



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607, de 17/10/05, D.O.U. nº 202, de 20/10/2005
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Danilo Neto Curado

ESTUDO DE ADIÇÃO DE CINZA DA FOLHA DE BANANEIRA EM CONCRETO SUBSTITUINDO PARCIALMENTE O CIMENTO PORTLAND

Palmas – TO

2018

Danilo Neto Curado

ESTUDO DE ADIÇÃO DE CINZA DA FOLHA DE BANANEIRA EM CONCRETO
SUBSTITUINDO PARCIALMENTE O CIMENTO PORTLAND

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

Orientador: Prof. Especialista Fernando Moreno
Suarte Júnior.

Palmas – TO

2018

Daniilo Neto Curado

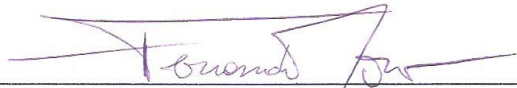
ESTUDO DE ADIÇÃO DE CINZA DA FOLHA DE BANANEIRA EM CONCRETO
SUBSTITUINDO PARCIALMENTE O CIMENTO PORTLAND

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

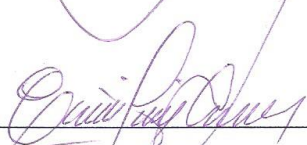
Orientador: Prof. Especialista Fernando Moreno Suarte Júnior.

Aprovada em 23 de maio de 2018.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Especialista Fernando Moreno Suarte Júnior
Centro Universitário Luterano de Palmas



Prof. M.Sc. Elzir Pinto Chagas
Centro Universitário Luterano de Palmas



Prof. M.Sc. Murilo de Pádua Marcolini
Centro Universitário Luterano de Palmas

Dedico este trabalho aos meus pais, Walter Abreu Curado e Dircélia Maria Neto Curado, por serem meus pilares e ao meu padrinho, Telésforo Guerra Filho, engenheiro civil formado pela UFPE, por ser minha inspiração.

Agradeço a Deus por me proporcionar saúde e sabedoria durante esta jornada. Aos meus pais pela força e palavras de apoio incondicional, permitindo que meu sonho se realizasse. Ao meu orientador Fernando Moreno Jr, pela disponibilidade, apoio e orientação, muito obrigado. Agradeço também ao colega e amigo Alef Júnior, pela parceria na discussão e desenvolvimento de ideias e procedimentos laboratoriais práticos. A equipe de laboratório, Miller e João, que sempre estiveram prontos a apoiar as tarefas executadas em laboratório, vocês foram essenciais. À minha esposa, Julia, por me apoiar minha dedicação aos estudos e ao desenvolvimento desta difícil e trabalhosa etapa acadêmica final e aos meus filhos e irmãs que me apoiaram sorridentes e com amor neste longo processo de aprendizado acadêmico.

“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo”. (Albert Einstein)

RESUMO

O presente trabalho discute o uso da cinza da folha da bananeira no concreto, como possibilidade para substituição parcial do cimento Portland. O estudo de materiais alternativos para a substituição do cimento tem fundamento em demandas ecológicas, econômicas e tecnológicas, além de que o alcance de um resultado positivo nesta pesquisa possibilita o aproveitamento de material abundante no Brasil. Este estudo foi realizado por meio de levantamento bibliográfico para a fundamentação teórica e ensaios laboratoriais para a apuração dos dados referentes ao comportamento das amostras utilizadas. A cinza da folha da bananeira, acrescida ao traço referência do concreto até um teor de 16%, se comporta de forma a manter as características físicas desejáveis de abatimento, resistência à compressão axial e absorção de água, desempenhando um comportamento satisfatório comparado ao traço referência e adequado às normas técnicas.

Palavras-chave: concreto; cinza da folha da bananeira; substituição; resistência; atividade pozolânica; aditivo mineral.

