



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Daniella Nicola

AVALIAÇÃO DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE CIMENTO PORTLAND POR CINZA DA FOLHA DE BANANEIRA NO CONCRETO

Palmas – TO

2019

Daniella Nicola

AVALIAÇÃO DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE CIMENTO PORTLAND POR CINZA
DA FOLHA DE BANANEIRA NO CONCRETO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II
elaborado e apresentado como requisito parcial
para obtenção do título de bacharel em Engenharia
Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas
(CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M.e Roldão Pimentel Araújo
Júnior.

Palmas – TO

2019

Daniella Nicola

AVALIAÇÃO DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE CIMENTO PORTLAND POR CINZA
DA FOLHA DE BANANEIRA NO CONCRETO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II
elaborado e apresentado como requisito parcial
para obtenção do título de bacharel em Engenharia
Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas
(CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M.e Roldão Pimentel Araújo
Júnior.

Aprovado em: 24 / 05 / 2019

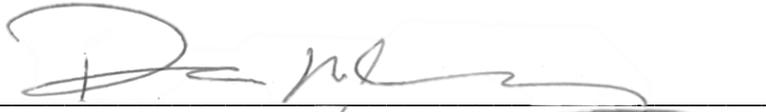
BANCA EXAMINADORA



Prof. M.e Roldão Pimentel Araújo Júnior

Orientador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. Dr. Fábio Henrique de Melo Ribeiro

Avaliador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. Fernando Moreno Suarte Júnior

Avaliador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2019

Dedico este trabalho ao meu pai Valter José Nicola, e a minha mãe Vonete M. Benincá Nicola.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por ter me dado a sabedoria necessária para trilhar esta jornada. Aos meus pais por todo o apoio e fé no meu potencial. Ao meu irmão por ser a minha maior fonte de inspiração. Ao meu namorado Thiago que sempre esteve ao meu lado sendo um grande incentivador deste projeto.

Ao orientador Roldão Pimentel Araújo e aos avaliadores Fábio Henrique de Melo Ribeiro e Fernando Moreno Suarte por todo o apoio e conhecimento compartilhado, e também aos professores Maria Carolina D'Oliveira e Daniel Iglesias pela forma como me inspiraram quanto á vida acadêmica e profissional.

Á equipe do laboratório, Miller e João Pedro, que se comprometeram a ajudar nos procedimentos. Aos meus amigos e toda a rede de professores da instituição que contribuíram para o meu crescimento acadêmico ao longo desses cinco anos.

“Não sabendo que era impossível, foi lá e fez”. (Jean Cocteau)

RESUMO

NICOLA, Daniella. **Avaliação da substituição parcial de cimento Portland por cinza da folha de bananeira no concreto**. 2019. 64 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2019.

No presente trabalho foi investigada a influência da substituição de parte do cimento Portland por cinza da folha de bananeira no concreto com traço 1 : 2,54 : 3,04. Foram estudadas diferentes proporções do uso do material, nos teores de 5%, 10% e 20% em relação à massa de cimento empregada na confecção do concreto referência. O estudo de materiais alternativos que possam diminuir o consumo e, conseqüentemente, a produção de cimento se faz necessário no cenário atual onde há uma demanda ecológica, econômica e sustentável, além de que o resultado positivo desta pesquisa pode propiciar o aproveitamento de um material abundante. A metodologia foi centrada na caracterização dos materiais utilizados utilizando a granulometria e as massa específicas e unitárias. O comportamento do concreto no estado fresco foi avaliado por meio da consistência com o método “*slump test*”, ar incorporado e massa específica. No estado endurecido o material foi caracterizado por técnicas de resistência mecânica à compressão, resistência a tração por compressão diametral, absorção de água e densidade. Com os resultados dos ensaios pode-se concluir que a cinza da folha de bananeira quando adicionada no concreto no teor de 5% apresenta resistência mecânica superior ao concreto de referência.

Palavras-chave: sustentabilidade; adição mineral; concreto; resistência mecânica.

ABSTRACT

NICOLA, Daniella. **Evaluation of the partial replacement of Portland cement by ash of the banana leaf in the concrete**. 2019. 64 p. Course Completion Work (Undergraduate) - Civil Engineering Course, Lutheran University Center of Palmas, Palmas/TO, 2019.

In the present work, the influence of the substitution of part of the Portland cement by banana leaf ash on the concrete with proportion 1: 2,54: 3,04 was investigated. Different proportions of the material were studied, in the contents of 5%, 10% and 20% in relation to the mass of cement used in the confection of the reference concrete. The study of alternative materials that can reduce consumption and, consequently, the production of cement is necessary in the current scenario where there is an ecological, economic and sustainable demand, besides that the positive result of this research can favor the use abundant material. The methodology was centered in the characterization of the materials used using the granulometry and the specific and unit mass. The behavior of the concrete in the fresh state was evaluated through consistency with the slump test method, incorporated air and specific mass. In the hardened state the material was characterized by techniques of mechanical endurance to compression, tensile strength by diametrical compression, water absorption and density. With the results of the tests it can be concluded that the ash of the banana leaf when added to the concrete in the 5% content has superior mechanical endurance to the reference concrete.

Keywords: sustainability; mineral addition; concrete; mechanical endurance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Emissão de dióxido de carbono no mundo devido a produção de cimento.....	14
Figura 2 – Percentuais dos componentes presentes no cimento Portland.....	19
Figura 3 – Resistência à compressão em MPa dos compostos do cimento.....	20
Figura 4 – Velocidade do desprendimento de calor de cimento Portland.....	21
Figura 5 – Representação esquemática da reação entre o pó de cimento e a água.....	23
Figura 6 – Distribuição do tamanho dos poros.....	25
Figura 7 – Representação esquemática da zona de transição e da matriz da pasta de cimento e a água.....	26
Figura 8 – Ausência da zona de transição entre pasta e agregado em um concreto com sílica ativa.....	27
Figura 9 – Fluxograma das etapas metodológicas.....	35
Figura 10 – Análise granulométrica do agregado miúdo.....	37
Figura 11 – Análise granulométrica do agregado graúdo.....	38
Figura 12 – Pré-queima da folha de bananeira.....	41
Figura 13 – Cinza da folha de bananeira após a queima, moagem e peneiramento.....	42
Figura 14 – Índices de consistência.....	47
Figura 15 – Ensaio de abatimento do tronco de cone.....	48
Figura 16 – Teor de ar incorporado no concreto no estado fresco.....	49
Figura 17 – Massa específica do concreto no estado fresco.....	50
Figura 18 – Resistências x Idades de rompimento.....	52
Figura 19 – Média das resistências à tração aos 28 dias.....	53
Figura 20 – Média dos índices de absorção.....	54
Figura 21 – Determinação da densidade do concreto.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Compostos principais do cimento Portland.....	19
Tabela 2 – Distribuição granulométrica do agregado miúdo.....	36
Tabela 3 – Distribuição granulométrica do agregado graúdo.....	37
Tabela 4 – Determinação da massa específica do agregado miúdo.....	39
Tabela 5 – Determinação da massa específica do agregado graúdo.....	39
Tabela 6 – Determinação da massa unitária do agregado miúdo.....	40
Tabela 7 – Determinação da massa unitária do agregado graúdo.....	40
Tabela 8 – Determinação da massa específica da cinza da folha de bananeira.....	42
Tabela 9 – Quantidade de corpos de prova para a caracterização do concreto.....	43
Tabela 10 – Traços em massa.....	46
Tabela 11 – Índices de consistência.....	47
Tabela 12 – Massa específica e teor de ar incorporado do concreto.....	49
Tabela 13 – Avaliação do ensaio pelo coeficiente de variação dentro do ensaio.....	50
Tabela 14 – Resistência à compressão dos corpos de prova.....	51
Tabela 15 – Resistência à tração aos 28 dias.....	53
Tabela 16 – Determinação da absorção por imersão.....	54
Tabela 17 – Determinação da densidade do concreto.....	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	American Concrete Institute
CSI	The Cement Sustainability Initiative
CEB	Comité Euro-International du Béton
CEULP	Centro Universitário Luterano de Palmas
CRTI	Centro Regional para o Desenvolvimento Tecnológico e Inovação
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IAP	Índice de Atividade Pozolânica
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
SNIC	Sindicato Nacional da Indústria do Cimento
ULBRA	Universidade Luterana do Brasil
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development

LISTA DE SÍMBOLOS

μm	Micrómetro
$^{\circ}\text{C}$	Graus Celsius
5%CFB	5% de cinza da folha de bananeira
10%CFB	10% de cinza da folha de bananeira
20%CFB	20% de cinza da folha de bananeira
AlO_3	Alumina
C_2S	Silicato bicálcico
C_3A	Aluminato tricálcico
C_3S	Silicato tricálcico
C_4AF	Ferro aluminato tetracálcico
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	Hidróxido de cálcio
CaO	Cal
C-A-S-H	Etringita
CH	Portlandita
CO_2	Dióxido de carbono
CP II F-32	Cimento Portland composto com filer calcário com resistência à compressão de 32 MPa aos 28 dias
C-S-H	Silicato de cálcio hidratado
Fe_2O_3	Óxido de ferro
J	Joule
MgO	Magnésia
MPa	Megapascal
Na_2O e K_2O	Álcalis
SiO_2	Sílica
SO_3	Sulfato
T	Tonelada

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
1.3 OBJETIVOS	15
1.3.1 Objetivo Geral	15
1.3.2 Objetivos Específicos	15
1.4 JUSTIFICATIVA	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 CONCRETO	18
2.1.1 Cimento Portland	18
2.1.1.1 Hidratação do cimento.....	20
2.1.1.2 Pega e endurecimento	22
2.1.1.3 Porosidade da pasta de cimento	24
2.1.1.4 Zona de transição entre a pasta e o agregado.....	25
2.1.2 Agregados	27
2.1.3 Adições minerais	28
2.1.3.1 Efeitos físicos e químicos da pozolana no concreto	28
2.1.3.2 Utilização da pozolana em concretos	29
2.2 CINZA DA FOLHA DE BANANEIRA	30
2.3 PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO	31
2.4 PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO	32
3 METODOLOGIA	34
3.1 OBJETO DE ESTUDO	34
3.2 MATERIAIS UTILIZADOS	36
3.2.1 Agregado miúdo e graúdo	36
3.2.1.1 Distribuição granulométrica	36
3.2.1.2 Determinação da massa específica	38
3.2.1.3 Determinação da massa unitária	39
3.2.2 Aglomerante	40
3.2.3 Água	40
3.2.4 Adição	41
3.3 CINZA DA FOLHA DE BANANEIRA	41
3.3.1 Produção da cinza	41
3.3.2 Determinação da massa específica	42
3.4 DOSAGEM DO CONCRETO	42

3.4.1	Corpos de prova	43
3.4.2	Cura	43
3.5	CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO	43
3.5.1	Ensaio de consistência do concreto – <i>Slump Test</i>	43
3.5.2	Determinação da massa específica e do teor de ar incorporado	44
3.6	CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO	45
3.6.1	Ensaio de resistência à compressão axial	45
3.6.2	Ensaio de resistência à tração por compressão diametral	45
3.6.3	Determinação da absorção de água por imersão e densidade do concreto	45
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
4.1	DOSAGEM DO CONCRETO	46
4.2	CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO	46
4.2.1	Ensaio de consistência do concreto – <i>Slump Test</i>	46
4.2.2	Determinação da massa específica e do teor de ar incorporado	48
4.3	CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO	50
4.3.1	Determinação da resistência à compressão axial	50
4.3.2	Determinação da resistência à tração por compressão diametral	53
4.3.3	Determinação da absorção de água por imersão e densidade do concreto	54
5	CONCLUSÃO	57
5.1	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	58
	REFERÊNCIAS	59

1 INTRODUÇÃO

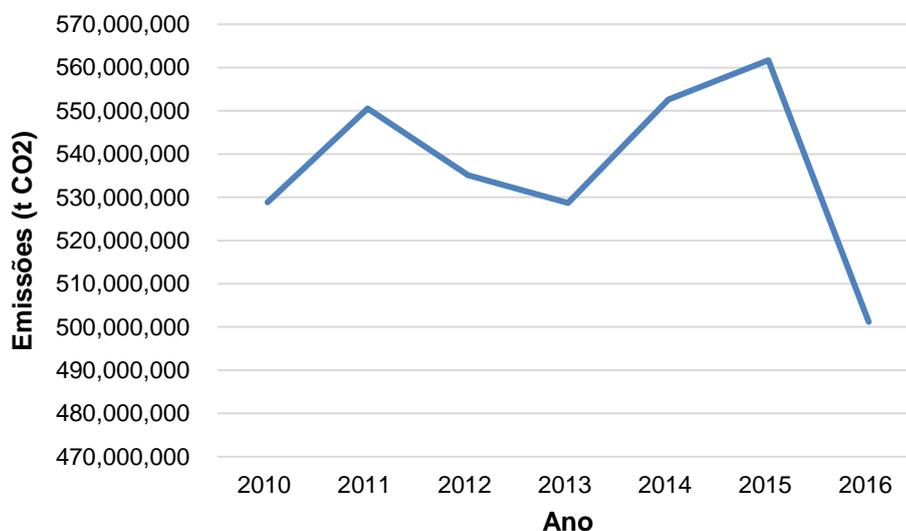
A construção civil é acompanhada de uma grande preocupação concernente a intervenção que a mesma causa ao meio ambiente, sendo notória a necessidade de buscar por inovações que diminuam esse dano (NICOLA et al., 2016). Para isso, tem-se usado de artifícios para buscar esse equilíbrio entre economia e desenvolvimento sustentável, como a utilização de resíduos.

Dentre esses resíduos, destacam-se os materiais pozolânicos, que possuem a propriedade de reatividade quando em contato com compostos do cimento, e assim é possível obter argamassas e concretos econômicos e duráveis, com o propósito de melhorar as características no estado fresco e endurecido (KANNING, 2013).

Paula (2006) dispõe que o uso desses materiais diminui a liberação de dióxido de carbono gerado na produção de materiais cimentícios, assim como, quando incorporados ao cimento Portland alteram ou preservam as características do mesmo e conseqüentemente reduzem a quantidade de clínquer utilizado no concreto e argamassa.

A Figura 1 apresenta um comportamento cíclico que mantém-se elevada mesmo nos anos com menores valores, em relação a quantidade de CO₂ gerada no mundo por ano devido a produção de cimento, com base nos dados divulgados pelo The Cement Sustainability Initiative (CSI, 2017).

Figura 1 – Emissão de dióxido de carbono no mundo devido a produção de cimento.



