria (2019)

Pode-se analisar que, os valores médios encontrados para as massas específica e unitária dos agregados estão de acordo com a faixa normal esperada para serem utilizados na produção dos concretos (MEHTA, MONTEIRO, 2014).

4.1.2. Granulometria

Os resultados da análise granulométrica dos agregados miúdos e graúdos constam na Figura 11 e na Tabela 11 . A partir deste ensaio foram obtidos os resultados dos módulos de finura e as dimensões máximas característica (DMC).

Figura 11 - Curva granulométrica da areia



Fonte: Autoria Própria (2019)

Tabela 11 – Análise granulométrica

ENSAIO	AREIA	BRITA
DMC (mm)	4,8	19,0
Módulo de Finura	2,46	6,81

Fonte: Autoria Própria (2019)

De acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009b), o agregado miúdo é classificado como areia quartzosa média e na zona ótima com relação ao módulo de finura, pois está situado entre 2,20 e 2,90. A brita está entre a faixa de 9,5 a 19mm, podendo ser definida como brita 1.

4.2 Caracterização do cimento

4.2.1. Finura – Método de *Blaine*

Na Tabela 12 está apresentado o valor da área superficial do cimento, obtido pelo método da permeabilidade do ar de *Blaine*.

Tabela 12 – Área superficial *Blaine* do cimento

ENSAIO	MÉTODO DE BLAINE
Cimento CP II-F (cm ² /g)	4.300,7

Fonte: Autoria Própria (2019)

O valor médio da finura do cimento Portland obtido pelo método da permeabilidade do ar está de acordo com os resultados esperados na literatura. Segundo Medeiros (2019), o resultado da área superficial para o cimento se aproxima a 4.442 cm²/g.

4.2.2. Massa Específica Real

A massa específica real do cimento Portland CP II-F está expressa na Tabela 13. Esse valor foi obtido a partir da média de duas determinações, conforme estabelecido por norma.

Tabela 13 – Massa específica real do cimento

ENSAIO	MASSA ESPECÍFICA REAL
Cimento CP II-F (kg/m ³)	3.050

Fonte: Aatoria Própria (2019)

4.3 Caracterização do resíduo

4.3.1. Fluorescência de Raios-X

A análise química realizada pela fluorescência de raios X apresenta as porcentagens de óxidos de todos os componentes presentes nas amostras. Na Tabela 14 constam os resultados.

Tabela 14 - Fluorescência de raios-X

ELEMENTO QUÍMICO	TEOR (%)
K ₂ O	33,88%
SiO ₂	26,82%
CaO	8,43%
Cl	8,19%
Al ₂ O ₃	5,94%
Fe ₂ O ₃	4,54%

ELEMENTO QUÍMICO	TEOR (%)
P ₂ O ₅	3,30%
MgO	2,70%
SO ₃	2,52%
Na ₂ O	1,70%
TiO ₂	1,45%
Demais	0,46%

Fonte: Autoria Própria (2019)

Para um material ser considerado pozolânico segundo a NBR 12653 (ABNT, 2014a), os compostos devem apresentar um somatório das quantidades de sílica (SiO₂), alumina (Al₂O₃) e óxido de ferro (Fe₂O₃), no mínimo de 50% para classe E, com quantidade máxima de SO₃ de 5% e de Na₂O de 1,5%.

Diante disto, a CFB apresentou a quantidade de SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ em 37,3%, o que caracteriza este material como não pozolana comercial, mas não descartando a possibilidade de apresentar atividade pozolânica, pelo fato de conter sílica na composição, que reagindo com o Ca(OH)₂ irá formar o C-S-H, composto diretamente relacionado com a resistência mecânica do concreto. O valor encontrado no FRX diverge com o determinado por Kanning (2013), que foi de 52,7%, provavelmente devido a alguns fatores como: espécies de bananeiras diferentes, local de produção e a forma de calcinação.

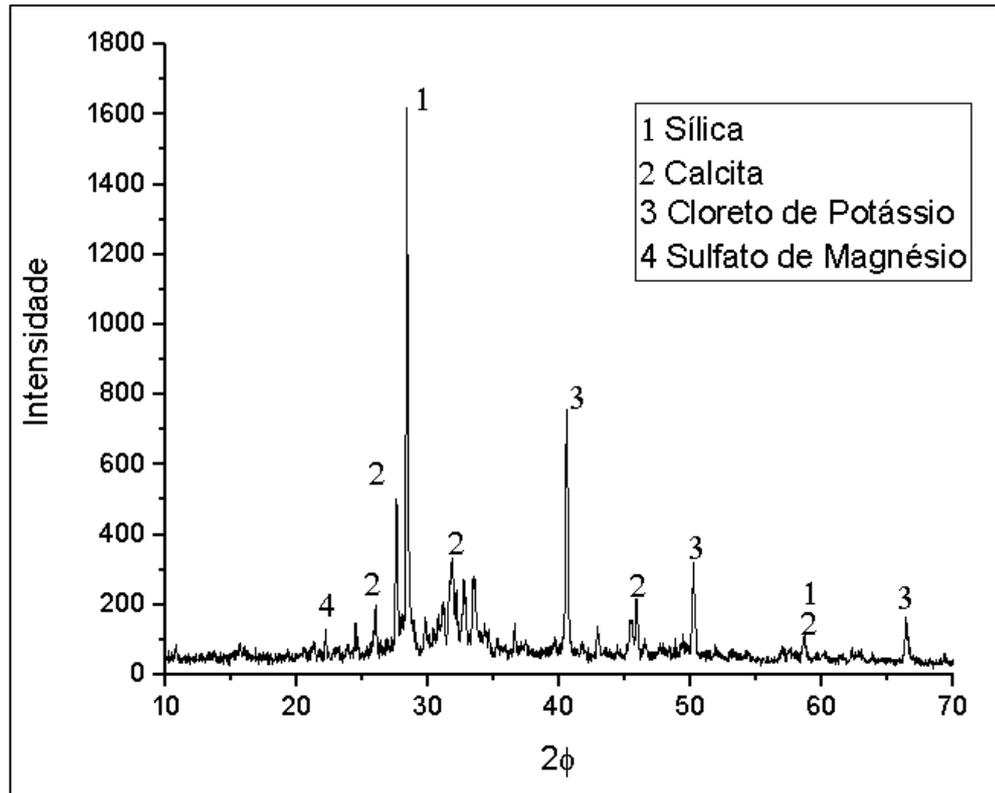
Com relação a quantidade máxima de SO₃ e Na₂O₃, o material estudado apresenta um teor de 2,52% e 1,7%, respectivamente. Sendo assim, o teor do primeiro componente está de acordo com a norma (2,52% < 5%) e o segundo superior (1,7% > 1,5%). Isto significa, que caso tenha em quantidades superiores, estes elementos poderiam causar expansão devido à reação da etringita nas primeiras horas da hidratação do cimento.

Vale salientar que a presença de magnésio em 2,7% no resíduo, pode causar efeitos de degradação nos concretos, que em ambientes agressivos de sulfatos associado com a calcita (CaCO₃) proveniente do resíduo (DRX), podem influenciar na formação de taumasita com concepção do C-S-H. Neste sentido, pode haver formação de etringita devido a uma combinação do composto na solução dos poros do concreto com o C₃A do cimento (MEDEIROS, 2019).

4.3.2. Difração de Raios-X

A difração de raios X permite determinar a composição mineralógica do material. Na Figura 12 é apresentado no difratograma da CFB.

Figura 12 - Difração de raios X



Fonte: Autoria Própria (2019)

Assim, na Figura 13 há evidência de alguns picos que denotam a fase cristalina do material, destacando as fases de quartzo, calcita, fluoreto de magnésio e o flúor. Contudo, os picos de maior destaque são os de quartzo e de calcita, como já era esperado pelo resultado do FRX, com um pequeno halo amorfo entre 25° e 30°, característicos de alguns materiais pozolânicos. Outros picos secundários também foram observados, do fluoreto de magnésio e do flúor, estes surgiram, possivelmente, devido a calcinação do material a altas temperaturas.

Neste contexto, como o material apresenta algumas fases, isso corrobora com uma parcela de cristalinidade desta cinza, o que não seria interessante para um material pozolânico. Apesar disso, mesmo com uma pequena quantidade de material amorfo, o resíduo pode apresentar reações pozolânicas.

4.3.3.Massa Específica Real

Na Tabela 15 é apresentado o valor médio da massa específica real da CFB.

Tabela 15 – Massa específica real do resíduo

ENSAIO	MASSA ESPECÍFICA REAL
Cinza da Folha da Bananeira (kg/m ³)	2.630

Fonte: Autoria Própria (2019)

O valor encontrado da massa específica real do CFB é superior a alguns resíduos agrícolas já pesquisados, como a cinza do bagaço da cana de açúcar (2.400 kg/m³) e cinza da casca do arroz 2.200 (kg/m³) (APRIANTI et al., 2015).