ABSTRACT

The present work discusses the use of the ash of the banana leaf in the concrete, as a possibility for partial replacement of Portland cement. The study of alternative materials for the replacement of cement is based on ecological, economic and technological demands, and the achievement of a positive result in this research allows the use of abundant material in Brazil. This study was carried out by means of a bibliographical survey for the theoretical basis and laboratory tests for the determination of the data referring to the behavior of the samples used. The ash of the banana leaf, added to the reference mix proportions of the concrete up to a content of 16%, behaves in such a way as to maintain the desirable physical characteristics of abatement, resistance to axial compression and water absorption, performing a satisfying behavior compared to the reference mix and accordingly to the technical standards.

Keywords: concrete; ash of the banana leaf; replacement; resistance; pozzolanic activity; additive.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Área de Estudo.....	34
Figura 2 – Pré-queima.....	37
Figura 3 – Forno de Zinco	37
Figura 4 – Folha reduzida	38
Figura 5 – Mufla a 850°C.....	38
Figura 6 – Moinho de Bolas.....	39
Figura 7 – Peneiramento da Cinza.....	39
Figura 8 – Cinza da Folha de Bananeira Moída.....	45
Figura 9 – Determinação Através do Frasco Le Chatelier	45
Figura 10 – Peneiramento da CFB	46
Figura 11 – Molde de Corpos de Prova Cilíndricos.....	48
Figura 12 – Corpos de Prova Submersos.....	49
Figura 13 – Slump.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais Compostos do Cimento Portland.....	22
Tabela 2 - Massa Unitária do Agregado Miúdo.....	40
Tabela 3 - Massa Específica do Agregado Miúdo.....	34
Tabela 4 - Distribuição Granulométrica do Agregado Miúdo.....	41
Tabela 5 - Massa Unitária do Agregado Graúdo.....	42
Tabela 6 - Massa Específica do Agregado Graúdo.....	43
Tabela 7- Distribuição Granulométrica do Agregado Graúdo.....	43
Tabela 8 - Determinação da Massa Específica da CFB	45
Tabela 9 - Traços em Massa (kg)	47
Tabela 10 - Corpos de Prova Moldados.....	48
Tabela 11 - Rompimento com Idade de 3 dias.....	51
Tabela 12 - Rompimento com Idade de 7 dias.....	52
Tabela 13 - Rompimento com Idade de 14 dias.....	53
Tabela 14 - Rompimento com Idade de 28 dias	54
Tabela 15 - Comparativo de Teores e Idades.....	55
Tabela 16 - Absorção com 28 dias – Amostras Secas	61
Tabela 17 - Absorção com 28 dias – Amostras Saturadas.....	61
Tabela 18 - Resultado da Absorção.....	61

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curva Granulométrica de Agregado Miúdo.....	42
Gráfico 2 - Curva Granulométrica de Agregado Graúdo.....	44
Gráfico 3 - Comparação das Médias com 3 dias	51
Gráfico 4 - Comparação das Médias com 7 dias	52
Gráfico 5 - Comparação das Médias com 14 dias	53
Gráfico 6 - Comparação das Médias com 28 dias	55
Gráfico 7 - Comparação dos Diferentes Teores e Idades	56
Gráfico 8 - Comportamento do Traço Referência	57
Gráfico 9 - Comportamento do Traço + 4%.....	57
Gráfico 10 - Comportamento do Traço + 8%.....	58
Gráfico 11 - Comportamento do Traço + 16%.....	59
Gráfico 12 - Linha de Tendência de Teores de CFB.....	59
Gráfico 13 - Absorção de Água	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Absorção de água
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	American Concrete Institute
C2S	Silicato de cálcio hidratado
C3A	Aluminato tricálcico
C3S	Silicato tricálcico
C4AF	Ferro aluminato tetracálcico
CFB	Cinza da Folha de Bananeira
CO ₂	Gás Carbônico (dióxido de carbono)
CP	Corpo de Prova
aC-S-H	Silicato de cálcio hidratado
Ceulp	Centro Universitário Luterano de Palmas
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
g	Gramma
h	Hora
Km/h	Quilowatt por hora
Kg	Quilograma
Mpa	Mega Pascal
Ms	Massa seca
Msat	Massa saturada
Mm	Milimetro
NBR	Norma Brasileira
SEAGRO.TO	Sec. Est. Agric. do Estado do Tocantins
T	Tonelada
Tf	Tonelada Força
TR	Traço Referencia
°C	Graus Célsius
Ulbra	Universidade Luterana do Brasil
µm	Micrometro