Fonte: Adaptado de CSI (2017).

Com a possibilidade de aproveitamento de materiais sustentáveis e econômicos, surgiram pesquisas relacionadas à utilização de resíduos para substituição do cimento, que por muitas vezes não têm um descarte adequado, com a cinza da casca de arroz (CHANU; DEVI, 2013), cinza do bagaço da cana-de-açúcar (PATEL; RAIJIWALA, 2015), e a cinza da folha de bananeira (CURADO, 2018).

Estudos realizados anteriormente comprovam que o uso de resíduos no concreto pode causar modificações nas propriedades. Curado (2018) apresenta resultados que indicam a viabilidade de substituição de cimento Portland por cinzas da folha de bananeira em 16% sem comprometer a resistência a compressão. Já Goyal e Tiwari (2016) concluem que é possível a substituição em 20% aumentando a resistência a compressão de 20% a 30% em relação ao traço referência, aos 28 dias. Vale ressaltar que as taxas de substituição muito elevadas podem diminuir a resistência do concreto.

O emprego desses materiais alternativos cresce a cada dia mais, pois podem melhorar o desempenho de concretos e argamassas, desenvolvendo um benefício ecológico e socioeconômico (NEVILLE, 2015). Portanto, o estudo da viabilidade da substituição de cimento por teores de cinza da folha de bananeira se faz necessário, tendo em que vista o aumento da utilização destes resíduos contribui com a sustentabilidade e para o surgimento de uma nova tecnologia.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Estudar a influência da substituição de cimento Portland por cinza da folha de bananeira nas propriedades do concreto no estado fresco e endurecido.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar o teor ótimo da cinza da folha de bananeira para substituição no concreto convencional;
- Comparar os resultados obtidos com os ensaios do traço referência com os traços com a substituição no estado fresco: abatimento do tronco de cone, massa específica e teor de ar incorporado.

- Comparar os resultados obtidos com os ensaios do traço referência com os traços com a substituição no estado endurecido: resistência a compressão axial, resistência a tração por compressão diametral, densidade e absorção de água.

1.4 JUSTIFICATIVA

A construção civil cresce junto com o aumento populacional e com eles vêm a necessidade de buscar meios sustentáveis e econômicos que diminuam os efeitos prejudiciais ao meio ambiente. O concreto é o material mais consumido no mundo depois da água, estando diretamente relacionado com o cimento que de acordo com dados fornecidos pela World Business Council for Sustainable Development (WBCSD, 2018) é responsável pelas emissões globais de CO₂ em cerca de 7%, e ainda deverá aumentar em 4% com estimativas de que a produção global aumente ao menos 23% até 2050.

No Brasil, a produção de cimento mesmo que varie bastante ao longo dos anos continua bastante alavancada, chegando à 57,556 milhões de toneladas em 2016 de acordo com dados do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC, 2017), valor este que emitiu 604 kg de CO₂ por tonelada de cimento (CSI, 2017).

O CO₂ lançado a atmosfera em grande concentração causa mudanças climáticas que estão intimamente ligadas a impactos na saúde humana que estaria vulnerável a epidemias infecciosas; na agricultura que sofreria com inundações, secas e várias outras consequências adversas; e nos habitats (REDDY; ASSENZA, 2008). O Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2007) estima que a temperatura média do planeta irá aumentar, em comparação com 1990, entre 2°C e 4°C até o final deste século.

Entende-se que os impactos gerados abrangem tanto o âmbito ambiental como o social, que de acordo com Maury e Blumenschein (2012) causam discussões por estarem relacionados com o meio natural e com a saúde humana, devido à contaminação no ar, na água ou no solo. Para combater esses problemas gerados pela produção descontrolada de cimento, pesquisadores sugeriram a utilização de materiais de origem natural e artificial suplementares ao cimento, como a cinza da folha de bananeira que é produzida em grande volume e apresenta potencial pozolânico.

A explicação para o grande volume de banana comercializada mundialmente, se deve à possibilidade de produção durante todo o ano, rapidez no amadurecimento e elevado rendimento (FIORAVANÇO, 2003 apud MANICA, 1997). O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2016) apresentou um levantamento em 2016 onde a produção da cultura ultrapassou 6 milhões de toneladas, sendo a banana retentora de 25% da produção nacional, perdendo apenas para a laranja (25,1%).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CONCRETO

Petrucci (1998) define o concreto hidráulico como um material de construção que tem sua constituição dada pela mistura de um aglomerante com um ou mais materiais inertes e água. Quando recém misturado deve oferecer condições de trabalhabilidade que facilite o lançamento nas formas, adquirindo com o tempo coesão e resistência.

O concreto pode ser classificado de acordo com sua massa específica, sendo dividido em três categorias: *densidade normal*, para massa específica na ordem de 2000 kg/m³ e 2800 kg/m³; *concreto leve*, para massa específica menor que 1800 kg/m³; e *concreto pesado*, para massa específica maior que 3200 kg/m³ (LEONHARDT; MÖNNIG, 2008; MEHTA; MONTEIRO, 2014; PETRUCCI, 1998).

O motivo para que seja o material de construção mais utilizado no mundo se deve à excelente resistência à água, a facilidade de obtenção de elementos estruturais de variados tamanhos e formas, e o baixo custo (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

2.1.1 Cimento Portland

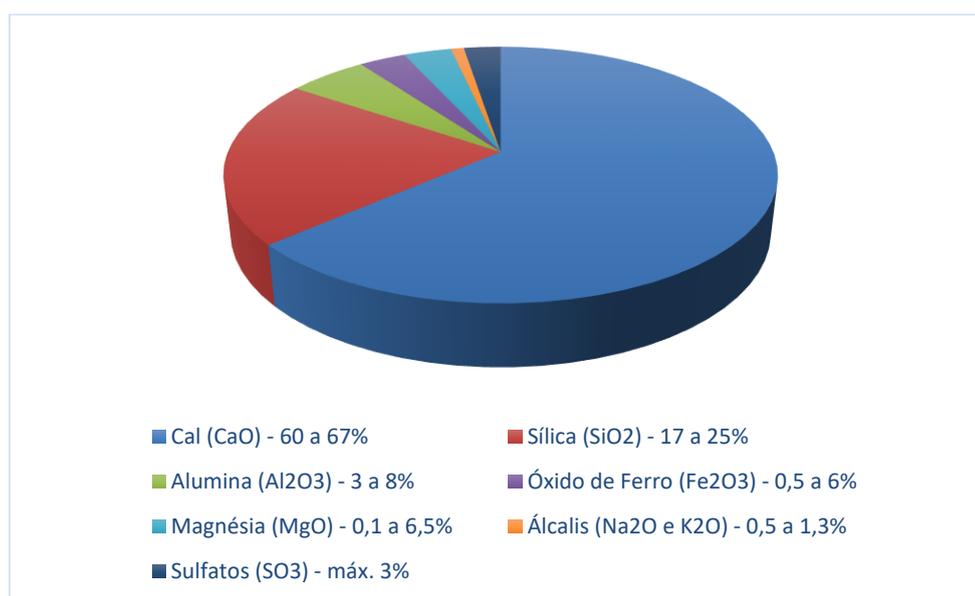
O uso do cimento se remonta desde tempos antigos, quando os gregos e romanos misturaram cal, água, areia e pedras fragmentadas, formando assim o primeiro concreto da história. Como a pasta de cal não endurecia em construções submersas, os romanos trituravam a cal com cinzas vulcânicas, dessa forma a sílica ativa e alumina reagia com a cal, e produzia o cimento conhecido hoje como pozolânico. Outros cimentos foram desenvolvidos ao longo do tempo, sendo patenteado o Cimento Portland em 1824 por John Aspdin (NEVILLE, 2015).

O cimento é um material fino, resultante da moagem do clínquer - que é obtido pelo cozimento até fusão incipiente de mistura de calcário e argila -, constituído de silicatos e aluminatos de cálcio, que ao entrarem em contato com a água, hidratam-se e causam o endurecimento da massa, que pode então apresentar elevada resistência mecânica (ABCP, 2002; BAUER, 2001; NEVILLE, 2015; PETRUCCI, 1998). Depois de endurecido, o cimento Portland apresenta resistência a decomposição mesmo que seja novamente submetido a ação da água, desde que

esteja em condições equilibradas (FACHINI, 2010). A finura e a composição do cimento, aliados com outros constituintes do concreto, exercem influência sobre as propriedades do concreto fresco, como reologia, evolução de calor, e resistência (STUTZMAN, 2004).

Os componentes principais são: cal (CaO), sílica (SiO₂), alumina (Al₂O₃), óxido de ferro (Fe₂O₃), magnésia (MgO), álcalis (Na₂O e K₂O) e sulfatos (SO₃). A cal é o componente essencial, sendo que a proporção em estado livre é muito pequena. Petrucci (1998) demonstrou em seu livro o percentual da presença dos componentes no cimento e estes valores são expressos na figura 2.

Figura 2 – Percentuais dos componentes presentes no cimento Portland.



Fonte: Adaptado de Petrucci (1998).

A composição analítica listada anteriormente é responsável pela formação dos compostos – apresentado na tabela 1 por Neville (2015) - que demonstram grande importância na correlação entre as propriedades finais do cimento e do concreto.

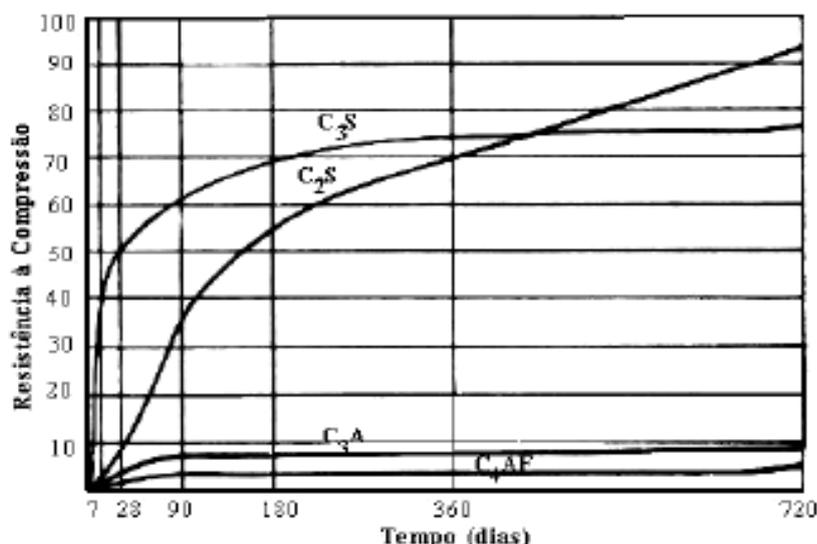
Tabela 1 – Compostos principais do cimento Portland.

Nome do composto	Composição em óxidos	Abreviação
Silicato Tricálcico	3CaO.SiO ₂	C ₃ S
Silicato Bicálcico	2CaO.SiO ₂	C ₂ S
Aluminato Tricálcico	3CaO.Al ₂ O ₃	C ₃ A
Ferro Aluminato Tetracálcico	4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	C ₄ AF

Fonte: Neville (2015).

Os quatro compostos principais listados anteriormente contribuem agindo de formas diferentes nas propriedades do cimento. Relacionando as ações a resistência, o C_3S é fundamental nas primeiras idades, enquanto o C_2S em idades maiores. Os aluminatos são responsáveis pelo calor desenvolvido pelas reações entre o cimento e a água, principalmente o C_3A . Petrucci (1998) apresentou o comportamento dos compostos utilizando a figura 3.

Figura 3 – Resistência à compressão em MPa dos compostos do cimento.



Fonte: Petrucci (1998).

2.1.1.1 Hidratação do cimento

Os compostos que constituem o cimento possuem reações que dão origem ao processo de endurecimento, entretanto, convém primeiro estudar como se dão essas reações. Durante a hidratação do cimento, os compostos anidros mais solúveis são transformados em compostos hidratados menos solúveis. O C_3S libera uma quantidade média de calor, o que faz com que a hidratação comece em poucas horas, atuando na resistência em todas as idades; O C_2S reage lentamente com a água, liberando uma pequena porção de calor, e oferecendo um ganho de resistência em idades mais avançadas; O C_3A contribui especialmente no ganho de resistência no primeiro dia, devido à sua rápida reação e a grande quantidade de calor emitido que quase chega à secar a massa; O C_4AF exerce baixa influência nas propriedades da

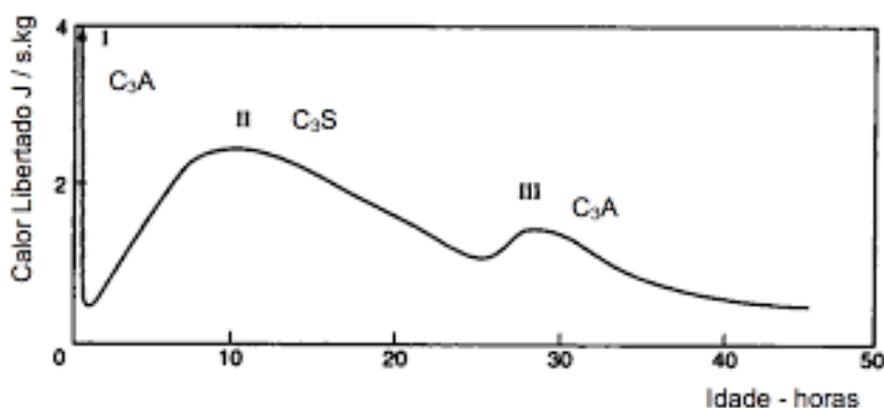
pasta e não contribui para a resistência, sendo apenas um composto de reação rápida (BAUER, 2001; PETRUCCI, 1998).

Em meio a esse processo aparecem cristais de hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), o único composto solúvel em água, sendo o principal motivo da degradação do cimento em estado endurecido. Para se obter maiores resistências é necessário realizar uma melhor moagem ou aumentar a quantidade de C_3S , mas isto ocasionaria um aumento de hidróxido, resultando em uma menor estabilidade química (MEHTA, P. KUMAR; MONTEIRO, 2014).

A quantidade de C_3A presente no cimento é relativamente pequena, mas a sua reação com a água é brusca, gerando um endurecimento da pasta, conhecido como *pega instantânea*. Para bloquear esse efeito é adicionado gesso ao clínquer, observando-se que é necessário um teor ótimo, para que não ocorra uma expansão e conseqüentemente desagregação da pasta de cimento. Essa adição, quando bem dosada, irá reduzir o tamanho dos poros da pasta e aumentará a resistência (PETRUCCI, 1998).