4.3.4.Área Superficial – Método de *Blaine*

O ensaio da finura da CFB foi realizado pelo método de Blaine (permeabilidade do ar). O resultado da área superficial consta na Tabela 16, destacando que o valor alcançado é a média de duas determinações.

Tabela 16 – Área superficial *Blaine* do resíduo

ENSAIO	MÉTODO DE BLAINE
Cinza da Folha da Bananeira (cm ² /g)	5.939,0

Fonte: Autoria Própria (2019)

Este valor da finura da cinza quando comparado a do cimento Portland, denota que o material utilizado na substituição apresenta maior finura ($5.939 > 4.300$). Com o resultado, é evidenciada uma maior quantidade de finos na mistura, podendo necessitar do uso de aditivo plastificante, a fim de manter a mesma consistência do concreto com substituição parcial do cimento.

O valor determinado da área superficial da CFB é bem inferior, quando comparado com o resultado de Kanning (2013), que obteve como resultado o valor de 13.780 cm²/g. A diferença da finura pode ser explicada pela diferença de processamento dos resíduos. Nesta pesquisa a cinza foi passada na peneira 200 (#0,075mm) e Kanning (2013) utilizou a peneira (#0,0045mm) o que influencia diretamente no resultado.

4.3.5. Teor de Matéria Orgânica

A quantidade de matéria orgânica obtida no ensaio está expressa na Tabela 17.

Tabela 17 - Teor de Matéria Orgânica

ENSAIO	TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA (%)
Cinza da Folha da Bananeira (Amostra 1)	0,41
Cinza da Folha da Bananeira (Amostra 2)	0,33
Média	0,37 ± 0,06

Fonte: Autoria Própria (2019)

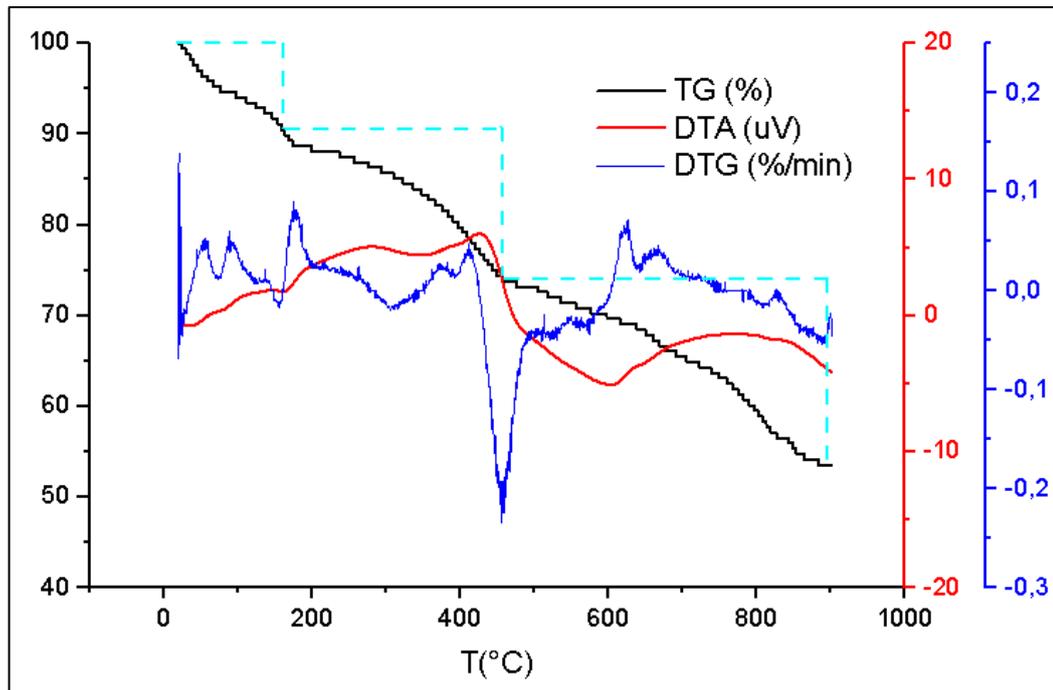
De acordo com Tafarel *et al.* (2016), não é interessante que haja matéria orgânica nos compostos anidros do concreto, pois a presença desta substância pode interferir tanto na hidratação do cimento, quanto no comprometimento da resistência mecânica.

Neste sentido, fazendo um comparativo com a NBR 7211 (ABNT, 2009b) que estabelece o limite de até 10% de matéria orgânica para agregados, o resultado deste teor encontra-se bem inferior, praticamente sem existir na CFB (0,37% < 10,0%).

4.3.6. Análise Termogravimétrica

Segundo Castelló (2009) uma análise térmica serve para acompanhar as modificações do material no decorrer do processo. Foi realizado o ensaio de análise térmica visando determinar a temperatura necessária para que a folha da bananeira seja calcinada. Os resultados da termogravimetria (TG), DTA e Derivada da análise termogravimétrica (DTG), estão expressos na Figura 13.

Figura 13 – Análise térmica TG/DTA/DTG da CFB.



Fonte: Autoria Própria (2019)

Ao analisar o ensaio termogravimétrico (TG) na Figura 14, percebe-se que a folha da bananeira deve passar por uma calcinação até temperatura de aproximadamente 900°C, pois é nessa temperatura, que o material usado para a produção da CFB, tem uma considerável perda de massa.

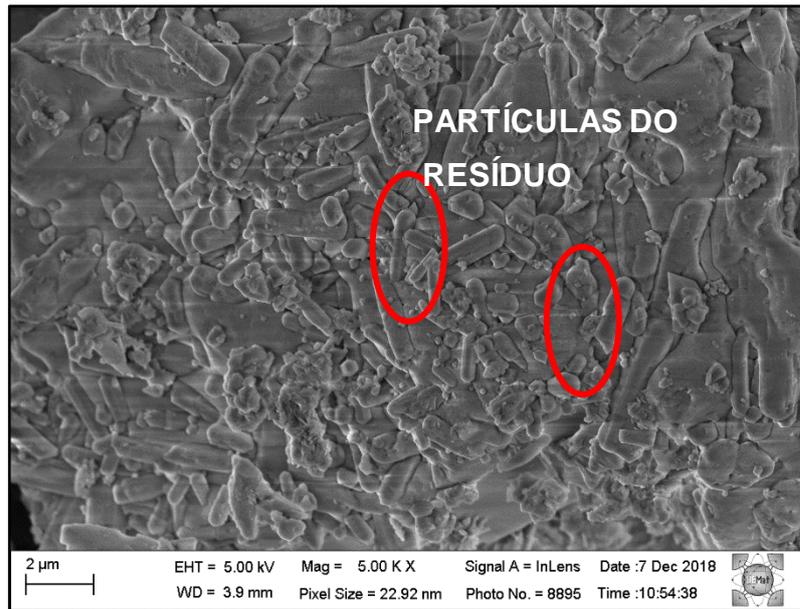
Com relação à derivada do TG (DTG), observa-se que no processo até os 900 °C, há alguns picos que indicam a perda de componentes da folha da bananeira. Estes pontos de inflexão são concentrados entre as temperaturas de 200 °C e de 450°C. De acordo com Fernandes (2011), até os 120° C há perda de umidade, entre 150°C e 420 °C ocorre a degradação da hemicelulose, celulose e lignina; e, acima de 420°C até os 900°C acontece a degradação gradativa e total da lignina.

Ao fazer uma análise térmica diferencial (DTA – Figura 4) do resíduo, este apresenta entalpia tanto endotérmica, quanto exotérmica. Desde o início do ensaio até aproximadamente 450°C, a cinza demonstra comportamento endotérmico, como perda de massa de água e voláteis. Outro ponto de entalpia, é o exotérmico, que proporciona pico em aproximadamente a 600°C, significando uma possível degradação do material.

4.3.7. Análise Microestrutural

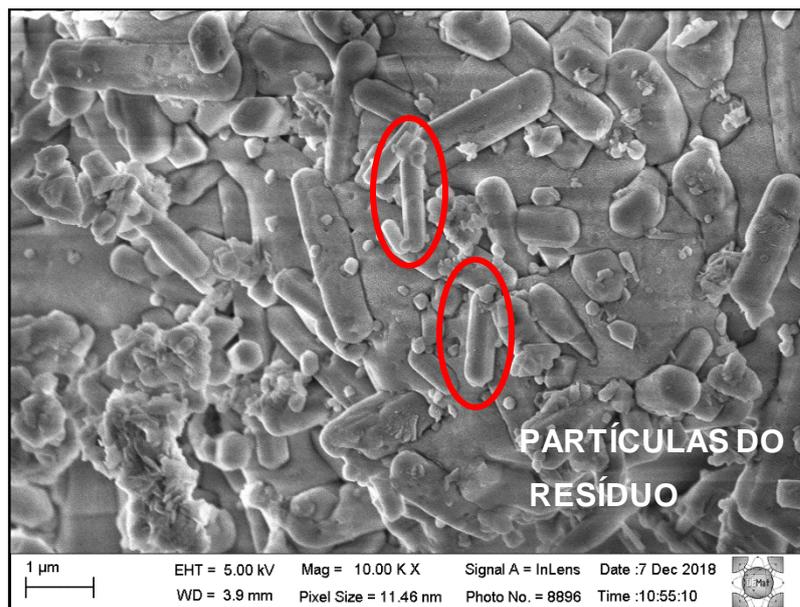
A análise de MEV teve como objetivo identificar as características morfológicas da microestrutura da CFB. Nas Figuras 14 e 15 estão apresentados os MEVs do resíduo com zoom de 5000X e 10000X, respectivamente.