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	Problema da Pesquisa	16
1.2	Hipótese	16
1.3	Objetivos	16
1.3.1	Objetivo Geral.....	16
1.3.2	Objetivos Específicos	16
1.4	Justificativa.....	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
2.1	Concreto (Conceito/História/Utilização).....	18
2.1.1	Conceito.....	18
2.1.2	História.....	19
2.1.2	Utilização.....	19
2.2	Materiais.....	21
2.2.1	Aglomerante.....	21
2.2.2	Agregado.....	24
2.2.3	Adição Mineral.....	26
2.2.4	Aditivo Químico.....	28
2.3	Adição Pozolânica de Resíduos.....	29
2.3.1	Folha de Bananeira.....	32
2.3.1.1	Conceito da Produção/Quantidade.....	33
2.3.1.2	Processo de Incineração.....	33
2.3.1.3	Cinza de Folha de Bananeira.....	33
3	METODOLOGIA	34
3.1	Desenho do Estudo.....	34
3.2	Local e Período de Realização da Pesquisa.....	34
3.3	Objeto de Estudo.....	35
3.4	Critérios de Inclusão e Exclusão.....	35
3.5	Variáveis.....	35
3.6	Coleta e Processamento.....	35
4	RESULTADOS	36
4.1	Propriedades Físicas dos Insumos.....	40
4.1.1	Agregados.....	40

4.1.2 Cimento.....	44
4.1.3 Água	44
4.1.4 Cinza da Folha da Bananeira.....	44
4.2 Ensaio do Concreto.....	46
4.2.1 Corpos de prova: dosagem e cura.....	46
4.2.2 Ensaio no Estado Fresco.....	49
4.2.3 Ensaio no Estado Endurecido.....	50
4.2.3.1 Ensaio de Resistência a Compressão Axial.....	50
4.2.3.2 Ensaio de Absorção de Água.....	60
5 CONCLUSÃO E SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	63
REFERÊNCIAS.....	65

INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem por escopo a análise do uso da cinza derivada da queima da folha da bananeira na substituição do cimento Portland na composição do concreto.

Faz-se importante mencionar a situação de consumo de energia e recursos não sustentáveis pela Engenharia Civil. Consume-se, segundo informações da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), no mundo anualmente 11 bilhões de toneladas de concreto. O concreto está em tudo e é considerado o segundo produto mais consumido no mundo, perdendo apenas para a água e pesquisas demonstram que o consumo está aumentando com o grande volume de obras urbanas (ABCP, 2016).

A busca por outros materiais que se mostrem mais baratos e sustentáveis e igualmente aproveitáveis ou que confirmem propriedades benéficas ao concreto justifica pesquisas como a que se pretende com este projeto. Pressupomos a possibilidade de utilização da cinza da folha da bananeira em proporções que, ainda que pequenas, não prejudiquem a qualidade do concreto.

Chegar a um resultado positivo possibilitará o aproveitamento de material abundante no Brasil. A banana é a fruta mais produzida no país, que se classifica entre os 5 maiores produtores de banana no mundo. Na produção da fruta para consumo alimentar as folhas da bananeira são descartadas (Embrapa, 2014).

Segundo a EMBRAPA(2014) obtém-se a folha de bananeira através da desfolha do bananal o qual consiste na eliminação das folhas que não são mais úteis para planta. A banana (*Musa spp.*), pertence à família Musaceae é considerada a fruta tropical de maior produção e consumo no mundo, com colheita de 106 milhões de toneladas em 2014. O Brasil colheu 6,8 milhões de toneladas em 2014 e ocupou o 4º lugar mundial em produção, perdendo apenas para Índia, China e Filipinas.