Neville (2015) dispõe que a velocidade de hidratação do cimento não é constante, dado que a liberação inicial rápida de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ deixa uma camada externa de silicato de cálcio hidratado que dificulta a hidratação subsequente, deixando-a mais lenta. A figura 4 apresentada por Neville (2015) exemplifica a velocidade de liberação de calor durante a hidratação.

Figura 4 – Velocidade de desprendimento de calor de cimento Portland.



Fonte: Neville (2015).

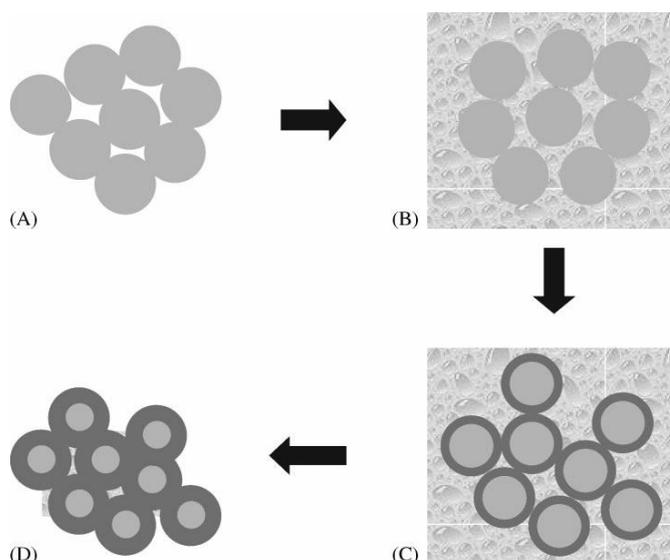
Nota-se que no pico inicial a liberação é rápida e curta, sendo o C_3A o principal envolvido. Após essa liberação rápida, é notável um período onde a velocidade é bem pequena, sendo este denominado como *período de latência*. Após esse período, a camada superficial se rompe com o crescimento de cristais de hidróxido de cálcio, e a velocidade aumenta devagar proporcionando o contato dos grãos individuais, e assim ocorre a pega. No segundo pico a velocidade de hidratação é reduzida por um longo período, sendo controlada pela difusão através dos poros. O terceiro pico ocorre na maioria dos cimentos, ocasionado pela reação do C_3A após o esgotamento do gesso.

2.1.1.2 Pega e endurecimento

Lécolier et al. (2007) dispõe que dois importantes eventos acontecem durante a hidratação do cimento. O primeiro é a gelificação da pasta que ocorre imediatamente após o contato com a água, apresentando uma resistência mecânica muito baixa. O segundo é a fase de pega e endurecimento da pasta que é uma chave importante para garantir a integridade ao longo prazo, após a microestrutura se apresentar desenvolvida.

As reações de pega e endurecimento do cimento se apresentam de forma complexa em vista de ser uma mistura heterogênea resultante da união de vários compostos, que ao se hidratarem tornam-se responsáveis pelo surgimento de compostos hidratados que caracterizam a propriedade aglomerante do cimento. A figura 5 apresentada por Lesko et al. (2001) demonstra a reação esquemática entre a água e o cimento.

Figura 5 – Representação esquemática da reação entre o pó de cimento e a água.



Fonte: Lesko et al. (2001).

Quando o pó de cimento (A) entra em contato com a água, ocorre a dissolução parcial (B) antes que o C-S-H precipite (C) na superfície do pó de cimento. No arranjo sólido (D), o aumento da área de contato entre os grãos é responsável pelo aumento da resistência mecânica.

Após um determinado tempo a mistura de cimento e água começa a perder plasticidade, mudando de um estado fluído para um estado rígido (NEVILLE, 2015), determinando-se assim o chamado tempo de início de pega. Esse acontecimento é evidenciado através do aumento da temperatura e da viscosidade da pasta. Ao fim desse processo, quando a pasta para de ser deformável e se torna um bloco rígido, se dá o nome de fim de pega (COSTA et al., 2000). A massa continua a obter coesão e resistência, surgindo então a fase de endurecimento.

O conhecimento entre o tempo de início e fim de pega é de suma importância para o controle tecnológico da obra, para se ter uma ideia de qual será o tempo disponível para realizar o transporte, lançamento e adensamento da argamassa e do concreto. Há fatores que interferem diretamente na duração da pega, como a moagem que quanto mais fina for, mais rápida acontecerá; e a quantidade de água empregada, que é inversamente proporcional ao tempo de pega (PETRUCCI, 1998).

2.1.1.3 Porosidade da pasta de cimento

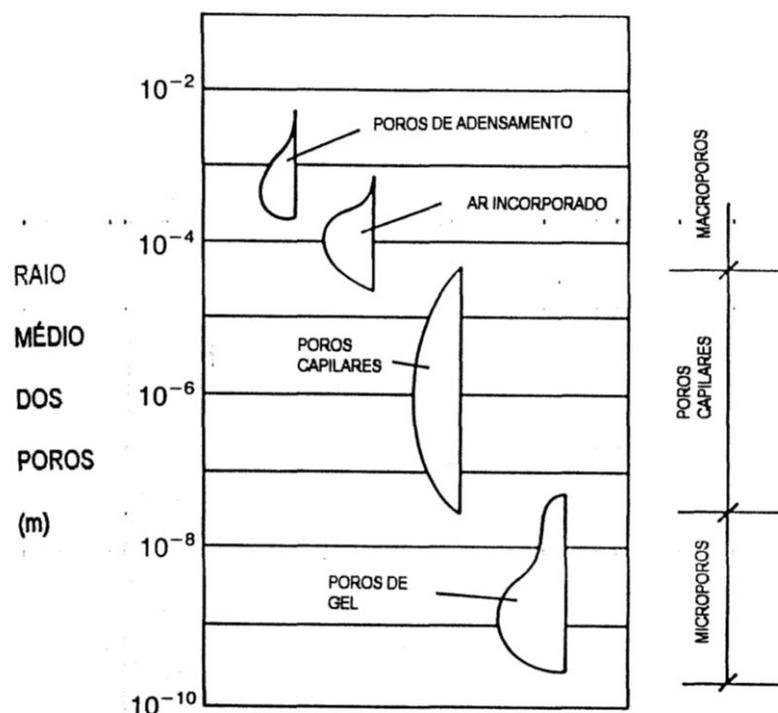
O concreto é um material sólido, mas sua estrutura porosa não pode ser descartada. A pasta de cimento mantém seu volume aparente constante após a pega, e em qualquer que seja o estágio da hidratação existem produtos hidratados, cristais de hidróxido de cálcio, cimento não hidratado, espaços que eram preenchidos por água na pasta fresca, ar aprisionado ou ar incorporado. Boa parte desses poros está conectado ao exterior, mas alguns se tornam inacessíveis a água (NEVILLE, 2015).

Esses poros são o defeito mais importante da microestrutura e variam em função do tamanho, ordenação e volume dos vazios, sob influência da relação água/cimento. Por conseguinte, é necessário entender que o significado de porosidade diverge do significado de permeabilidade (CAVALCANTI, 2010). A porosidade é o volume total da pasta que é ocupado pelos poros, enquanto a permeabilidade é a capacidade de permitir a passagem de água pelo bloco. Neville (2015) afirma que se a porosidade for alta, mas os seus poros não forem interligados, a permeabilidade é impedida devido a descontinuidade, se tornando assim baixa. Mas se os poros forem conectados, a permeabilidade passará a ser alta.

A classificação desses poros é feita de acordo com o seu tamanho, e o Comité Euro-International du Béton (CEB, 1992) apresenta a classificação proposta por Setzer que engloba três classes : microporos, poros capilares e macroporos, conforme a figura 6.

Os *microporos* são espaços vazios entre os produtos de hidratação que são praticamente inacessíveis. Devido a essa inacessibilidade, a influência que exercem acerca da durabilidade é mínima. Os *poros capilares* surgem devido ao excesso de água inicial, provocando o afastamento entre os grãos de cimento antes da hidratação. Devido ao efeito de sucção capilar esses poros são capazes de absorver e manter água, tendo desta forma grande influência na determinação da agressividade, reduzindo a resistência do concreto. Os *macroporos* são característicos de vazios formados por ar aprisionado ou ar incorporado, possuindo formatos esféricos bem maiores que os demais poros, podendo ser facilmente invadidos por água sob pressão, e também afetam a durabilidade do concreto (CAVALCANTI, 2010; CEB, 1992; NEVILLE, 2015; SILVA FILHO, 1994).

Figura 6 – Distribuição do tamanho dos poros.

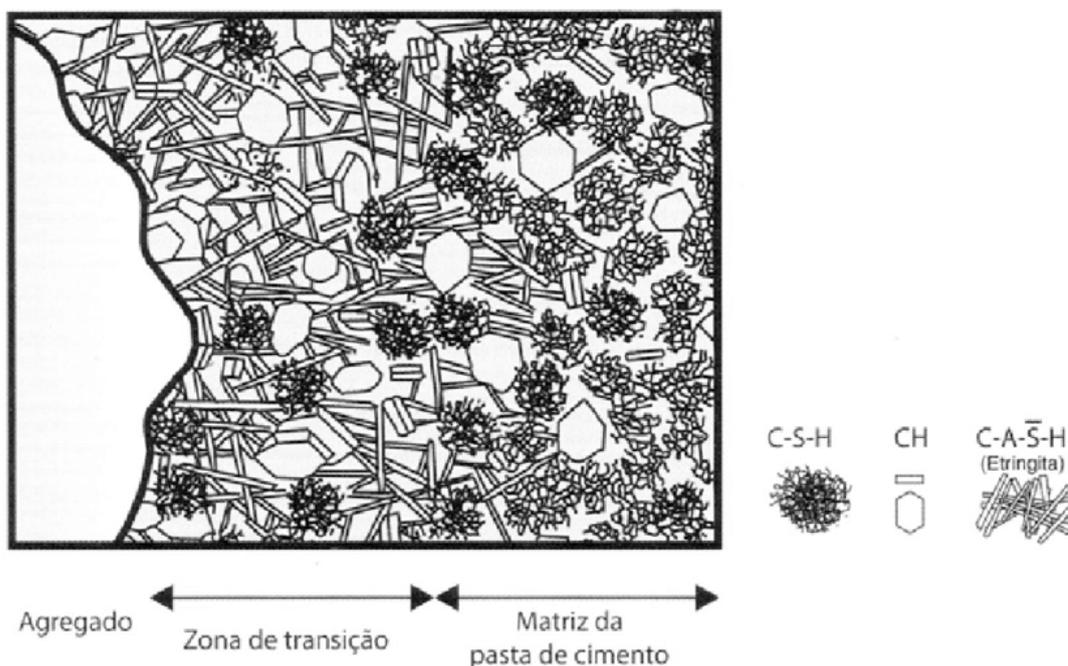


Fonte: CEB (1992).

2.1.1.4 Zona de transição entre a pasta e o agregado

Mehta e Monteiro (2014), discorrem que a zona de transição é o elo mais fraco da corrente, limitando a resistência do concreto devido a presença de vazios ser mais significativo na sua interface. Também é dependente de outras características, como consumo de cimento, distribuição e tamanho dos agregados, relação água/cimento, e fatores térmicos. Se a dosagem apresentar uma distribuição granulométrica ineficiente, filmes de água podem ser formados em torno do agregado, deixando a zona de transição suscetível a fissurações antes mesmo do concreto ser submetido a um carregamento. A figura 7 apresentada na mesma obra de Mehta e Monteiro traz uma representação esquemática da zona de transição.

Figura 7 – Representação esquemática da zona de transição e da matriz da pasta de cimento no concreto.



Fonte: Mehta e Monteiro (2014).

O motivo para haver essa diferenciação na microestrutura do concreto se deve as partículas de cimento seco que são incapazes de se dispor juntamente das partículas dos agregados, possibilitando a existência de vazios que tornam essa camada porosa. Pode-se afirmar que a relação água/cimento na zona de transição é maior que em qualquer outro ponto devido ao acúmulo de água em torno do agregado. E a porosidade é explicada pela presença de grandes cristais de hidróxido de cálcio (NEVILLE, 2015).

Para combater ou ao menos minimizar esse efeito é feita a substituição de porcentagens de cimento por pozolanas que controlam a formação de cristais de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, aumentando a densidade da pasta, o que diminuiria a propagação de fissuras na zona de transição. Aïtcin (2000) ilustra esse acontecimento na figura 8.

Figura 8 – Ausência da zona de transição entre pasta e agregado em um concreto com sílica ativa.



Fonte: Aïtcin (2000).

2.1.2 Agregados

O agregado é definido como um material granular, geralmente inerte, sem volume e forma definidos, e largamente utilizado na confecção de argamassas e concretos. Estes desempenham funções benéficas que não prejudicam a resistência aos esforços mecânicos, pois os agregados de boa qualidade são mais resistentes que a pasta de aglomerante (PETRUCCI, 1998).

Os agregados são classificados como naturais, quando já são encontrados na natureza sob forma de agregados; e artificiais, quando necessitam de aperfeiçoamento pelas mãos do homem (NICOLA et al., 2016). Também são subdivididos de acordo com sua massa específica aparente, em agregados leves, normais e pesados.

A classificação, segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009), mais relevante em virtude da aplicação no concreto, é a que divide de acordo com o tamanho, em agregado miúdo e agregado graúdo. O agregado miúdo é definido como o material passante na peneira de malha 4,8 milímetros, enquanto o agregado graúdo é definido como o material retido na peneira de malha 4,8 milímetros.

Para o uso desses materiais devem ser respeitados alguns índices de boa qualidade. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) exige que:

Os agregados devem ser compostos por grãos de minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, e não devem conter substâncias de natureza e em quantidade que possam afetar a hidratação e o endurecimento do cimento, a proteção da armadura contra a corrosão, a durabilidade ou, quando for requerido, o aspecto visual externo do concreto. (ABNT NBR 7211, 2009, p. 11)

2.1.3 Adições minerais

As adições são materiais silicosos finamente divididos utilizadas como complementos ou como substituição ao cimento, sendo classificadas em função de aspectos ligados a composição química, morfológica, mineralógica, e condicionada ao tipo de atuação físico-química no concreto. Essa classificação é dividida em material cimentante, pozolânicas e outras são tanto cimentantes quanto pozolânicas (BOTASSI et al., 2008).