Figura 14 – MEV do Resíduo com 5k X



Fonte: Autoria Própria (2019)

Figura 15 - MEV do Resíduo com 10k X



Fonte: Autoria Própria (2019)

Observa-se na microscopia da CFB que o material possui um formato bem definido (cristalino), esta forma assemelha-se a uma estrutura hexagonal cilíndrica.

4.3.8. Ensaio Chapelle modificado

O ensaio de Chapelle modificado consiste em fazer uma avaliação da atividade pozolânica por meio de uma análise química, em que determina a potencialidade de consumo de óxido de cálcio por grama de material estudado. O resultado deste ensaio está apresentado na Tabela 18.

Tabela 18 – Chapelle modificado

AMOSTRA	VALOR MÉDIO DA ATIVIDADE POZOLÂNICA
Cinza da Folha da Bananeira (mg CaO / grama)	270

Fonte: Autoria Própria (2019)

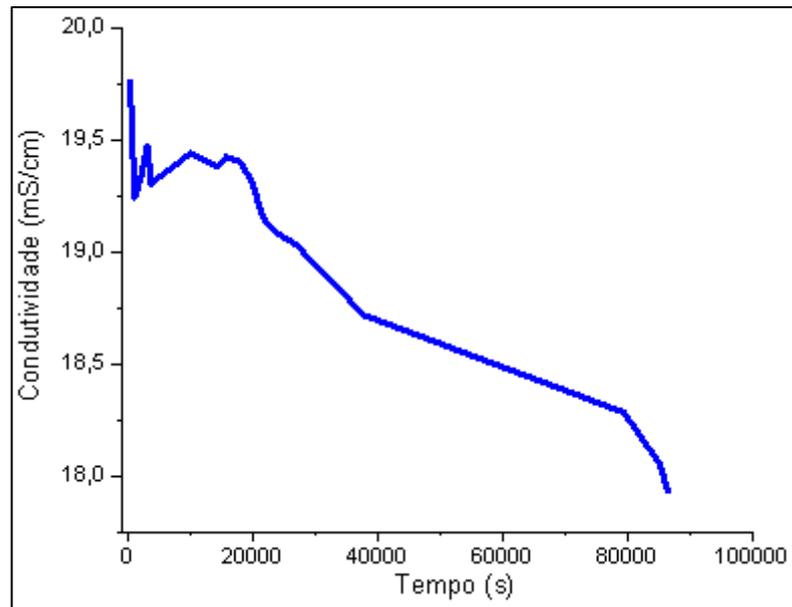
Para o material ser considerado pozolânico, segundo a metodologia de Raverdy *et al.* (1980), o consumo mínimo deve ser de 330 mg de CaO/g da amostra. Neste sentido, o valor determinado é inferior ao que estabelece a norma.

Com isso, pode-se fazer um comparativo com outro material pozolânico, a cinza do bagaço da cana de açúcar, que segundo Quarcioni *et al.* (2015), apresenta consumo de 279 mg de CaO/g de adição. Contudo, o valor determinado por Kanning (2013) para a CFB é de 421 mg de CaO/g de cinza. Esta diferença pode ser entendida pela forma de beneficiamento do resíduo.

4.3.9. Atividade pozolânica pela Condutividade elétrica

Nesta pesquisa foi correlacionada a potencialidade da atividade pozolânica da CFB com a condutividade elétrica, conforme proposto inicialmente por Luxán *et al.* (1989) e adaptado por Silva (2016). O resultado desta análise está expresso na Figura 16.

Figura 16 - Condutividade elétrica



Fonte: Aatoria própria (2019)

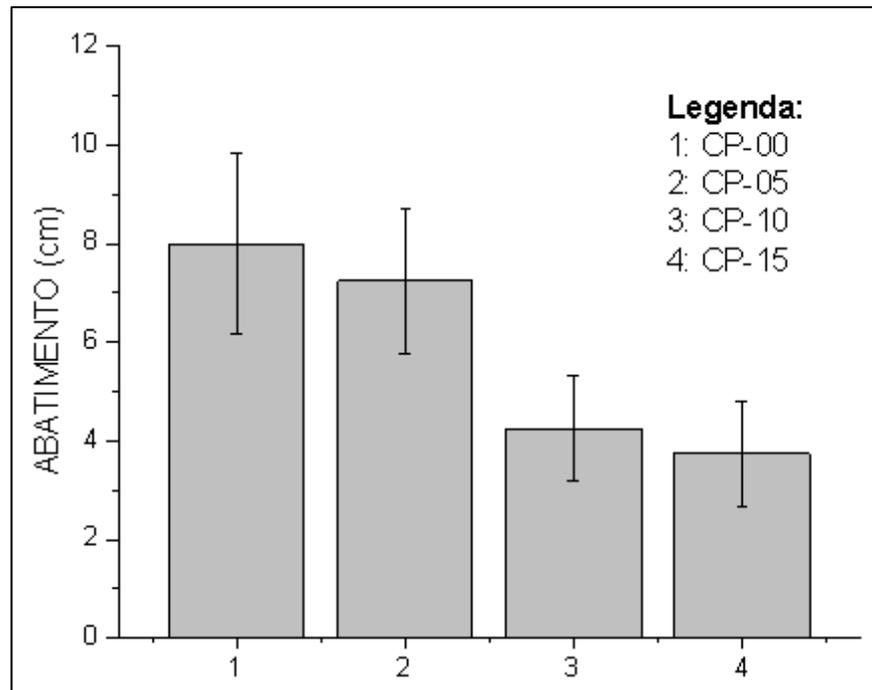
Desta forma, após o tempo de análise pode-se verificar que a diferença de condutividade elétrica entre os tempos final e inicial, foi de 1,7 mS/cm, levando em consideração o tempo estendido do ensaio, conforme adaptação proposta por Silva (2016). Segundo Luxán, Madruga e Saavedra (1989), este seria considerado um material com boa pozolanicidade, pois o valor é maior que 1,2 mS/cm

4.4 Propriedades do concreto no estado fresco

4.4.1. Abatimento de tronco de cone (*Slump Test*)

O ensaio de abatimento de tronco de cone expressa a trabalhabilidade do concreto, com e sem resíduo, por meio de sua consistência. O resultado do *slump test* está expresso na Figura 17.

Figura 17- Slump test



Fonte: Aatoria Própria (2019)

Ao analisar a consistência, nota-se que a trabalhabilidade do concreto diminui com o aumento do teor de substituição, de modo que para CP-05 e CP-10 houve uma redução do slump em aproximadamente 50%, comparado ao CP-00. Este fato é devido a maior finura da CFB, quando comparado ao cimento Portland. Utilizando o método de Blaine constatou-se que o resíduo possui maior área superficial.

Classificando os concretos segundo a NBR 8953 (ABNT, 2015c), pode-se constatar que os CP-00 e CP-05 pertencem a classe S50, enquanto os CP-10 e CP-15 à classe S10. Ainda de acordo com a norma, podem ser aplicados como concretos extrusados, para pavimentos e elementos de fundações.