Trazendo para a nossa realidade regional temos dois municípios no estado do Tocantins que produzem banana para abastecer o mercado local, que são o município de Palmas, com produção de 430 toneladas, e o de Dianópolis, que produziu 4.000 toneladas em 2014 (SEAGRO.TO).

Este trabalho se ocupa de apresentar o referencial teórico e os dados pelos quais se pretendeu verificar a hipótese levantada, analisando como o nosso objeto de

estudo – que é a cinza da folha da bananeira – funcionou como substituto do Cimento Portland na busca pela solução do problema de pesquisa apresentado.

Assim, este trabalho está organizado de forma a, primeiramente, introduzir o tema, e apresentar o problema de pesquisa, as hipóteses, os objetivos e a sua justificativa de ser. Depois disso, apresentamos referencial teórico que fundamenta as hipóteses levantadas e que permite a conceituação e compreensão de cada uma das variáveis em análise para um melhor entendimento dos resultados alcançados e a melhor análise e discussão desses resultados. Em seguida, apresentamos a metodologia utilizada, a fim de que estejam claras as etapas que fizeram parte da preparação e manipulação dos materiais e do processamento dos dados em análise. Por fim, apresentamos os resultados obtidos e a sua discussão, de forma a comprovar as hipóteses levantadas e verificar o alcance dos objetivos deste trabalho.

1.1 Problema da Pesquisa

É possível diminuir o consumo de cimento Portland utilizando a Cinza da Folha da Bananeira na composição do concreto?

1.2 Hipótese

Para o presente trabalho levantamos as hipóteses de:

- Possibilidade de utilização da cinza da folha da bananeira como material substituto de parte do cimento Portland na composição do concreto; e, também, a possibilidade de a quantidade dessa cinza utilizada na substituição pode chegar até a proporção de 20% do cimento Portland.
- Pode ser utilizado a cinza na produção do concreto, porém caso os teores sejam elevados ele prejudicará as propriedades do concreto.
- Outro fator importante será no cuidado na queima da folha, temperatura e tempo de queima, para não haver um prejuízo na qualidade da cinza.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Estudo de adição de cinza da folha de bananeira em concreto substituindo parcialmente o cimento Portland.

1.3.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos temos:

- Realizar a coleta da folha de bananeira e transformar o resíduo em aditivo mineral;
- Determinar a dosagem e estudo dos insumos para produzir o concreto. Testar as dosagens de 4%, 8% e 16% de cinza da folha da bananeira substituindo o cimento Portland no concreto;

- Realizar estudos das propriedades físicas do concreto substituindo teores de seus componentes;
- Apresentar estudo comparativo entre os diferentes traços utilizados na produção do concreto.

1.4 Justificativa e Importância do Trabalho

O presente estudo levanta a hipótese da viabilidade da utilização da cinza da folha da bananeira substituindo parcialmente o cimento Portland na produção do concreto.

A prática do aproveitamento de resíduos alternativos na construção civil e na indústria tem sido intensificada em virtude de as mesmas serem grandes consumidoras de materiais naturais em seus processos produtivos.

No caso da construção civil, a diminuição no consumo do cimento resulta na redução da exploração das jazidas de calcário e argila, conseqüentemente reduzindo o impacto ambiental nas áreas de exploração destes minérios de fonte natural. O uso de materiais agroindustriais, como é o caso da cinza da folha da bananeira, decorre do estudo de novas soluções tecnológicas satisfatórias.

Diante da grande importância do assunto, percebe-se a necessidade da análise de meios que aliem o desenvolvimento tecnológico à preservação do meio ambiente e sustentabilidade e que se façam socialmente úteis. A escolha de um material abundante e que se encaixe nessas condições de preservação é essencial para que alcancemos o conceito de sustentabilidade na construção civil.

A escolha da cinza derivada da folha da bananeira pode ser uma nova fonte de renda para os produtores de banana, que obtém seu sustento da venda da fruta apenas. A utilização e destinação da biomassa pode gerar novos empregos e reduzir os custos na construção civil urbana.