Essas adições muitas vezes são de origem industrial ou agroindustrial e não recebem descarte adequado, o que gera desperdício e problemas ambientais. Sempre que esse material é aproveitado em forma de substituição parcial ao cimento Portland, há uma considerável economia de custo e energia. As adições são materiais adquiridos de forma natural quando o processamento tem única e exclusiva função de produzir a pozolana, ou em forma de subprodutos, que se originaram após o processamento de produtos primários podendo exigir algum tratamento antes de ser usado (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Os materiais naturais são pozolanas comuns derivadas de rochas e minerais vulcânicos que apresentam uma textura áspera, sendo subdivididos em vidros vulcânicos, tufo vulcânicos, argilas ou folhetos calcinados e terras diatomáceas. As terras diatomáceas podem causar problemas devido à sua porosidade e demandam alto teor de água (NEVILLE, 2015).

2.1.3.1 Efeitos físicos e químicos da pozolana no concreto

Concernente à ação química, as pozolanas reagem com o hidróxido de cálcio produzido durante a hidratação do cimento, e como resultado são produzidas fases químicas com maior estabilidade e poder aglomerante, sendo os principais responsáveis pela resistência das pastas de cimento hidratadas (PETRUCCI, 1998). O uso de pozolanas faz com que o concreto se torne mais resistente ao ataque ácido e ao ataque por sulfatos, devido a capacidade de consumir quase que completamente o CH produzido na hidratação do cimento transformando-o em silicato de cálcio hidratado (C-S-H) (CARMO; PORTELLA, 2008).

Quanto à ação física, a sua adição pode causar um aumento da massa específica da mistura pelo efeito filer (AÏTCIN, 2000), e também tornar mais densa a

zona de transição entre pasta e agregado devido à interferência na movimentação das partículas de água livre em relação aos sólidos da mistura.

No estado fresco sabe-se que as misturas tendem a exsudar ou segregar, e a incorporação de partículas finas normalmente melhoram a trabalhabilidade e o aspecto reológico da pasta devido a redução do volume e tamanho de vazios. No estado endurecido a ação química e física das pozolanas de alta reatividade proporciona a melhoria da resistência à compressão e a durabilidade do concreto devido, principalmente, ao processo de refinamento dos poros e a redução pela metade do calor médio produzido pelo cimento durante a hidratação (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

2.1.3.2 Utilização da pozolana em concretos

Mehta e Monteiro (2014) apontaram a partir da descrição da reação pozolânica, os possíveis benefícios a serem obtidos no concreto, que incluem melhor resistência à fissuração térmica devido ao fato do calor de hidratação ser baixo, aumento da resistência mecânica, impermeabilidade causada pela diminuição da abertura dos poros, fortalecimento da zona de transição na interface, e conseqüentemente uma durabilidade maior relacionada ao ataque por sulfato e à expansão pela reação álcali-agregado.

Ao mesmo passo que a finura da pozolana traz benefícios, quando mal dosada pode ter efeito contrário e causar retração. Nos primeiros instantes a pozolana age como material de preenchimento, e logo após reage removendo o CH conferindo maior homogeneidade (AITCIN, 2000).

As adições advindas de subprodutos mais comumente usadas estão listadas abaixo:

- Cinza volante: é cimentante e pozolânica quando apresenta alto teor de cálcio, e pozolana comum quando apresenta baixo teor de cálcio. Ambas são resultado da combustão de carvão em caldeiras (MARIA, 2011).
- Escória de alto-forno: é um resíduo obtido na produção do ferro gusa podendo ser um material cimentante ou uma pozolana pouco reativa. Este material, após a moagem pode ser comercializado, porém necessita de uma ativação das suas reações de hidratação (AGOPYAN, 1991).

- Sílica ativa: é uma pozolanas altamente reativa advinda da indústria de liga de ferro-silício e da produção de silício metálico. Sua adição causa efeitos físicos e químicos, gerando melhorias como aumento de resistência e menor permeabilidade (AÏTCIN, 2000; MORAES; FILHO; AKASAKI, 2016).
- Metacalium: este material de alta atividade pozolânica tem sido obtido através da moagem e calcinação de argilas especiais em baixas temperaturas (CARMO; PORTELLA, 2008).
- Cinza da casca de arroz: esta pozolana altamente reativa apresenta grande volume e gera um acúmulo nos moinhos após o beneficiamento do arroz colhido. A cinza formada após a combustão contém uma grande proporção de minerais e tem de ser moída em uma partícula bem fina para apresentar atividade pozolânica (RODRIGUES; BERALDO, 2010).
- Cinza do bagaço de cana-de-açúcar: é proveniente da queima do bagaço da cana-de-açúcar e possui predominantemente em sua composição sílica que, quando moída em granulometria muito fina, apresenta características químicas e físicas que podem proporcionar ao material, atividade pozolânica e efeito filer (LIMA, 2018; NUNES et al., 2008).

2.2 CINZA DA FOLHA DE BANANEIRA

São mais de 125 países que se dedicam ao cultivo da banana no mundo. O continente asiático lidera a produção com 58% do volume produzido; o americano vem em segundo lugar, com 26% (América do Sul, com 17% e a América Central, com 8%) (VIEIRA, 2015).

No Brasil a bananeira é uma espécie típica de regiões tropicais e subtropicais cultivada de Norte a Sul, numa área aproximada de 503 mil hectares em 2002, sendo a banana (*Musa spp.*) a fruta tropical de maior produção no mundo com a colheita de de 7,1 milhões de toneladas em 2014, 2,7% maior que no ano anterior (IBGE, 2014), possuindo grande importância econômica e social, servindo como fonte de renda e alimento para milhões de pessoas (AGROPECUÁRIA, 2004; CEAGESP, 2006).

Segundo Kanning (2010), cada pé de banana produz em média cerca de 1343 gramas de folhas secas, representando um potencial nacional de geração de aproximadamente 900 milhões de toneladas de folhas secas anualmente. Desta forma evidencia-se o motivo da desfolha do bananal, explicado pelo oferecimento de

melhores condições de arejamento e luminosidade do bananal, maior rapidez no desenvolvimento dos rebentos, maior controle de pragas que utilizam as folhas como refúgio ou fontes de inóculo, melhorias no solo pela deposição de restos culturais (EMBRAPA, 2004).

Kanning (2010) pesquisou o potencial da atividade pozolânica da cinza de folha de bananeira e os resultados apresentados mostraram que a cinza de folha de bananeira apresenta atividade pozolânica superior aos valores mínimos indicados na norma 5752 (ABNT, 2014), quando as folhas são queimadas com temperaturas de 850 °C em um forno artesanal com fluxo de ar e posteriormente moídas em moinho de bolas por 30 minutos, podendo ser adicionada em concretos.

Curado (2018) avaliou os resultados da substituição parcial do cimento Portland pela cinza da folha de bananeira em até 16%, e concluiu que há o aumento da resistência conforme o teor de substituição aumenta. A produção da cinza se diferencia do método de Kanning apenas pelo equipamento de queima, que foi feita por um forno de zinco para redução do volume e posteriormente o resíduo foi depositado em uma mufla.

Por sua vez, Goyal e Tiwari (2016) concluíram que o teor ótimo para substituição é de 20% , pois aumenta a resistência á compressão do concreto de 20 a 30% quando comparado á um traço sem substituição, aos 28 dias. Ainda afirmam que a cinza leva 14 dias para começar á construir o efeito pozolânico de qualidade.

2.3 PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO

A principal propriedade do concreto no estado fresco é a trabalhabilidade. Lea e Desch (1956, p. 637) dizem que “trabalhabilidade é a facilidade com que o material concreto flui, enquanto, ao mesmo tempo, fica coerente e resistente à segregação.” Os principais fatores que tem influência direta sobre a trabalhabilidade vão da relação água/cimento, o traço, forma dos grãos dos agregados, aditivos, tipo de mistura, transporte, lançamento, até o tipo de adensamento.

Dentro da trabalhabilidade podem ser destacadas três propriedades principais. A consistência que será influenciada pela quantidade de água; a compacidade que varia com a distribuição granulométrica dos agregados; e o travamento que é avaliado em função da quantidade de finos e da continuidade dos grãos. Em resumo, a consistência representa a facilidade de deformação, enquanto a compacidade permite

o adensamento necessário, e o travamento representa a capacidade do concreto em se manter homogêneo (PETRUCCI, 1998).

No estado fresco o concreto fica sujeito a exsudação, que é a tendência da água em se separar da pasta, formando a chamada nata. Vários são os motivos para a ocorrência desse fato, podendo ser o excesso de água e/ou aditivo, ou a falta de materiais mais finos. Esse fenômeno deixa o concreto exposto a deterioração pela percolação de água, devido à porosidade alta e a resistência baixa (MEHTA, P. KUMAR; MONTEIRO, 2014).

O ensaio mais usado para medir a trabalhabilidade, e que também será utilizado nessa pesquisa, será o ensaio de consistência pelo abatimento de tronco de cone, ou slump test, normatizado pela NBR NM 67 (ABNT, 1998).

2.4 PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

A capacidade de resistir a esforços mecânicos torna essa a principal propriedade do concreto no estado endurecido, seguido da permeabilidade e absorção, e deformações. Em síntese o concreto resiste bem aos esforços de compressão e mal aos esforços de tração, sendo esta última correspondente a décima parte da resistência à compressão. Petrucci (1998) expõe que vários são os fatores que influenciam nos valores de resistência mecânica, sendo o ponto principal a relação entre água/cimento e porosidade, sendo sábio afirmar que essa relação varia na razão inversa da resistência.

Quanto mais fino o agregado miúdo utilizado for, maior será a quantidade de água exigida, pois a área específica será maior. Essa relação determina a porosidade que será encontrada na matriz da pasta de cimento, e muitas vezes a porosidade pode aumentar devido ao mal adensamento ou pelo uso de aditivos incorporadores de ar, o que ocasiona a queda da resistência. As condições de cura também influenciam na resistência do concreto, observando que o processo de hidratação do cimento é satisfatório apenas quando está sob condições de saturação. Pode-se considerar a idade padrão para rompimento do corpo de prova sendo 28 dias, também se ensaiando aos 3 e 7 dias, aferindo assim a qualidade do concreto. A forma dos corpos de prova também interfere nos resultados, sendo a forma cilíndrica mais usual no Brasil (MEHTA, P. KUMAR; MONTEIRO, 2014).

Concernente á permeabilidade e absorção, o concreto é pela própria constituição um material poroso, devido a incapacidade de preencher todos os vazios presentes na pasta de cimento. Esses vazios podem ser gerados através da água adicionada para hidratação do aglomerante que evapora após algum tempo, e é inevitável que durante a mistura do concreto o ar se incorpore à massa. Enquanto a absorção é a medida da capacidade do concreto de reter água nos poros, a permeabilidade é a propriedade que identifica essa possibilidade de passagem através do material (AÏTCIN, 2000).

Como a água está presente no concreto desde o início, o coeficiente de permeabilidade sempre irá existir devido aos poros formados pela água evaporável que é perdida. Sendo assim, em qualquer estágio de hidratação da pasta endurecida, a continuidade dos poros irão controlar o coeficiente de permeabilidade, tendendo á uma diminuição quando a porosidade capilar decresce, entretanto, não há proporcionalidade entre os dois. Desta forma, quando a relação água/cimento for alta, a porosidade capilar da pasta de cimento também será alta (MEHTA, P. KUMAR; MONTEIRO, 2014).

A última propriedade aqui listada é a deformação, que pode ser resultado das variações das condições ambientais ou pela ação de cargas externas. A importância do conhecimento das deformações é explicada pela possível aparição de fissuras que irão abrir caminho para agressão de agentes externos. Após o recém-endurecimento do concreto, se o mesmo for exposto à umidade e a temperatura ambiente, pode sofrer uma contração térmica devido ao resfriamento, e retração por secagem devido á perda de umidade. Essas deformações variam de acordo com o teor água/cimento, o tipo e a granulometria dos agregados (NEVILLE, 2015).

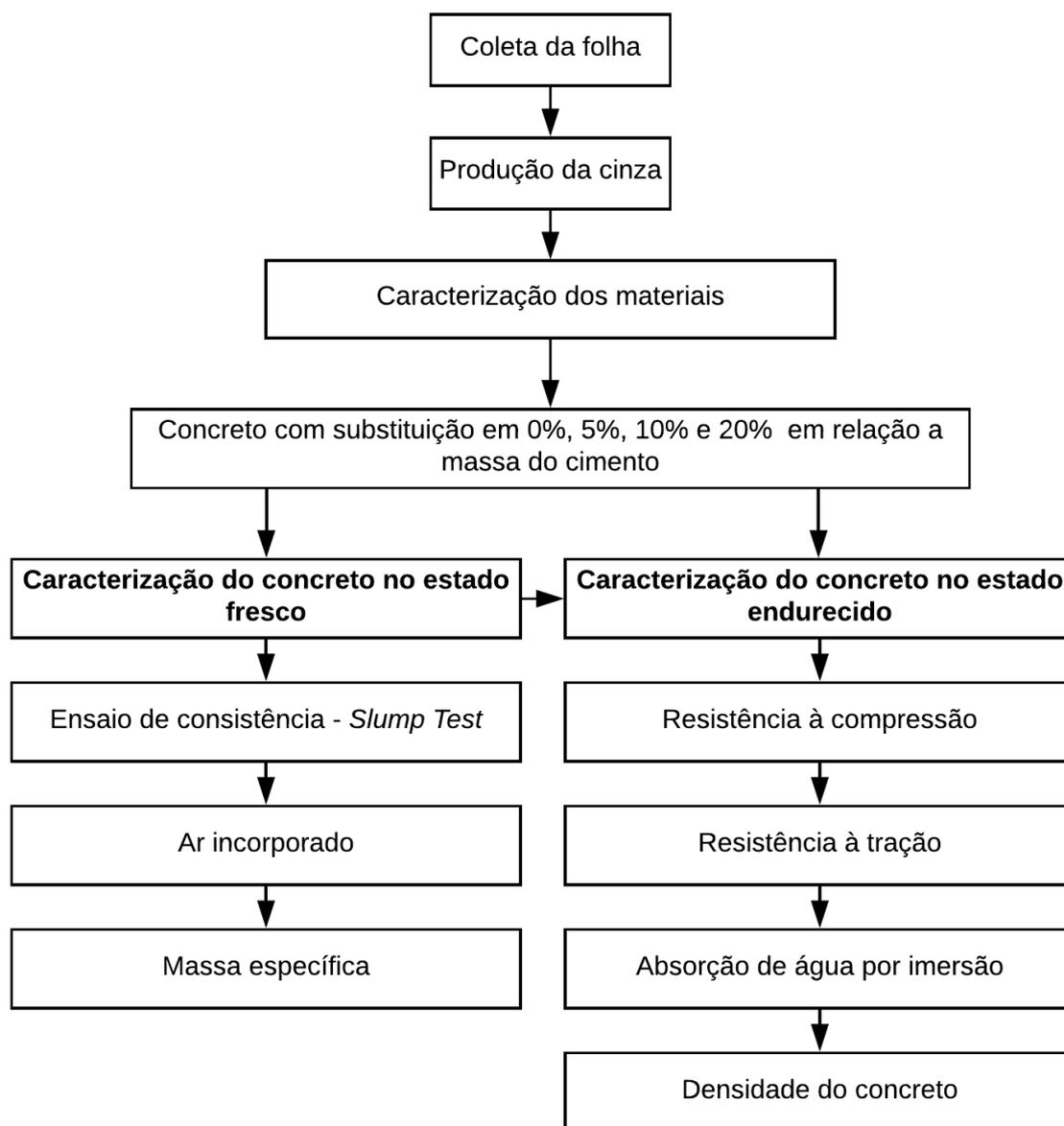
3 METODOLOGIA

A metodologia de natureza quali-quantitativa foi utilizada com finalidade de desenvolver uma pesquisa aplicada com objetivo exploratório através de estudos laboratoriais. O presente capítulo descreverá os procedimentos, equipamentos e locais envolvidos no processo de desenvolvimento da pesquisa, atendendo às normativas vigentes e tendo como base resultados apresentados em teses, para a confecção de corpos de prova cujo intuito é a caracterização do concreto no estado fresco e endurecido.