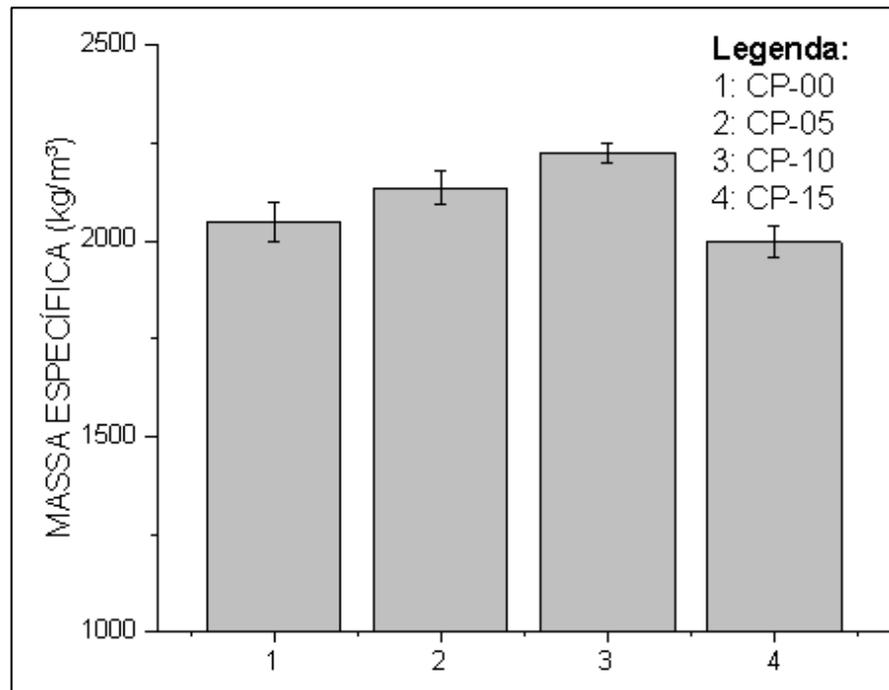
De acordo com Wang *et al.* (2016), quanto mais fino o material, maior a demanda de água, como a relação água/cimento ficou constante, a tendência é que o concreto tenha uma menor consistência.

Quanto à redução da trabalhabilidade, esses resultados assemelham-se a outras pesquisas, como Awoyera *et al.* (2016), que obteve redução do abatimento com a aumento do teor de substituição do cimento por resíduos cerâmicos

4.4.2. Massa Específica

A massa específica no estado fresco foi determinada a partir da NBR 9833 (ABNT, 2009c), com os resultados na Figura 18.

Figura 18 – Massa Específica no estado fresco



Fonte: Autoria Própria (2019)

Verifica-se que os concretos com e sem resíduos estão na faixa normal de massa específica. De acordo com a NBR 8953 (ABNT, 2015c), são considerados normais os concretos com massa específica fresca no intervalo de 2.000 a 2.800 kg/m³.

Além disso, deduz-se que a massa específica do concreto aumenta com o acréscimo do teor de substituição, para CP-00, CP-05 e CP-10 e há uma redução para o CP-15. O cenário observado pode ser explicado com a redução da massa específica, pois no estado fresco é baseada no somatório das massas específicas dos materiais constituintes. Como o resíduo possui massa específica real inferior ao cimento, conseqüentemente, o concreto apresentará massa específica fresca menor.

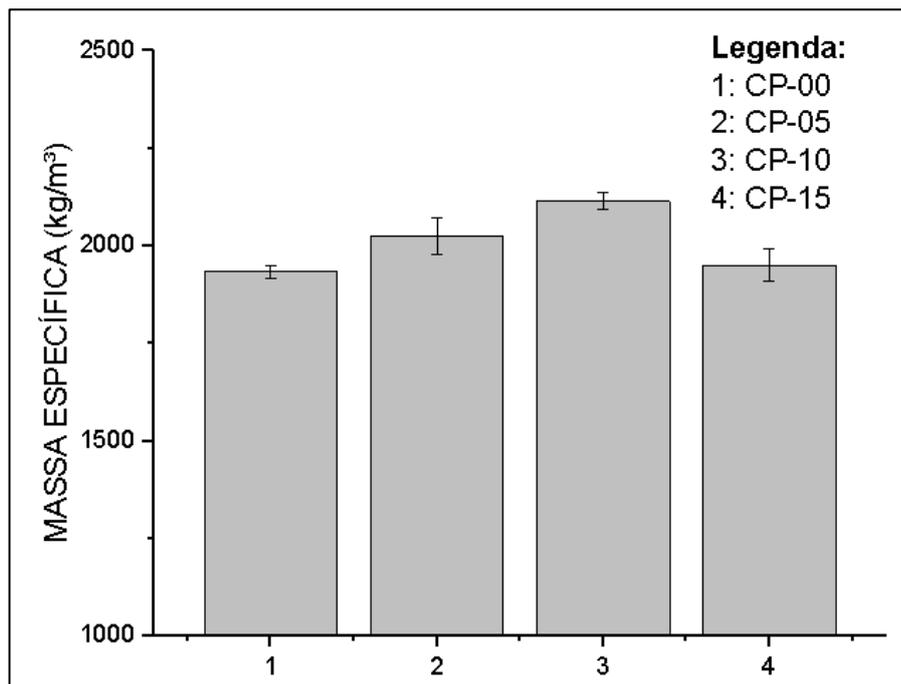
Corroborando o resultado, Zareei *et al.* (2018), também encontrou resultados similares para os concretos com adição da cinza do bagaço da cana de açúcar, havendo redução do abatimento com o aumento do teor de substituição.

4.5 Propriedades do concreto no estado endurecido

4.5.1. Massa Específica

Os resultados das massas específicas dos concretos foram obtidos pela NBR 9778 (ABNT, 2009a), como mostra a Figura 19.

Figura 19 – Massa específica estado endurecido



Fonte: Autoria Própria (2019)

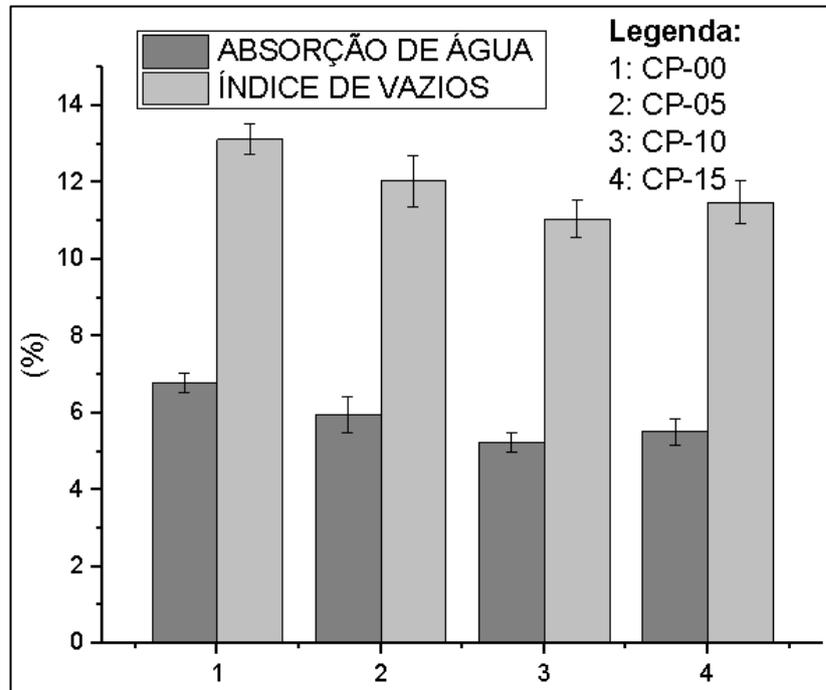
Como evidencia a Figura 20, houve um aumento da massa específica para CP-05, CP-10 comparado ao CP-00. Para o CP-15, quando comparado com o CP-00, ocorreu uma leve redução, ficando praticamente igual ao concreto sem resíduo.

Neste sentido, o aumento da massa específica deve-se a finura da CFB, havendo maior quantidade deste resíduo por unidade de substituição. Contudo, a massa específica do concreto se dá pelo somatório das massas específicas dos materiais, ocorrendo assim, uma redução dos valores para CP-15.

4.5.2. Absorção de água e Índice de Vazios

A absorção de água e o índice de vazios foram determinados de acordo com a NBR 9778 (ABNT, 2005), os resultados destes ensaios estão expostos na Figura 20.

Figura 20 – Absorção de água e índice de vazios



Fonte: Autoria Própria (2019)

Pode-se observar pelos ensaios físicos que os concretos com a substituição da CFB apresentaram menor absorção de água e menor índice de vazios. Como os demais materiais utilizados nos concretos foram os mesmos, esta redução dos valores dá-se pela incorporação da cinza, pois este material tem características de filler, ocorrendo refinamento dos poros dos concretos.