3.1 OBJETO DE ESTUDO

O objeto de estudo deste trabalho é a utilização de um material cimentício suplementar, a cinza da folha de bananeira (variedade *Musa Acuminata*), que foi substituída do cimento Portland em diferentes teores. Os ensaios normatizados pela ABNT e procedimentos necessários para a caracterização dos materiais e confecção dos corpos de prova foram realizados no Laboratório de Materiais e Estruturas do Centro Universitário Luterano de Palmas. A ordem da etapa metodológica para o cumprimento do procedimento pode ser observada pelo fluxograma a seguir na figura 9.

Figura 9 – Fluxograma das etapas metodológicas.



Fonte: Autor, 2018.

3.2 MATERIAIS UTILIZADOS

3.2.1 Agregado miúdo e graúdo

3.2.1.1 Distribuição granulométrica

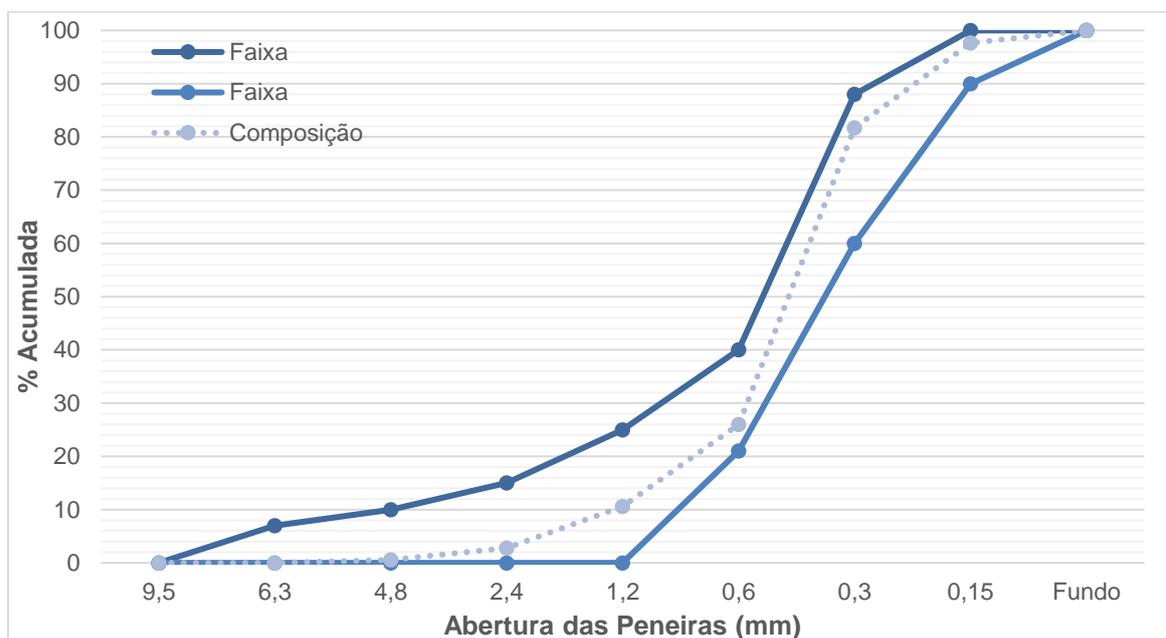
Os agregados foram caracterizados quanto a sua granulometria através da NBR NM 248 (ABNT, 2003) aos quais os valores obtidos nas amostras para determinar a granulometria do agregado miúdo e agregado graúdo estão expressos, respectivamente, nas tabelas 2 e 3. A curva onde cada agregado situa-se está ilustrada nas figuras 10 e 11.

Tabela 2 – Distribuição granulométrica do agregado miúdo.

Peneiras (mm)	1ª DETERMINAÇÃO			2ª DETERMINAÇÃO			Média % Retida	
	Massa retida (g)	% Retida		Massa retida (g)	% Retida		Simples	Acumulada
		Simples	Acumulada		Simples	Acumulada		
4,8	2,9	0,58	0,58	2,7	0,54	0,54	0,56	0,56
2,4	10	2	2,58	12	2,4	2,94	2,2	2,76
1,2	38	7,6	10,18	40,1	8,02	10,96	7,81	10,57
0,6	77,8	15,56	25,74	76,3	15,26	26,22	15,41	25,98
0,3	279	55,8	81,54	278,3	55,66	81,88	55,73	81,71
0,15	79,2	15,84	97,38	80,1	16,02	97,9	15,93	97,64
Fundo	13,1	2,62	100	10,5	2,1	100	2,36	100
TOTAL	500,00	100,00	-	500,00	100,00	-	100,00	-

Fonte: Autor, 2019.

Figura 10 – Análise granulométrica do agregado miúdo.



Fonte: Autor, 2019.

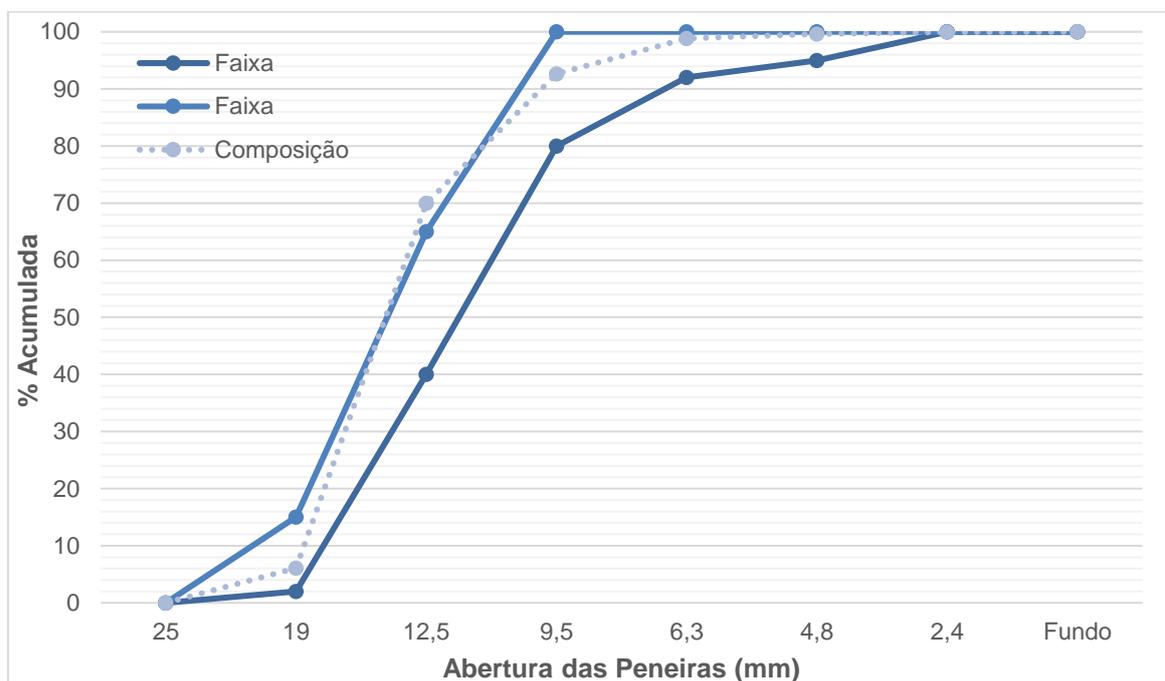
De acordo com o ensaio granulométrico, foi possível observar o comportamento da curva granulométrica e determinar que o agregado em questão é classificado como areia fina, por estar na zona 2, e apresenta módulo de finura igual a 2,20.

Tabela 3 – Distribuição granulométrica do agregado graúdo.

Peneiras (mm)	1ª DETERMINAÇÃO			2ª DETERMINAÇÃO			Média % Retida	
	Massa retida (g)	% Retida		Massa retida (g)	% Retida		Simples	Acumulada
		Simples	Acumulada		Simples	Acumulada		
25	-	-	-	-	-	0	-	0
19	182,3	6,08	6,08	181,6	6,05	6,05	6,07	6,07
12,5	1917,6	63,92	70,00	1918,2	63,94	69,99	63,93	70,00
9,5	678,2	22,61	92,60	679,6	22,65	92,65	22,63	92,63
6,3	185,3	6,18	98,78	186,5	6,22	98,86	6,20	98,82
4,8	23,4	0,78	99,56	23,6	0,79	99,65	0,78	99,61
2,4	12,6	0,42	99,98	10,1	0,34	99,99	0,38	99,98
Fundo	0,6	0,02	100,00	0,4	0,01	100,00	0,02	100,00
TOTAL	3000	100	-	3000	100	-	100	-

Fonte: Autor, 2019.

Figura 11 – Análise granulométrica do agregado graúdo.



Fonte: Autor, 2019.

Já para o agregado graúdo, por meio de observação da curva granulométrica, é possível definir o mesmo como agregado brita 1, apresentando dimensão máxima característica de 25 mm, se encontrando dentro da zona utilizável da norma.

3.2.1.2 Determinação da massa específica

Para obtenção da massa específica foram realizadas duas determinações para cada agregado, por meio da ABNT NBR 6508 (1984) onde a utilização do picnômetro para a determinação é justificado por não haver equipamentos disponíveis no laboratório para a realização de procedimentos atuais. Os dados obtidos são apresentados nas tabelas 4 e 5.

Tabela 4 – Determinação da massa específica do agregado miúdo.

Picnômetro nº	#	1	2
Picnômetro cheio de água	(g)	1202,2	1202,2
Picnômetro + Areia + Água	(g)	1513,6	1513,1
Temperatura de ensaio	(°C)	24	24
Massa material seco	(g)	500	500
Massa específica da água, T°C ensaio	(g/cm ³)	0,9981	0,9981
Massa específica	(g/cm ³)	2,65	2,64
Massa específica média	(g/cm³)	2,64	

Fonte: Autor, 2019.

Em concordância com a norma os resultados são considerados como satisfatórios, pois não apresentaram diferença superior que 0,02 g/cm³. Diante disso, a massa específica do agregado miúdo determinada pelo ensaio é de 2,64 g/cm³.

Tabela 5 – Determinação da massa específica do agregado graúdo.

Picnômetro nº	#	1	2
Picnômetro cheio de água	(g)	1201,1	1201,1
Picnômetro + Brita + Água	(g)	1513,2	1514,1
Temperatura de ensaio	(°C)	24	24
Massa material seco	(g)	500	500
Massa específica da água, T°C ensaio	(g/cm ³)	0,9981	0,9981
Massa específica	(g/cm ³)	2,66	2,67
Massa específica média	(g/cm³)	2,66	

Fonte: Autor, 2019.

Da mesma forma os resultados para agregado graúdo obtidos são satisfatórios por atenderem às exigências da norma. Logo, a massa específica do agregado graúdo é de 2,66 g/cm³.

3.2.1.3 Determinação da massa unitária

O recipiente utilizado no ensaio de massa unitária possuía um volume de aproximadamente 1 dm³. Para esse ensaio foram feitas três determinações para cada agregado seguindo a NBR NM 45 (ABNT, 2006), sendo os resultados demonstrados nas tabelas 6 e 7.

Tabela 6 – Determinação da massa unitária do agregado miúdo.

Amostra	Massa (kg)	Volume do Recipiente (dm³)	Massa unitária (kg/dm³)
1	1,52	1,00	1,52
2	1,50		1,50
3	1,53		1,53
Média			1,52

Fonte: Autor, 2019.

Tabela 7 – Determinação da massa unitária do agregado graúdo.

Amostra	Massa (kg)	Volume do Recipiente (dm³)	Massa unitária (kg/dm³)
1	1,36	1,00	1,36
2	1,34		1,34
3	1,37		1,37
Média			1,36

Fonte: Autor, 2019.

A norma determina que os resultados de massa unitária obtidos individualmente não devem diferir mais que 1% em relação à média, sendo assim, os resultados são considerados satisfatórios.

3.2.2 Aglomerante

O cimento utilizado é o CP II F-32 (cimento Portland composto com filer calcário com resistência à compressão de 32 MPa aos 28 dias após moldagem), o qual foi observado as especificações do fabricante para comparação com os requisitos estabelecidos pela NBR 16697 (ABNT, 2018a).

3.2.3 Água

A água de amassamento utilizada é limpa e sem impurezas, fornecida pela rede de abastecimento local.

3.2.4 Adição

Como adição somente a cinza da folha de bananeira foi utilizada, sendo proveniente de Pedro Afonso, Tocantins, Brasil. A mesma também passou por caracterização sendo submetida a ensaio para determinação da massa específica seguindo a NBR NM 23 (ABNT, 2001).

3.3 CINZA DA FOLHA DE BANANEIRA

3.3.1 Produção da cinza

Os procedimentos aqui descritos se baseiam no estudo de Kanning (2010) e Curado (2018), e foram adaptados para uso dos equipamentos disponíveis no laboratório da instituição. A produção da cinza foi estabelecida na seguinte ordem: coleta, queima, moagem e peneiramento. As folhas secas e sem presença de terra ou fungos que foram coletadas passaram por uma queima sem controle de temperatura e tempo para redução de volume como ilustra a figura 12. Posteriormente foi queimada em uma Mufla Fornitec de 15x15x30 cm á 850°C por um período de 1 hora, depois moída em um moinho de bolas por 30 minutos e peneirada na peneira de 200 µm (0,075 mm) para ajuste da granulometria, como mostra a figura 13.

Figura 12 – Pré-queima da folha de bananeira.



Figura 13 – Cinza da folha de bananeira após a queima, moagem e peneiramento.



Fonte: Autor, 2019.

3.3.2 Determinação da massa específica

A massa específica da cinza foi calculada a partir de duas determinações, todas com o tempo de moagem de 30 minutos, e sua medição foi feita a partir do uso de um frasco volumétrico de *Le Chatelier* conforme a norma da ABNT NBR NM 23 (2001). Após a moagem a média alcançada para a determinação da massa específica da CFB foi de 2,50 g/cm³, conforme a tabela 8.

Tabela 8 – Determinação da massa específica da cinza da folha de bananeira.

Tempo de moagem (h)	Amostra (g/cm ³)		Média (g/cm ³)
	1	2	
0,5	2,49	2,51	2,50

Fonte: Autor, 2019.

3.4 DOSAGEM DO CONCRETO

Os corpos de prova foram dosados pelo método ACI 211, visando uma resistência pré-estabelecida de 20 MPa, *slump* de 75±25 mm e sd de 4,0 MPa. Seguindo o traço referência, foram dosados outros 3 (três) traços com teores de 5%, 10% e 20% de substituição de cimento por cinza da folha de bananeira, em relação a

massa de cimento. A tabela 9 demonstra o número de corpos de prova confeccionados para a caracterização do concreto.

Tabela 9 – Quantidade de corpos de prova para a caracterização do concreto.

TRAÇO	Resistência à compressão			Resistência à tração	Absorção e densidade
	N° de CP por idade			N° de CP por idade	N° de CP por idade
	3 dias	7 dias	28 dias	28 dias	28 dias
Referência	3	3	3	3	3
5% CFB	3	3	3	3	3
10% CFB	3	3	3	3	3
20% CFB	3	3	3	3	3

Fonte: Autor, 2018.

3.4.1 Corpos de prova

Foram moldados 60 (sessenta) corpos de prova, divididos entre o traço referência, substituição de 5%, 10% e 20%. Para o ensaio de resistência à compressão aos 3, 7 e 28 dias foram moldados 36 corpos de prova. Para o ensaio de resistência à tração por compressão diametral foram moldados 12 (doze) corpos de prova, assim como para o ensaio de absorção e densidade.

3.4.2 Cura

Atendendo aos critérios da NBR 5738 (ABNT, 2015) os corpos de prova foram desmoldados após 24 horas e, quando devidamente identificados, a cura seguiu por meio de submersão em um tanque até a data do ensaio de 3, 7 e 28 dias.

3.5 CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO

3.5.1 Ensaio de consistência do concreto – *Slump Test*

Este ensaio, também conhecido como abatimento do tronco de cone, baseou-se na NBR NM 67 (ABNT, 1998), utilizando-se de uma placa de base, molde e haste de socamento para realizar o adensamento manual. O procedimento consiste no

preenchimento do molde com concreto em três camadas que serão compactados com a haste com 25 (vinte e cinco) golpes. A aferição é dada pela medida, em milímetros, da diferença entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo de prova.

3.5.2 Determinação da massa específica e do teor de ar incorporado

Este ensaio seguiu as diretrizes da NBR 9833 (ABNT, 2008), obedecendo aos critérios de adensamento e modelagem de corpos de prova. A massa específica e o teor de ar incorporado são determinados pelas equações 01 e 05, sendo as demais complementares:

$$\text{Massa específica } (\rho_{ap}) = \frac{m}{V} \times 1000 \quad \text{eq. 01}$$

$$\text{Rendimento (R)} = \frac{m_c + m_f + m_g + m_a}{\rho_{ap}} \quad \text{eq. 02}$$

$$\text{Volume (V}_t) = \frac{m_c}{\rho_c} + \frac{m_f}{\rho_f} + \frac{m_g}{\rho_g} + \frac{m_a}{\rho_a} \quad \text{eq. 03}$$

$$\text{Índice de ar (I}_a) = \frac{R}{V_t} \quad \text{eq. 04}$$

$$\text{Teor de ar (A)} = \left(1 - \frac{1}{I_a}\right) \times 100 \quad \text{eq. 05}$$

Onde: m = é a massa do concreto em kg.

V = é o volume do recipiente em d^3 .

m_c, m_f, m_g, m_a = são a massa presente na betonada, respectivamente, do cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e água em kg.

$\rho_c, \rho_f, \rho_g, \rho_a$ = são a massa específica, respectivamente, do cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e água, em kg/m^3 .

3.6 CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

3.6.1 Ensaio de resistência à compressão axial

Este ensaio atendeu os procedimentos da NBR 5739 (ABNT, 2018b). A prensa fornecida pela instituição é a EMIC com capacidade de aplicação de carga de 30 tf. Os corpos de prova foram rompidos com 3, 7 e 28 dias após moldagem, com 3 amostras para cada idade.

3.6.2 Ensaio de resistência à tração por compressão diametral

O ensaio de resistência à tração foi realizado sob especificações da NBR 7222 (ABNT, 2011). Utilizou-se a mesma prensa do ensaio de resistência à compressão, sendo necessário posicionar o corpo de prova na horizontal e traçar uma linha reta diametral em cada extremidade, mantendo as duas linhas no mesmo plano. Foram ensaiados 3 corpos de prova para cada traço aos 28 dias.

3.6.3 Determinação da absorção de água por imersão e densidade do concreto

O ensaio para determinar a absorção de água por imersão dos corpos de prova foi realizados com base na NBR 9778 (ABNT, 2005). A absorção é a medida do volume de poros presentes no corpo de prova, sendo muito importante para o entendimento de como o concreto vai se comportar mecanicamente, e qual será a durabilidade do mesmo.

A densidade do corpo de prova está diretamente ligada a massa específica dos materiais que a compõem, sendo esta medida pela relação entre a massa do sólido e o volume que este ocupa, estando inclusos os poros impermeáveis. Este índice físico é calculado pela equação 06.

$$\text{Absorção (A)} = \frac{m_{\text{sat}} - m_s}{m_s} \times 100 \quad \text{eq. 06}$$

Onde: m_s = é a massa da amostra seca em estufa.

m_{sat} = é a massa da amostra saturada em água após imersão e fervura.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DOSAGEM DO CONCRETO

A dosagem foi calculada através do método do ACI 211, visando a resistência à compressão aos 28 dias de 20 MPa e sd igual a 4,0. O traço padrão em massa 1 : 2,54 : 3,04 (cimento : agregado miúdo : agregado graúdo) com fator água/cimento de 0,59 pode ser visualizado na tabela 10, sendo a moldagem dos corpos de prova tendo sido realizada em laboratório.

Tabela 10 – Traços em massa.

Traço	Cimento (kg)	Cinza da folha de bananeira (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Água (kg)
Referência	11,70	0,00	29,70	35,45	6,90
Teor 5% CFB	11,10	0,60	29,70	35,45	6,90
Teor 10% CFB	10,50	1,20	29,70	35,45	6,90
Teor 20% CFB	9,35	2,35	29,70	35,45	6,90

Fonte: Autor, 2019.

A tabela acima detalha a quantidade necessária de cada insumo para a confecção dos corpos de prova. É importante ressaltar que a quantidade de água foi mantida para todos os traços buscando uma comparação real das influências que a cinza apresenta como substituição, principalmente no quesito consistência.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO

4.2.1 Ensaio de consistência do concreto – *Slump Test*

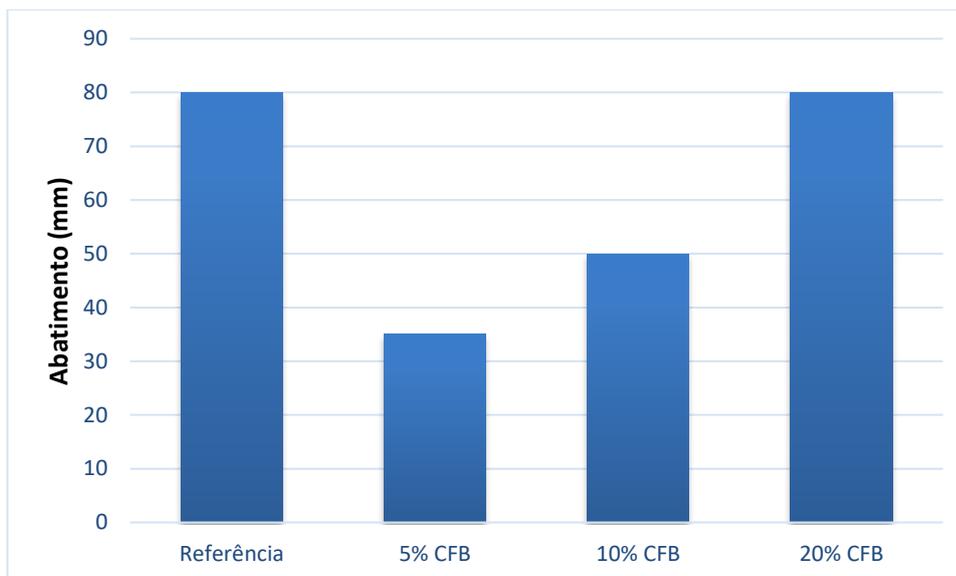
A tabela 11 e as figuras 14 e 15 apresentam os resultados alcançados durante o ensaio. É possível observar que o aumento da porcentagem de substituição ocasionou na equiparação do abatimento com o traço referência.

Tabela 11 – Índices de consistência.

Traço	Abatimento (mm)
Referência	80
Com 5% de substituição	35
Com 10% de substituição	50
Com 20% de substituição	80

Fonte: Autor, 2019.

Figura 14 – Índices de consistência.



Fonte: Autor, 2019.

Por meio do ensaio do índice de consistência do concreto no estado fresco é possível verificar que o abatimento entre o traço referência e os traços com substituição do cimento Portland pela CFB resultam em uma diferença significativa, porém satisfatórios, exceto pelo traço de 5% de substituição por não ter alcançado o slump determinado no cálculo do traço. Contudo, verificou-se que a trabalhabilidade perdida nos 5% foi sendo recuperada com o aumento da porcentagem de substituição, o que diverge do exposto por Curado (2018) onde houve a queda da trabalhabilidade conforme o teor aumentava, provavelmente devido ao ajuste da quantidade de água para cada traço.

Lacerda (2005) observou a trabalhabilidade de concretos que estudou e chegou à conclusão de que pode haver uma melhora na propriedade com a inclusão de um material muito fino se utilizado em quantidade adequada, como também pode ser explicado devido às propriedades intrínsecas da adição mineral, especificadamente o formato das partículas. A sílica, por exemplo, apresenta um formato esférico promovendo o *efeito rolamento*, citado no livro de Neville (1997), que facilita a

movimentação dos agregados dentro da pasta, e a presença da água proporciona uma *lubrificação* que irá melhorar a trabalhabilidade.

Figura 15 – Ensaio de abatimento do tronco de cone. A) traço referência; B) traço com 5% de substituição; C) traço com 10% de substituição; D) traço com 20% de substituição.



Fonte: Autor, 2019.

4.2.2 Determinação da massa específica e do teor de ar incorporado

A massa específica e o teor de ar incorporado do concreto no estado fresco encontrada para cada traço a partir do ensaio é observada na tabela 12.

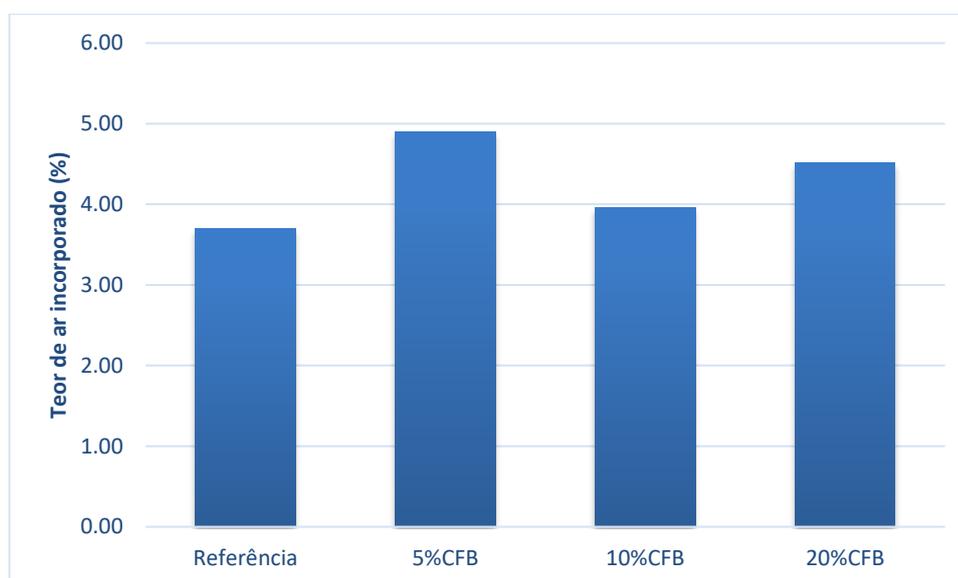
Tabela 12 – Massa específica e teor de ar incorporado do concreto fresco.

Traço	Massa do concreto (kg)	Volume (m ³)	Massa específica (kg/m ³)	Ar incorporado (%)
Referência	18,00	0,008	2291,83	3,70
5%CFB	17,75	0,008	2260,00	4,90
10%CFB	17,90	0,008	2279,10	3,96
20%CFB	17,75	0,008	2260,00	4,51

Fonte: Autor, 2019.

Primeiramente, o teor de ar incorporado tenderia a ser menor no concreto com adição mineral se esta apresentasse finura menor que a do cimento, porém buscou-se equiparar a finura de ambos os insumos. O que nos remete ao instante em que o concreto estava na betoneira, onde foi possível observar que o volume da adição mineral para a mesma massa de cimento era extremamente elevado, indicando que os vazios presentes entre as partículas da cinza eram significativos. Assim fica visível na figura 16 que o teor de ar incorporado aumentou para todos os concretos com a substituição.

Figura 16 – Teor de ar incorporado no concreto no estado fresco.