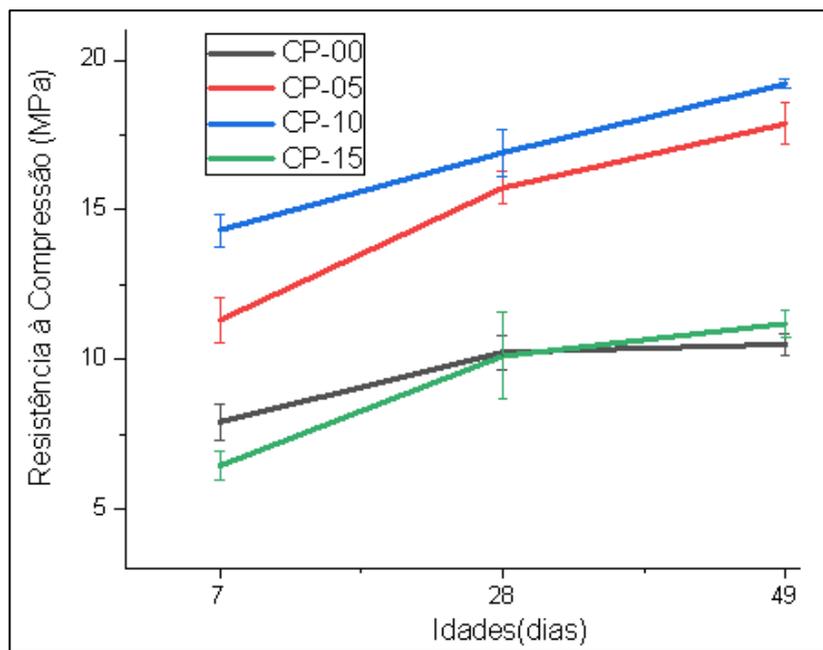
Para classificar esses valores Helene (1983), estabelece limite máximo para a absorção de água de 6,3% e índice de vazios de 15%. Então, os concretos com a substituição da cinza têm valores menores que os limites estabelecidos, sendo caracterizados como normais.

De acordo com Alnahhal *et al.* (2018), com a incorporação da cinza da casca do arroz verificou-se uma redução da absorção de água dos concretos com as adições para idades mais avançadas. A justificativa para o decréscimo da absorção de água se dá pela possível formação do C-S-H adicional bloqueando os microvazios existentes nas redes dos poros.

4.5.3. Resistência a Compressão

Neste tópico serão apresentados os resultados das resistências a compressão dos concretos com e sem CFB. As idades pré-estabelecidas para os ensaios foram 7, 28 e 49 dias, o que atende a uma distribuição normal de datas e são dispostos na Figura 21.

Figura 21 – Resistência à compressão



Fonte: Autoria Própria (2019)

De acordo com os resultados apontados apresentados na Figura 19, as resistências aumentaram com o avanço das idades e com o aumento do teor de substituição para CP-05 e CP-10, com um decréscimo nos valores para CP-15.

Para os concretos aos 7 dias, houve aumento das resistências de 43% e 81% para os CP-05 e CP-10, e redução de 22% para o CP-15, comparado ao CP-00. Aos 28 dias, para os mesmos teores, o aumento de resistência de 53% e 66%, ficando praticamente com resistência similar para CP-15. Com relação à idade de 49 dias, os incrementos de resistências com relação ao CP-00, foram de 70% e 83% e 7%, para os CP-05, CP-10 e CP-15, respectivamente. Assim, nenhum concreto atingiu a resistência de dosagem pré-estabelecida de 20 MPa. Porém, pode-se verificar que houve um incremento de resistência nas demais idades, até os 49 dias.

Com este cenário, o concreto de referência teve incremento de resistência até os 28 dias. Os concretos com resíduos tiveram incrementos até aos 49 dias analisados e aumento de resistência em relação CP-00, não sendo expressivos para o CP-15. O incremento da resistência até 28 dias é considerado normal para o tipo de concreto em estudo, mas uma possível justificativa para o aumento nos valores mecânicos, é o efeito filler, pois o resíduo está presente no concreto desde a mistura, o que ocasionaria refinamento dos poros, e consequentemente, ganhos de resistências

Outro fator observado é o incremento das resistências após 28 dias, que pode indicar um pequeno efeito pozolânico, como comprovado pela determinação da condutividade elétrica, o que caracteriza a CFB como pozolana. Desta forma, as pozolanas com presença de sílica e que possuem elevada área superficial, melhoram o efeito filler e garantem uma boa atividade pozolânica (SAFIUDDIN; WEST; SOUDKI, 2010).

Os acréscimos dos valores das resistências podem ser explicados por Le e Ludwig (2016), mostrando que a finura e a atividade pozolânica das adições, permitem que aconteça uma formação do gel de C-S-H secundário que aumenta a resistência a compressão e a densificação da matriz cimentícia pela formação de uma rede conectada de C-S-H.

Os decréscimos dos valores quando comparados do CP-10 para o CP-15, são justificados devido ao aumento do teor de substituição do cimento pela cinza e a redução do consumo deste aglomerante. Com o aumento dos teores, afeta-se a disponibilidade de componentes químicos, principalmente Si e Ca para as reações de hidratação. Portanto, os efeitos são químicos.

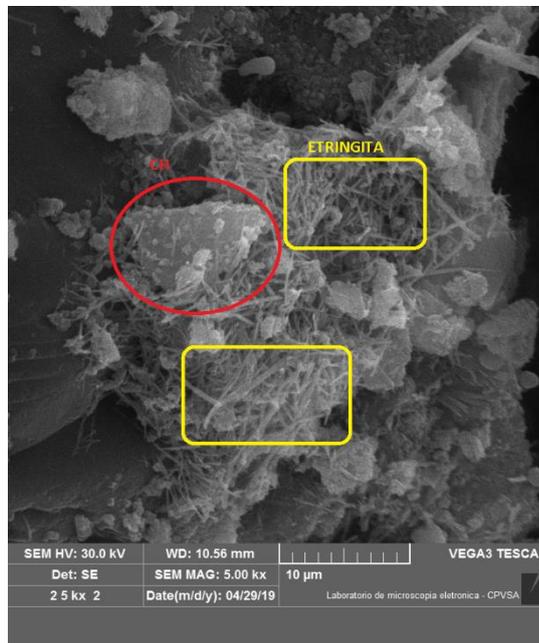
As resistências dos concretos foram inferiores as de dosagem. Tal comportamento é explicado devido a sua produção, pois foi utilizada uma betoneira de 400 litros, havendo incorporação de ar na mistura, podendo ser comprovado pela redução da massa específica destes compósitos.

Portanto, com esses valores das resistências à compressão, os concretos estudados nesta pesquisa podem ser utilizados como peças pré-moldadas não estruturais, sarjetas e alvenaria de vedação, conforme NBR 15116 (ABNT, 2004b).

4.5.4. Microscopia Eletrônica de Varredura

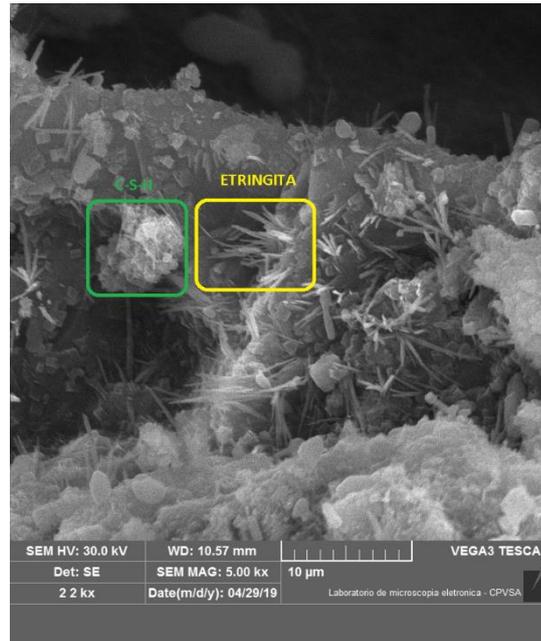
Foram realizadas análises da microestrutura do concreto. As amostras escolhidas foram determinadas a partir do concreto que apresentou maior resistência mecânica para cada composição. Os concretos foram submetidos ao microscópio eletrônico de varredura em amostras com e sem a substituição da CFB, visando comprovar os possíveis resultados encontrados no decorrer da pesquisa, com idade de 28 dias. Nas Figuras 22 e 23 são evidenciadas as microscopias para o CP-00.

Figura 22 – MEV do CP-00.



Fonte: Autoria Própria (2019)

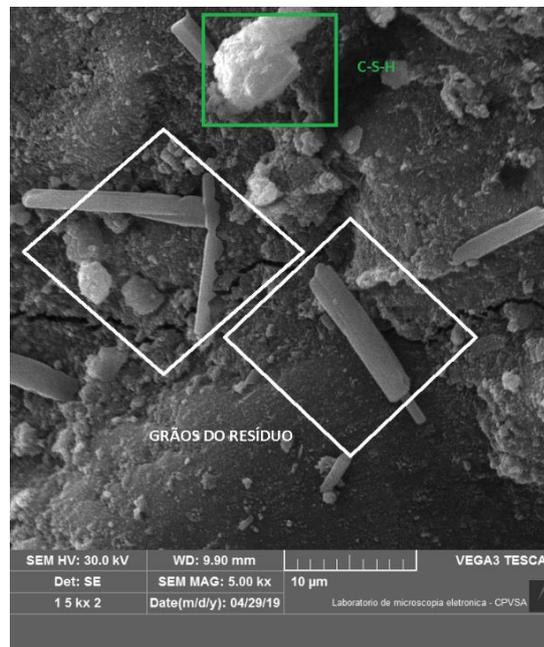
Figura 23 - MEV do CP-00.



Fonte: Autoria Própria (2019)

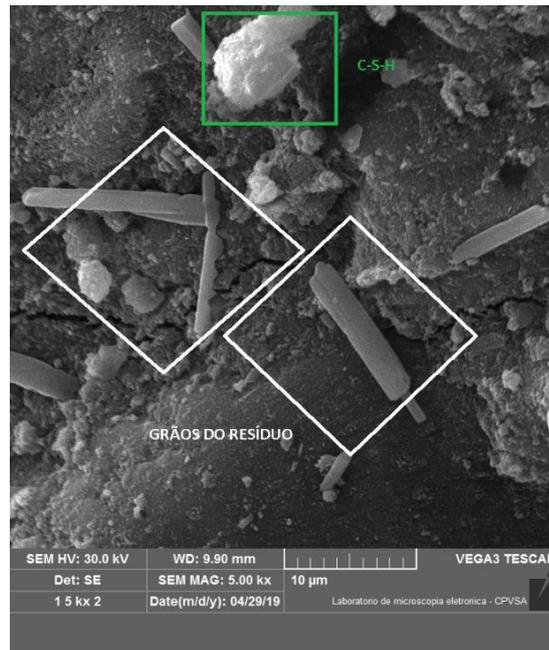
Na Figura 22 pode-se observar algumas fases da pasta de cimento hidratada, como a Hidróxido de cálcio hidratado (CH), Etringita e o Silicato de Cálcio Hidratado (C-S-H). As Figuras 24 e 25 apresentam os MEVs do CP-05.

Figura 24 – MEV do CP-05.



Fonte: Autoria Própria (2019)

Figura 25 - MEV do CP-05.

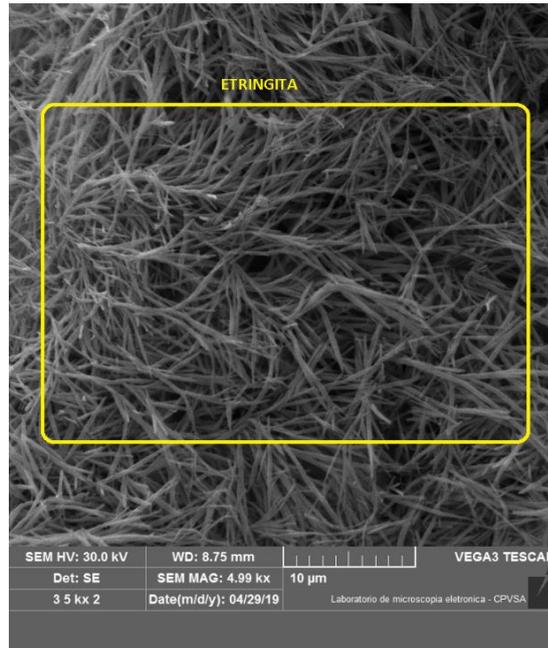


Fonte: Autoria Própria (2019)

Com isso, ao fazer as análises morfológicas, os concretos apresentaram a principal responsável pela resistência mecânica, o C-S-H; e sugere-se pela morfologia a presença de algumas partículas de CFB.

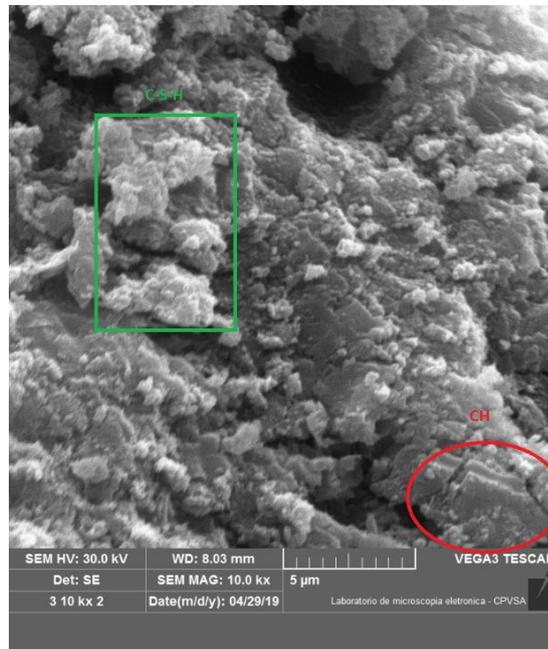
Essas partículas presentes nos concretos com 28 dias justificam que o material também tem efeito filler, não reagindo com os produtos anidros, servindo para o aumento do empacotamento do compósito. Os resultados dos MEVs do CP-10 estão apresentados nas Figuras 26 e 27.

Figura 26 – MEV do CP-10.



Fonte: Autoria Própria (2019)

Figura 27 - MEV do CP-10.



Fonte: Autoria Própria (2019)

Assim, são expostas as formações de alguns compostos da pasta de cimento: a etringita, o CH e o C-S-H, com este último em maior quantidade, devido ao concreto conter mais sílica na composição.

5 CONCLUSÕES

Os resultados da substituição parcial do cimento Portland pela CFB nas misturas de cimento Portland, possibilitou verificar a influência desse resíduo nas propriedades dos concretos no estado fresco e endurecido.

Desta forma, as principais conclusões obtidas nesta dissertação são apresentadas a seguir:

- A massa específica da CFB está dentro da faixa normal para materiais pulverulentos, com uma área específica superior ao cimento, evidenciando uma maior finura na substituição, podendo ser qualificada como um filler.
- A análise de FRX permitiu verificar a composição a composição química da CFB, que influencia no caráter pozolânico do resíduo, nas reações de hidratação, bem como na durabilidade dos concretos, devido a presença de cloro e magnésio.
- A partir do DRX, observou-se algumas fases cristalinas na cinza, como o quartzo e a calcita.
- A termogravimetria mostrou que a temperatura em que o resíduo perde sua maior parte da massa é até os 900 °C.
- Quanto à possibilidade de pozolanicidade, o material não se enquadrou como pozolana pelo ensaio de Chapelle modificado, mesmo apresentando pozolanicidade pelo ensaio de condutividade elétrica.
- Pela análise da microestrutura da cinza, por meio da microscopia eletrônica de varredura, conclui-se que o material apresenta uma característica mista (amorfa e cristalina). A fase cristalina apresenta uma estrutura hexagonal cilíndrica.
- A incorporação do resíduo natural influenciou a consistência do concreto, de maneira que houve uma redução da trabalhabilidade. O que pode justificar tal fato é a cinza apresentar finura superior ao cimento Portland.
- A massa específica do concreto no estado fresco e endurecido ficou enquadrada na faixa característica tendo apresentado um acréscimo para CP-05 e CP-10, havendo redução para o CP-15%.
- Quanto a absorção de água e índice de vazios, os concretos demonstraram valores inferiores ao CP-00. Porém, o CP-15 apresentou valores maiores quando comparado ao CP-10.

- Com relação a resistência a compressão, os concretos apresentaram incremento das resistências com o avanço das idades e com o aumento do teor de substituição, com relação ao concreto referência.
- Nenhum concreto atingiu a resistência de dosagem, especificada em 20 MPa. Este resultado pode ser atribuído à uma produção realizada em uma betoneira com capacidade de mistura maior que a necessária, conseqüentemente, ocorrendo uma incorporação de ar nos concretos.
- Por meio da análise do MEV pôde-se observar os compostos de hidratação na matriz cimentícia, como a do hidróxido de cálcio (CH), etringita e o silicato de cálcio hidratado (C-S-H).

De um modo geral, com base nos resultados determinados nesta pesquisa, pode-se concluir que a cinza da folha da bananeira se apresenta tecnicamente viável para substituição parcial do cimento para o CP-10, dentro do escopo de ensaios abordados na pesquisa.

5.1 Sugestões para pesquisas futuras

Sugere-se para trabalhos futuros:

- Produzir e analisar a cinza por meio da calcinação direta da folha da bananeira.
- Análise da influência do resíduo nas propriedades dos concretos, para substituições não estudadas, ou seja, superiores a 15%.
- Determinação da atividade pozolânica por meio da NBR 5752 (ABNT, 2014b).
- Verificar a influência da substituição na durabilidade para outros teores dos concretos de cimento Portland.
- Conferir a produção dos concretos sem utilização de aditivos plastificantes.
- Examinar a viabilidade econômica do resíduo para seu aproveitamento quanto CFB para concretos.

Referências

ABCP, Associação Brasileira da Cimento Portland. **A versatilidade do cimento brasileiro**. 2018. Disponível em: <<https://www.abcp.org.br/cms/basico-sobre-cimento/tipos/a-versatilidade-do-cimento-brasileiro/>>. Acesso em: 16 nov. 2018.