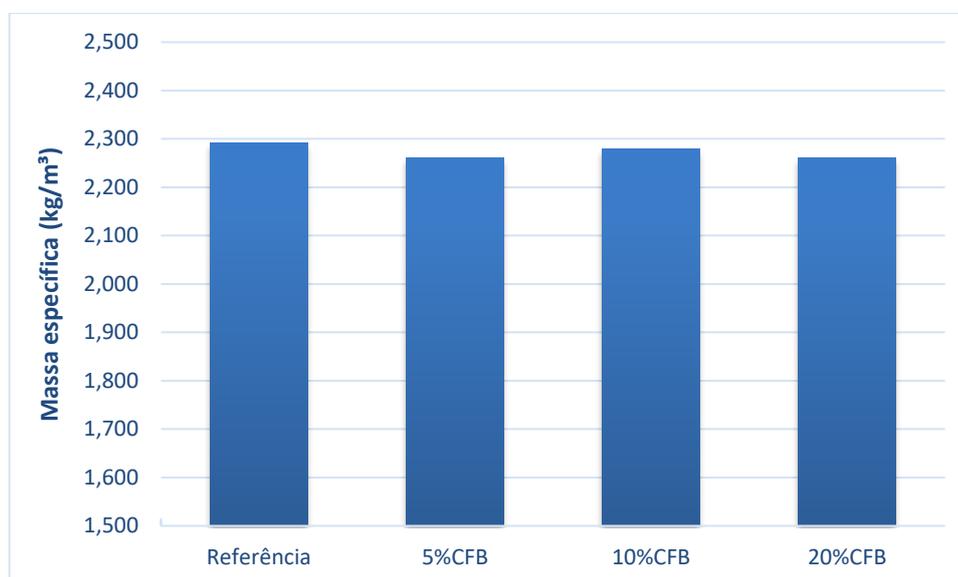


Fonte: Autor, 2019.

Relacionado a massa específica, é facilmente observado na figura 17 que a massa específica do concreto com a substituição é menor que o concreto referência.

Isto é justificado devido a massa específica da cinza ser muito mais baixa que a do cimento, na ordem de 2500 kg/m^3 e 3150 kg/m^3 , respectivamente.

Figura 17 – Massa específica do concreto no estado fresco.



Fonte: Autor, 2019.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

4.3.1 Determinação da resistência à compressão axial

Os corpos de prova foram avaliados quanto a resistência à compressão em virtude dos quatro traços executados e foram analisados separadamente para efeitos de comparação. Os dados passaram por um tratamento seguindo a NBR 5739 (ABNT, 2018b), onde os valores obtidos no rompimento dos corpos de prova que ultrapassaram o coeficiente de variação igual à 5% foram descartados por não tornar a amostra homogênea. A tabela 13 abaixo apresenta a classificação do ensaio quanto ao coeficiente de variação.

Tabela 13 – Avaliação do ensaio pelo coeficiente de variação dentro do ensaio.

Coeficiente de variação (Cve) %				
Nível 1 Excelente	Nível 2 Muito bom	Nível 3 Bom	Nível 4 Razoável	Nível 5 Deficiente
$Cve \leq 3,0$	$3,0 < Cve \leq 4,0$	$4,0 < Cve \leq 5,0$	$5,0 < Cve \leq 6,0$	$Cve > 6,0$

Fonte: NBR 5739 (ABNT, 2018b).

A determinação da resistência à compressão dos quatro traços foi feita através de rompimento de 3 (três) corpos de prova, para cada idade de rompimento (3, 7 e 28 dias), cujos resultados para as amostras em questão são expostos na tabela 14.

Tabela 14 – Resistência à compressão dos corpos de prova.

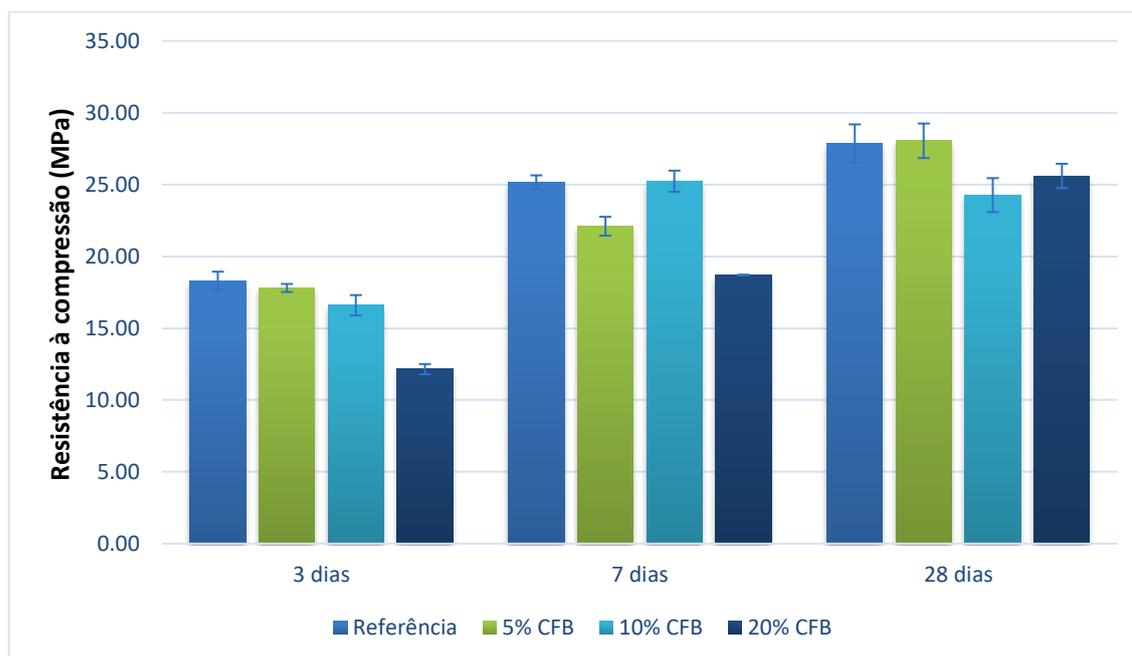
Traço	Idade (dias)	CP1	CP2	CP3	Média	Desvio Padrão	Variância
Referência	3	17,90	19,20	17,80	18,30	0,78	4,27
	7	25,50	24,80	0,00	25,15	0,49	1,97
	28	28,80	26,90	0,00	27,85	1,34	4,82
5% CFB	3	0,00	17,60	18,00	17,80	0,28	1,59
	7	21,50	22,80	22,00	22,10	0,66	2,97
	28	28,90	27,20	0,00	28,05	1,20	4,29
10% CFB	3	0,00	16,10	17,10	16,60	0,71	4,26
	7	25,80	25,50	24,40	25,23	0,74	2,92
	28	22,90	24,90	25,00	24,27	1,18	4,88
20% CFB	3	11,90	0,00	12,40	12,15	0,35	2,91
	7	18,70	0,00	18,70	18,70	0,00	0,00
	28	26,20	25,00	0,00	25,60	0,85	3,31

Fonte: Autor, 2019.

Á partir da figura 18 torna-se perceptível que o traço referência e o traço com 5% CFB atenderam os critérios estabelecidos, já os traços com 10% e 20% CFB apresentaram uma queda de resistência devido á substituição e não alcançaram o valor pré-estabelecido de f_{cj} no cálculo do traço que considerava a resistência a ser alcançada aos 28 dias de 26,6 Mpa.

No rompimento dos corpos de prova de 3 dias a resistência do traço referência e do traço 5% CFB eram bastante próximas, tendo se diferenciado bastante aos 7 dias, onde foi possível observar que a resistência do traço 10% CFB superou o traço referência com menos e 0,1 Mpa, podendo dizer que se igualaram. Entretanto, aos 28 dias o traço 10% CFB manteve a resistência dos 7 dias constante, e os traços referência e 5% CFB voltaram a ultrapassá-lo, onde o traço 5% CFB superou o traço referência em 0,2 Mpa. O traço de 20% CFB apresentou um crescimento constante da sua resistência, mas não alcançou os 26,6 MPa estabelecidos no cálculo do traço.

Figura 18 – Resistências x Idades de rompimento.



Fonte: Autor, 2019.

As adições pozolânicas são reféns da presença de água e hidróxido de cálcio para que ocorram as reações. Em relação as primeiras idades ainda não há hidróxido de cálcio o suficiente para que essas reações ocorram, o que torna as adições inertes do ponto de vista aglomerante, e ao comparar com o concreto referência é vista a redução da resistência. Segundo Yaneb et al. (1980) as adições pozolânicas aceleram a hidratação do clínquer que forma filamentos sem pouco contato entre eles, que mais tarde se entrelaçam formando uma estrutura densa que aumenta a resistência do concreto.

Entre 7 e 28 dias o concreto com 10% de substituição demonstra o máximo de reação pozolânica em um pico da resistência, onde a relação água/aglomerantes pode ter promovido alterações no comportamento da reação. Aos 28 dias boa parte das reações de hidratação já ocorreram, onde é possível observar que por uma diferença muito pequena o concreto com 5% de substituição apresentou a maior resistência á compressão.

4.3.2 Determinação da resistência à tração por compressão diametral

A determinação da resistência à tração dos quatro traços foi feita através de rompimento de 3 (três) corpos de prova aos 28 dias, cujos resultados para as amostras em questão são expostos na tabela 15 e na figura 19.

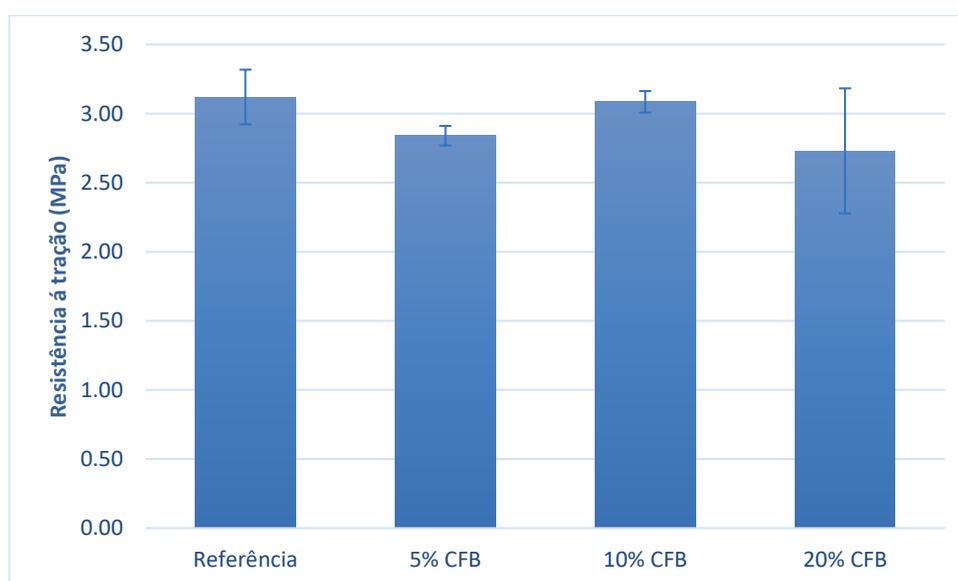
Tabela 15 – Resistência à tração aos 28 dias.

Traço	CP1	CP2	CP3	Média	Desvio Padrão
Referência	0,00	2,98	3,26	3,12	0,20
5% CFB	0,00	2,79	2,89	2,84	0,07
10% CFB	0,00	3,03	3,14	3,09	0,08
20% CFB	0,00	3,05	2,41	2,73	0,45

Fonte: Autor, 2019.

Com o valor obtido no traço referência é possível afirmar que este por sua vez é o maior dentre os valores. Este resultado é justificado pelo maior teor de ar incorporado nos concretos com a adição mineral que propiciaram uma zona de transição mais fraca. No entanto os resultados com valores baixos já eram esperados devido a resistência à tração do concreto ser da ordem de 10% a resistência à compressão.

Figura 19 – Médias das resistências à tração aos 28 dias.



Fonte: Autor, 2019.

4.3.3 Determinação da absorção de água por imersão e densidade do concreto

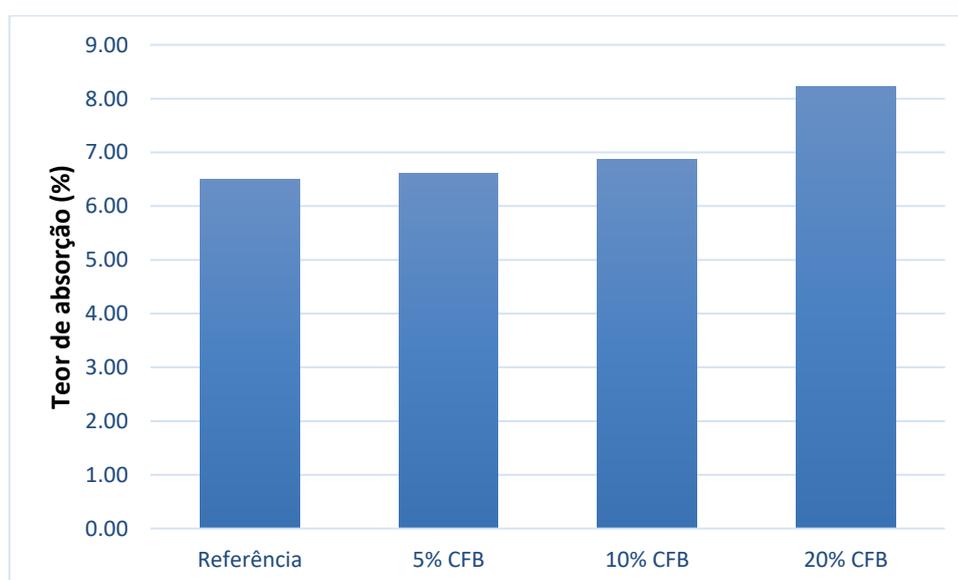
Os valores encontrados nos ensaios resultaram na tabela 16 e na figura 20 a seguir que permite a comparação das médias para os quatro traços na idade de 28 dias.

Tabela 16 – Determinação da absorção por imersão.

Traço	CP	Massa seca (kg)	Massa saturada (kg)	Teor Absorção (%)	Médias
Referência	1	3,4566	3,6751	6,32	6,49
	2	3,4006	3,6272	6,66	
	3	0,0000	0,0000	0,00	
5%CFB	1	3,4482	3,6715	6,48	6,61
	2	3,4165	3,6418	6,59	
	3	3,4017	3,6321	6,77	
10%CFB	1	3,4551	3,6821	6,57	6,87
	2	3,4031	3,6376	6,89	
	3	3,3993	3,6428	7,16	
20%CFB	1	3,3072	3,638	10,00	8,23
	2	3,3700	3,5927	6,61	
	3	3,3270	3,5959	8,08	

Fonte: Autor, 2019.