AITCIN, P.-C. **Concreto de alto desempenho**, São Paulo, PINI, 2000.

ALMEIDA, M. B. B. **Bio-óleo a partir da pirólise rápida, térmica ou catalítica da palha da cana-de-açúcar e seu coprocessamento com gásóleo em craqueamento catalítico**. Dissertação de mestrado. Mestrado em Ciências e tecnologia de processos químicos e bioquímicos, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, 2008

ALNAHHAL, Mohammed Fouad et al. Effect of aggressive chemicals on durability and microstructure properties of concrete containing crushed new concrete aggregate and non-traditional supplementary cementitious materials. **Construction And Building Materials**, [s.l.], v. 163, p.482-495, fev. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.106>.

APRIANTI, E. et al. Supplementary cementitious materials origin from agricultural wastes – A review. **Construction and Building Materials**, v.74, p. 176-187, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, RJ, 2004a.

_____. **NBR 15116**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos. Rio de Janeiro ABNT, 2004b.

_____. **NBR 9778**: argamassa e concreto endurecidos: determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2009a.

_____. **NBR 7211** Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009b.

_____. **NBR 9833**. Concreto Fresco: Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro, 2009c.

_____. **NBR 15895**. Materiais pozolânicos – Determinação do teor de hidróxido de cálcio fixado – Método Chapelle modificado. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 11768**: aditivos químicos para concreto de cimento Portland: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

_____. **NBR 12653**: materiais pozolânicos: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2014a.

_____. **NBR 5752**: Materiais pozolânicos — Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. Rio de Janeiro: ABNT, 2014b.

_____. **NBR 16372**: cimento Portland e outros materiais em pó: determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (método Blaine). Rio de Janeiro: ABNT, 2015a.

_____. **ABNT NBR 5738**: concreto: procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015b.

_____. **NBR 8953**. Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2015c.

_____. **NBR 16605**: cimento Portland e outros materiais em pó: determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

_____. **NBR 5739**: concreto: ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

_____. **NM 67**: concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

_____. **NM 248**: agregados: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____. **NM 45**: agregados: determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

_____. **NM 52**: agregado miúdo: determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2009a.

_____. **NM 53**: agregado graúdo: determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2009b.

ATAÍDE, Celene dos Santos et al. **Aproveitamento do resíduo agrícola da banana (musa balbisiana e da musa sapientum, linneo): AGRICULTURA FAMILIAR COMO FORMA DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**. 2014. Disponível em: <<http://www.prac.ufpb.br/enex/trabalhos/7CCHSADGTAPROBEX2013478.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2018.

AWOYERA, P. O. et al. Characterization of ceramic waste aggregate concrete. **Housing and Building National Research Center**, v. 14, p. 282-287, 2016.

BASTOS, D. C. **Estudo da redução da hidrofiliçidade de filmes biodegradáveis de amido de milho termoplástico com e sem reforço de fibra de bananeira através do tratamento por plasma SF6**. 2010. Tese (Doutor em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Curso em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

BORGES, Gisele Martini; ELISABETH, Wisbeck. **Aproveitamento de resíduos da cultura da banana para a produção de Pleurotus ostreatus, cogumelo comestível e medicinal**. 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/237236679_Aproveitamento_de_residuos_da_cultura_da_banana_para_a_producao_de_Pleurotus_ostreatus_cogumelo_comestivel_e_medicinal>. Acesso em: 17 nov. 2018.

BOSILJKOV, Violeta Bokan. SCC mixes with poorly graded aggregate and high volume of limestone filler. **Cement And Concrete Research**, [s.l.], v. 33, n. 9, p.1279-1286, set. 2003. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0008-8846\(03\)00013-9](http://dx.doi.org/10.1016/s0008-8846(03)00013-9).

CARVALHO, Márcia da Silva et al. The issue of sustainability and disclosure. A case study of selective garbage collection by the Urban Cleaning Service of the city of Rio de Janeiro, Brazil – COMLURB. **Resources, Conservation And Recycling**, [s.l.], v. 55, n. 11, p.1030-1038, set. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.05.015>

CASTELLÓ, M. L. **Estudo da glicerina por Análises Térmicas**. Dissertação de mestrado. Mestrado em Tecnologias de Processos Químicos e Bioquímicos, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, 2009.

CHALEE, W. et al. Utilization of rice husk–bark ash to improve the corrosion resistance of concrete under 5-year exposure in a marine environment. **Cement And Concrete Composites**, [s.l.], v. 37, p.47-53, mar. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.12.007>.

CHOWDHURY, S.; MANIAR, A.; SUGANYA, O.M.. Strength development in concrete with wood ash blended cement and use of soft computing models to predict strength parameters. **Journal Of Advanced Research**, [s.l.], v. 6, n. 6, p.907-913, nov. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jare.2014.08.006>.

CINCOTTO, M. A. **Utilização de subprodutos e resíduos na indústria da construção civil**. Tecnologia das edificações. São Paulo: PINI, 1988.

CORDEIRO, G. C. **Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concreto**. 2006. 445 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

CORDEIRO, G.C. et al. Experimental characterization of binary and ternary blended-cement concretes containing ultrafine residual rice husk and sugar cane bagasse ashes. **Construction And Building Materials**, [s.l.], v. 29, p.641-646, abr. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.08.095>.

COSTA, Mirian Cristina Gomes et al. Profundidade do solo e micro-relevo em bananais irrigados: impactos na nutrição mineral e potencial produtivo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza - Ce, v. 32, n. 3, p.567-578, set. 2011.

DAL MOLIN, D. C. C. **Adições minerais**. In: ISAIA, G. C. (ed). **Concreto: ciência e tecnologia**, São Paulo, IBRACON, 2011, pp.261-309.

DAMATTO JUNIOR, Erval Rafael et al. ALTERAÇÕES EM PROPRIEDADES DE SOLO ADUBADO COM DOSES DE COMPOSTO ORGÂNICO SOB CULTIVO DE BANANEIRA. **Rev. Bras. Frutic**, Jaboticabal - Sp, v. 28, n. 3, p.546-549, dez. 2006.

DAMINELI, B. L. et al. Measuring the eco-efficiency of cement use. **Cement and Concrete Composites**, v. 32, p. 555-562, 2010.

DAMINELI, B.L. **Conceitos para formulação de concretos com baixo consumo de ligantes: controle reológico, empacotamento e dispersão de partículas**. 2013. 265p.Tese (Doutorado). Engenharia Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

DONATO, S. L. R.; SILVA, S. de O.; LUCCA FILHO, O. A.; LIMA, M. B.; DOMINGUES, H.; ALVES, J.da S. Comportamento de variedades e híbridos de bananeira (*Musa spp.*), em dois ciclos de produção no sudoeste da Bahia. **Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal**, v.28, p.139-144, 2006.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária -. **Produção brasileira de banana em 2017**. Disponível em: <http://www.cnpmf.embrapa.br/Base_de_Dados/index_pdf/dados/brasil/banana/b1_banana.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2018.

FELIZARDO, K. R., SALLEH, N., MARTINS, R. M., MENDES, E., MACDONELL, S. G., & MALDONADO, J. C. (2011) **Using Visual Text Mining To Support The Study Selection Activity In Systematic Literature Reviews**. Proceedings of International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement, - ESEM 2011, Banff, AB., pp.77-86.

FERNANDES, Emanuel Ru Ke et al. **Avaliação do potencial para reaproveitamento de resíduos da bananicultura por pirólise**. In: simpósio internacional sobre gerenciamento de resíduos agropecuários e agroindustriais, 2., 2011, Foz do Iguaçu. Anais. Foz do Iguaçu: 2011.

GIAMMUSSO, Salvador Eugenio. **Manual do concreto**. São Paulo: Pini, 1992.

GOMES, P. C. C.; BARROS, A. R. **Métodos de dosagem de concreto autoadensável**. São Paulo: PINI, 2009.

HELENE, P. R. L. “La agresividad del medio y la durabilidad del hormigón”, **Hormigón, AATH**, n.10, pp.25-35, 1983.

ISAIA, G.c.; FURQUIM, P.; GASTALDINI, A.l.g.. A statistical approach of binary and ternary concrete mixtures with mineral additions. **Construction And Building Materials**,

[s.l.], v. 36, p.597-603, nov. 2012. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.06.026>.

JUENGER, M.C.G. et al. Advances in alternative cementitious binders. **Cement And Concrete Research**, [s.l.], v. 41, n. 12, p.1232-1243, dez. 2011. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.11.012>.

KADRI, E.H.; AGGOUN, S.; DE SHUTTER, G.; EZZIANE, K. Combined effect of chemical nature and fineness of mineral powders on Portland cement hydration. **Materials and Structures**. Vol. 43. 2010.

KANNING, Rodrigo C. et al. Banana leaves ashes as pozzolan for concrete and mortar of Portland cement. **Construction And Building Materials**, [s.l.], v. 54, p.460-465, mar. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.12.030>.

KANNING, Rodrigo César. **Caracterização da cinza de folha de bananeira a avaliação do potencial pozolânico**. 2010. 71 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

KANNING, Rodrigo Cezar. **Utilização da cinza de folha de bananeira como adição em argamassas de cimento Portland**. 2013. 172 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

KARIM, Mohammad Razaul; HASHIM, Huzaifa; RAZAK, Hashim Abdul. Assessment of pozzolanic activity of palm oil clinker powder. **Construction And Building Materials**, [s.l.], v. 127, p.335-343, nov. 2016. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.10.002>.

KHANKHAJE, Elnaz et al. On blended cement and geopolymer concretes containing palm oil fuel ash. **Materials & Design**, [s.l.], v. 89, p.385-398, jan. 2016. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2015.09.140>.

KOEHLER, E.; FOWLER, D. ICAR Research Report 108-2F: Aggregates in SelfConsolidating Concrete. **International Center for Aggregates Research**, University of Texas at Austin. 2007.

LE, HA THANH; LUDWIG, HORST-MICHAEL. Effect of rice husk ash and other mineral admixtures on properties of self-compacting high performance concrete. **Materials & Design**, [s.l.], v. 89, p.156-166, jan. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2015.09.120>.

LOCATEL, Celso Donizete. **Uso do território e agricultura no Rio Grande do Norte: materialidades e estruturas**. 2018. Disponível em: <<https://journals.openedition.org/confins/12942>>. Acesso em: 10 nov. 2018.

LUXÁN, M. P.; MADRUGA, F.; SAAVEDRA, J. Rapid evaluation of pozzolanic activity of natural products by conductivity measurement. **Cement and Concrete Research**. (1989)

MEDEIROS, Alisson Gadelha de. **Propriedades de concreto sustentável produzido com pó do polimento do porcelanato e resíduo da scheelita**. 2019. 91 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Manejo de Solo e Água, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoro, 2019.

MESA, L. R. **Estudo da pirólise de cana-de-açúcar integral**. Dissertação de mestrado. Mestrado em Química, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas, 2011.

METHA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 2 ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 5ª Edição. Bookman Editora Ltda. 2016.

OLIVEIRA, João Álison Alves; BRUCKNER, Cláudio Horst; SILVA, Danielle Fabíola Pereira da. **Estado atual da bananicultura em minas gerais**. 2018. Disponível em: <<https://www.todafruta.com.br/wp-content/uploads/2018/05/BANANA.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2018.

PUJARI, Satish; RAMAKRISHNA, A.; PADAL, K.t. Balaram. Comparison of ANN and Regression Analysis for Predicting the Water Absorption Behaviour of Jute and Banana Fiber Reinforced Epoxy composites. **Materials Today: Proceedings**, [s.l.], v. 4, n. 2, p.1626-1633, 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2017.02.001>.

QUARCIONI, V. A., CHOTOLI, F. F., COELHO; A. C. V., et al., “Indirect and direct Chapelle’s methods for the determination of lime consumption in pozzolanic materials”, **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, v. 8, n. 1, pp. 1-7, February 2015.

RAVERDY, M., BRIVOT, F., PAILLERE, A. M., DRON, R. (1980). **Appréciation de l’Activité Pouzzolanique des Constituants Secondaires**. Congrès International de La Chimie des Ciments, 7, Paris. Proceedings. V.3, IV - 36/41.

RODRIGUES, M. S. **Avaliação de cinzas de palha de cana-de-açúcar e sua utilização como adição mineral em matrizes cimentícias**. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas – Faculdade de Engenharia Agrícola, Campina, 2012.

ROSSIGNOLO, João Adriano et al. Improved interfacial transition zone between aggregate-cementitious matrix by addition sugarcane industrial ash. **Cement And Concrete Composites**, [s.l.], v. 80, p.157-167, jul. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.03.011>.

SADEK, D. M.; EL-ATTAR, M. M.; ALI, H. A. Reusing of marble and granite powders in self-compacting concrete for sustainable development, *Journal of Cleaner Production*, Volume 121, May 2016, Pages 19-32.

SAFIUDDIN, Md.; WEST, J.s.; SOUDKI, K.a.. Hardened properties of self-consolidating high performance concrete including rice husk ash. **Cement And Concrete Composites**, [s.l.], v. 32, n. 9, p.708-717, out. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2010.07.006>.

SERNA, H. A. L.; REZENDE, M.M. *Agregados para a Construção Civil*. São Paulo: DNPM, 2013.

SIDDIQUE, Rafat. Utilization of Industrial By-products in Concrete. **Procedia Engineering**, [s.l.], v. 95, p.335-347, 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.192>.

SILVA, Emerson José da. **Utilização do método de condutividade elétrica para análise da pozolanicidade da cinza do bagaço de cana-de-açúcar**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2016.

SILVA, M. J. R.; ANJOS, J. M. C.; JESUS, P. R. R.; SANTOS, G. S.; LIMA, F. B. F.; RIBEIRO, V. G. Produção e caracterização da bananeira ‘Prata Anã’ (AAB) em dois ciclos de produção (Juazeiro, Bahia). **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n.1, p. 122-126, 2013.

SILVA, P.r. da; BRITO, J. de. Experimental study of the porosity and microstructure of self-compacting concrete (SCC) with binary and ternary mixes of fly ash and limestone filler. **Construction And Building Materials**, [s.l.], v. 86, p.101-112, jul. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.110>.

SINGH, S.; KHAN, S.; KHANDELWAL, R.; CHUGH, A.; NAGAR, R. Performance of sustainable concrete containing granite cutting waste, *Journal of Cleaner Production*, Volume 119, Abril 2016, Pag. 86-98.

SOKOLOVICZ, Bóris Casanova. **Microstructure and durability of a chloride prototypes with concrete gray rice husk with and without prior grind**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

SOUZA, Clara Silvestre de. **Desenvolvimento de um geotêxtil revestido com látex como elemento de proteção em superfície aquecida**. 2017. 146 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

SUA-IAM, Gritsada; SOKRAI, Prakasit; MAKUL, Natt. Novel ternary blends of Type 1 Portland cement, residual rice husk ash, and limestone powder to improve the properties of self-compacting concrete. **Construction And Building Materials**, [s.l.], v. 125, p.1028-1034, out. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.09.002>.

TAFAREL, Nathann Francisco et al. Avaliação das propriedades do concreto devido à incorporação de lodo de estação de tratamento de água. **Matéria (rio de Janeiro)**, [s.l.], v. 21, n. 4, p.974-986, dez. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620160004.0090>.

TANGCHIRAPAT, Weerachart; JATURAPITAKKUL, Chai. Strength, drying shrinkage, and water permeability of concrete incorporating ground palm oil fuel ash. **Cement And Concrete Composites**, [s.l.], v. 32, n. 10, p.767-774, nov. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2010.08.008>.

VELAY-LIZANCOS, Mirian et al. Addition of biomass ash in concrete: Effects on E-Modulus, electrical conductivity at early ages and their correlation. **Construction And Building Materials**, [s.l.], v. 157, p.1126-1132, dez. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.179>.

VIDAL, Maria de Fátima. Fruticultura na área de atuação do BNB. **Caderno Setorial Etene**. Brasil, p. 1-13. jul. 2018.

VILLAR\COCIÑA, E. **Modelos cinéticos para la caracterización de materiales puzolánicos y mezclas de moldeo para fundición de hierro**. 168 p. Tese de Doutorado (Doutorado em Ciências Físicas) – Facultad de Matemática, Física y Computación, Universidad Central “Martha Abreu” de las Villas, Santa Clara, Villa Clara, Cuba, 2005.

WANG, Yu et al. Recycling combustion ash for sustainable cement production: A critical review with data-mining and time-series predictive models. **Construction And Building Materials**, [s.l.], v. 123, p. 673-689, out. 2016. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.031>.

WANG, Dehui et al. A review on effects of limestone powder on the properties of concrete. **Construction And Building Materials**, [s.l.], v. 192, p.153-166, dez. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.10.119>.

ZAREEI, Seyed Alireza; AMERI, Farshad; BAHRAMI, Nasrollah. Microstructure, strength, and durability of eco-friendly concretes containing sugarcane bagasse ash. **Construction And Building Materials**, [s.l.], v. 184, p.258-268, set. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.153>.

ZERBINO, R.; GIACCIO, G.; ISAIA, G.c.. Concrete incorporating rice-husk ash without processing. **Construction And Building Materials**, [s.l.], v. 25, n. 1, p.371-378, jan. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.06.016>.

ZHOU, Shuguang et al. Effect of cattle manure ash on strength, workability and water permeability of concrete. **Construction And Building Materials**, [s.l.], v. 84, p.121-127, jun. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.062>.