Figura 20 – Médias dos índices de absorção.



Fonte: Autor, 2019.

Observa-se que quanto maior o teor de substituição do cimento Portland por CBC o concreto tende a ser mais poroso, visto que quanto maior a quantidade de cinza maior foi a absorção, o que justifica os valores encontrados. O que reforça essa ideia é o teor de ar incorporado no estado fresco que apresentou um aumento a medida que o teor de substituição também aumentava, e o efeito “microfiller” que as pozolanas geram causando a retenção de água (KANNING, 2013).

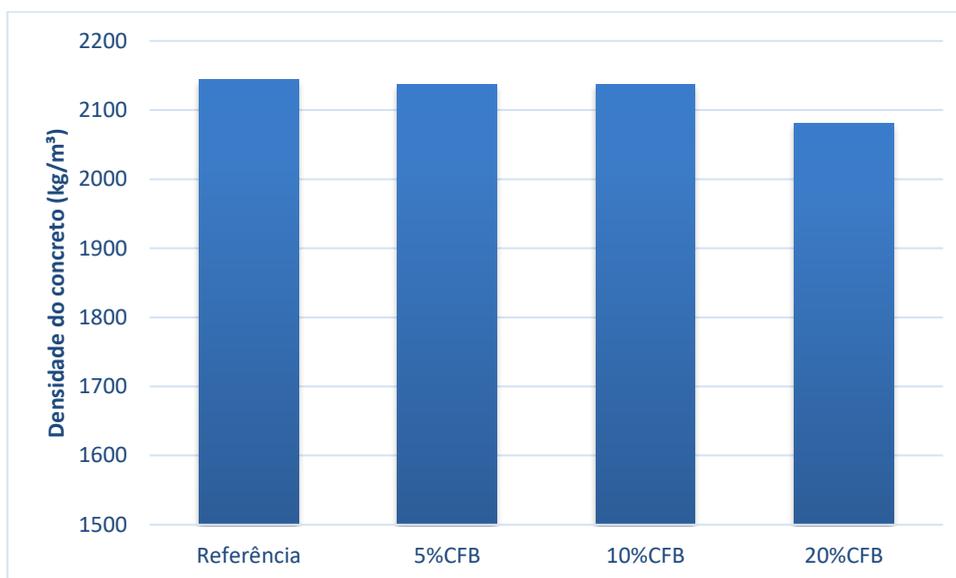
A densidade do concreto foi determinada de acordo com o peso do concreto seco para o volume do molde de 10x20 centímetros conforme a tabela 17 e a figura 21.

Tabela 17 – Determinação da densidade do concreto.

Traço	CP	Massa do concreto (kg)	Média da Massa do concreto (kg)	Volume (m ³)	Densidade (kg/m ³)
Referência	1	3,457	3,43	0,0016	2143,75
	2	3,401			
	3	0,000			
5%CFB	1	3,448	3,42	0,0016	2137,5
	2	3,417			
	3	3,402			
10%CFB	1	3,455	3,42	0,0016	2137,5
	2	3,403			
	3	3,399			
20%CFB	1	3,307	3,33	0,0016	2081,25
	2	3,370			
	3	3,327			

Fonte: Autor, 2019.

Figura 21 – Determinação da densidade do concreto.



Fonte: Autor, 2019.

A figura acima mostra a média das massas dos corpos de prova com massa seca, cuja densidade do concreto no traço de 20% de substituição indica a ser mais leve em comparado aos demais traços, o que mostra que quanto maior o teor de substituição por cinza mais leve será o peso específico do concreto, o que é reforçado pelo resultado do ensaio de absorção que indica que há muitos vazios a medida que o teor de substituição aumenta.

5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento do trabalho seguindo as normas vigentes possibilitou que os objetivos pretendidos fossem alcançados. A utilização de materiais pozolânicos em substituição do cimento Portland podem apresentar melhorias no estado fresco e principalmente no comportamento mecânico no estado endurecido. É importante frisar que essa substituição oferece melhorias até certo ponto, pois há um teor ótimo de utilização da adição mineral. Correlacionando a sustentabilidade e as diferenças nas propriedades do concreto destacam-se os seguintes pontos acerca do teor de 5% de substituição avaliado como o teor ótimo:

- Houve redução da consistência que pode prejudicar a sua trabalhabilidade, porém é um fator facilmente corrigido com o emprego de aditivo plastificante, ficando dentro dos parâmetros solicitados em norma;

- O teor de substituição demonstrou benefício quanto ao aumento de resistência mecânica à compressão quando comparada com o concreto referência, porém a resistência à tração apresentou uma queda;

- A adição mineral aumentou a retenção de água em função do efeito “microfiller” gerado pelas pozolanas;

- Já era esperado que a densidade apresentasse uma queda em virtude dos vazios que propiciaram a maior absorção de água;

- Não se tem indicativos de redução de custos durante a produção da cinza de folha de bananeira, uma vez que o estudo em questão teve como intuito avaliar as propriedades e características da cinza de folha de bananeira em relação a um concreto referência.

Conclui-se desta forma que a cinza da folha de bananeira quando utilizada como substituição em concreto pode apresentar valores de desempenho mecânico superiores a um concreto referência, desde que utilizada de acordo com o teor ótimo.

5.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

O referido trabalho teve como foco avaliar o concreto no estado fresco e endurecido com a substituição parcial do cimento pela cinza da folha de bananeira com teores de até 20%. São necessários estudos mais avançados e detalhados sobre a influência da substituição com porcentagens maiores das cinzas tanto em concretos como em argamassas. Também pode-se estender o estudo quanto ao comportamento em adição ao invés de substituição ao concreto e argamassa em diferentes teores.

Além disso, poderia ser feita uma análise com maiores idades de rompimento; e um estudo microscópico para identificar as mudanças internas que ocorrem no concreto e argamassa e o formato das partículas da cinza da folha e bananeira. Seria válido também estudar a possibilidade do uso de aditivos para o alcance de um melhor desempenho no concreto e o comportamento da cinza quando em contato com estes.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. São Paulo: 2002. 28 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9833: Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico**. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222: Concreto e argamassa - Determinação da resistência por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6458: Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura de 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 2017a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697: Cimento Portland - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2018a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018b.

AGOPYAN, V. **Materiais reforçados com fibras para a construção civil nos países em desenvolvimento: uso de fibras vegetais**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de Construção Civil da Escola São Paulo, 1991. 99 p.

AÏTCIN, P.-C. **Concreto de Alto Desempenho**. 1. ed. São Paulo: Pini, 2000. 667 p.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001. 488 p.

BOTASSI, S. S. et al. **Efeito das adições na fluência do concreto: Uma revisão crítica**. 50º Congresso Brasileiro do Concreto - IBRACON: 2008. 17 p.

CARMO, J. B. M. DO; PORTELLA, K. F. **Estudo comparativo do desempenho mecânico da sílica ativa e do metacaulim como adições químicas minerais em estruturas de concreto**. *Cerâmica*, v. 54, n. 331, p. 309–318, 2008.

CAVALCANTI, B. T. V. **Estudo da permeabilidade de pastas de cimento contendo poliuretana e sílica**. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2010. 110 p.

CHANU, N. M.; DEVI, K. **Contribution of rice husk ash to the properties of cement mortar and concrete**. *International Journal of Engineering Research & Technology*, v. 2, n. 2, p. 7, 2013.

COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BÉTON (CEB). **Durable Concrete Structures - CEB Design Guide**. Bulletin D'information 183. Paris, 1992. 120 p.

COSTA, A. DA et al. **Completação de Poços**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2000. 67 p.

CURADO, D. N. **Estudo de adição de cinza da folha de bananeira em concreto substituindo parcialmente o cimento portland**. Palmas: Universidade Luterana do Brasil, 2018. 67 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Desfolha do bananal**. Bahia: 2004, n. 53, p. 1–2.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **O cultivo da bananeira**. Bahia: 2004.

FACHINI, D. **Aglomerante alternativo para construção civil**. Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, p. 108, 2010.

FIORAVANÇO, J. . C. **Mercado mundial da banana: produção, comércio e**

participação brasileira. Informações econômicas, v. 33, n. 10, p. 15–27, 2003.

GOYAL, R. K.; TIWARI, A. **Use of Banana Leaves Ash in Concrete.** International Journal for Scientific Research & Development, v. 4, n. 03, p. 1696–1697, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento sistemático da produção agrícola.** v. 28, n. 12, p. 1–88, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola Municipal: Culturas temporárias e permanentes.** v. 43, p. 1–62, 2016.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Inter- governmental Panel on Climate Change.** Cambridge, United Kingdom and New York, USA.: Cambridge University Press, 2007. 851 p.

KANNING, R. C. **Caracterização da cinza da folha de bananeira (Musa spp) - avaliação do potencial pozolânico.** Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2010. 71 p.

KANNING, R. C. **Utilização da cinza de folha de bananeira como adição em argamassas de cimento portland.** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2013. 192 p.

LACERDA, Charles Siervi. **Estudo da influência da substituição de cimento Portland por metacalium em concreto.** São Paulo: EPUSP, 2005. 20 p.

LEA, FREDERICK; DESCH, C. **The chemistry of cement and concrete.** London: Arnold, 1956. 637 p.

LÉCOLIER, E. et al. **Durability of Hardened Portland Cement Paste used for Oilwell Cementing.** Oil & Gas Science and Technology, v. 62, n. 3, p. 335–345, 2007.

LEONHARDT, F.; MÖNNIG, E. **Construções de concreto.** 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. 336 p.

LESKO, S. et al. **Investigation by atomic force microscopy of forces at the origin of cement cohesion.** Ultramicroscopy, v. 86, n. 1–2, p. 11–21, 2001.

LIMA, A. J. O. Estudo da utilização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar no concreto de cimento portland. Palmas: Universidade Luterana do Brasil, 2018. 66 p.

MARIA, S. P. **Estudo da adição de cinza de folha de bananeira em argamassas.** Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2011. 87 p.

MAURY, M. B.; BLUMENSCHNEIN, R. N. **Produção de cimento : Impactos à saúde e ao meio ambiente.** Sustentabilidade em Debate, v. 3, n. 1, p. 75–96, 2012.

MEHTA, P. KUMAR; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais.** 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

MORAES, M. J. B. DE; FILHO, F. DE F. F.; AKASAKI, J. L. **Estudo comparativo entre quatro materiais pozolânicos para utilização em construções sustentáveis.** Revista Científica ANAP Brasil, v. 9, n. 15, p. 51–67, 2016.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto.** 2. ed. São Paulo: Pini, 2015.

NICOLA, D. et al. **Avaliação da substituição de areia natural de rio por areia de granito britado em concreto convencional.** IBRACON, v. 58° CBC, p. 1–10, 2016.

NUNES, I. H. S. et al. **Estudo das características físicas e químicas da cinza do bagaço de cana-de-açúcar para uso na construção.** Revista Tecnológica, v. 17, p. 39–48, 2008.

PATEL, J. A.; RAIJIWALA, D. D. B. **Experimental Study on Use of Sugar Cane Bagasse Ash in Concrete by Partially Replacement with Cement.** International Journal of Research in Science, Engineering and Tchnology, v. 4, n. 4, p. 2228–2232, 2015.

PAULA, M. O. DE. **Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006. 60 p.

PROGRAMA BRASILEIRO PARA A MODERNIZAÇÃO DA HORTICULTURA E PRODUÇÃO INTEGRADA DE FRUTAS. **Normas de classificação de banana.** São Paulo: CEAGESP, p. 7, 2006. (Documentos, 29).

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de Cimento Portland.** 13. ed. São Paulo: Globo, 1998.

REDDY, B. S.; ASSENZA, G. B. **The great climate debate.** Energy Policy, v. 37, n. 8, p. 2997–3008, 2008.

RODRIGUES, M. S.; BERBALDO, A. L. **Caracterização física e mecânica de argamassa à base de cimento Portland e cinza de casa de arroz residual.** Revista Engenharia Agrícola, v. 30, n. 2, p. 193–204, 2010.

SILVA FILHO, L. C. P. DA. **Durabilidade do concreto à ação dos sulfatos: Análise do efeito da permeação de água e da adição de microssílica.** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande Do Sul, 1994. 151 p.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. **Produção mensal de cimento**. 2017. 1 p.

STUTZMAN, P. **Scanning electron microscopy imaging of hydraulic cement microstructure**. Cement and Concrete Composites, v. 26, n. 8, p. 957–966, 2004.

THE CEMENT SUSTAINABLE INITIATIVE. **GNR Project - Report CO2**. Disponível em: <<http://www.wbcscement.org/GNR-2016/index.html>>. Acesso em: 8 set. 2018.

VIEIRA, L. M. **Brasil é o terceiro maior produtor de banana**. Revista Campo & Negócios, 2015.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABILITY DEVELOPMENT. **Cement technology roadmap plots path to cutting CO2 emissions 24% by 2050**. Paris and Geneva, 2018. p. 1-3.

YANEB, I. et al.. **Structure of the products of hydration of cement with shale ash**. International congress of the chemistry of cement. Paris, France, 1980. Proceedings. v III , pp 42-47.

TCC 2 - DANIELLA.docx (03/05/2019):

Documentos candidatos

ipcc.ch/ [0,1%]

ipcc.ch/reports/ [0,08%]

ucsusa.org/global-wa... [0,08%]

ipcc.ch/about/ [0,07%]

en.wikipedia.org/wik... [0,05%]

theguardian.com/envi... [0,05%]

usbcsd.org/ [0,04%]

wbcsd.org/ [0,03%]

english.stackexchang... [0%]

Arquivo de entrada: TCC 2 - DANIELLA.docx (9483 termos)

Arquivo encontrado	Total de termos	Termos comuns	Similaridade (%)
ipcc.ch/	Visualizar 1252	11	0,1
ipcc.ch/reports/	Visualizar 418	8	0,08
ucsusa.org/global-wa...	Visualizar 3054	11	0,08
ipcc.ch/about/	Visualizar 696	8	0,07
en.wikipedia.org/wik...	Visualizar 1395	6	0,05
theguardian.com/envi...	Visualizar 2211	6	0,05
usbcsd.org/	Visualizar 1912	5	0,04
wbcsd.org/	Visualizar 580	4	0,03

Parece haver uma restrição de acesso para