Além disso, ainda há os benefícios para a planta que, ao eliminar suas folhas, oferece ao bananal mais arejamento e luminosidade, além do controle de pragas, melhora na fotossíntese (EMBRAPA, 2014).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Concreto

2.1.1 Conceito

A palavra concreto advém do Latim *concretus*, derivado de *concrecere*, que significa crescer em conjunto, aumentar por processo de agregação. Concreto é o material derivado da mistura do conjunto: água, cimento, agregado miúdo e agregado graúdo. Petrucci explica que a mistura da água com o cimento é denominada pasta, e quando a essa pasta adiciona-se agregado miúdo chega-se à argamassa, e que ao concreto, considerado uma argamassa, chega-se com a adição de agregado graúdo, sendo, portanto, o concreto o resultado da mistura da pasta aos agregados (PETRUCCI, 1998).

A função da pasta é envolver os agregados, de forma a preencher os vazios e proporcionar maleabilidade enquanto fresco o concreto e permitir a aglutinação dos agregados resultando na impermeabilidade, resistência e durabilidade quando endurecido. Já os agregados exercem a função de controle de resistência e desgaste, redução da variação de volume e também redução dos custos (PETRUCCI, 1998).

O concreto feito do cimento Portland é o material mais utilizado em construções atualmente, seu emprego engloba das pequenas às construções de grande magnitude como represas e barragens. Em comparação a outros materiais utilizados na construção civil (tais como a cerâmica, os metais e os polímeros) o concreto é o que apresenta o menor custo, apresenta força, durabilidade e requer menos energia para ser produzido (MALHOTRA e MEHTA, 1996).

Observamos a definição de Petrucci:

“O cimento Portland é um material pulverento, constituído de silicatos e alumínios de cálcio, praticamente sem cal livre. Esses silicatos e aluminatos complexos, ao serem misturados com água, hidratam-se e produzem o endurecimento da massa, que pode então oferecer elevada resistência mecânica.” (PETRUCCI, 1998, p.5)

2.1.2 História

O uso de materiais cimentícios remonta aos povos antigos, como os egípcios, que utilizavam gesso impuro e os gregos e romanos que utilizavam calcário calcinado. A adição de areia e pedra fragmentada, calcário e água deu origem ao primeiro concreto da história. A descoberta se deu devido a necessidade dos romanos de construir debaixo d'água, quando perceberam a necessidade da adição da cal com a cinza vulcânica ou telhas de barro cozida moídas (que continham sílica e alumina). Estruturas construídas em alvenaria assentada com argamassa perduraram e são encontradas no Coliseu e no Panteão em Roma, nas ruínas de Pompéia, na Itália e em Pont du Gard, na França (NEVILLE, 2016).

Novos avanços no uso do cimento aconteceram no século XIII quando, em 1756, John Smeaton descobriu que a mistura de calcário com elevado teor de material argiloso à pozolana resultava na melhor argamassa, o que possibilitou a identificação da cal hidráulica, obtida a partir da mistura calcinada de calcário e argila. Mais tarde se desenvolveram outros cimentos hidráulicos e em 1824, James Parker obteve o que chamou de “cimento Romano” a partir da calcinação do calcário argiloso e deu início ao que culminou na patente para o cimento Portland, por Joseph Aspdin. Em 1845 Isaac Johnson calcinou uma mistura de argila e giz até chegar ao clínquer, obtendo um composto com alta capacidade cimentante (NEVILLE, 2106).

2.1.3 Utilização

O concreto é um material de construção de suma importância e responsabilidade e, por isso, precisa ser submetido a controle de qualidade. Suas características são influenciadas por diversas variáveis e, por isso, é indispensável que se faça rigorosa seleção dos materiais a serem utilizados na mistura e uma adequada dosagem (BAUER, 2014).

Segundo Bauer, esse material possui características específicas a serem analisadas:

“O concreto, considerado como um sólido a partir da pega, é um material em perpétua evolução. É sensível às modificações das condições ambientes, físicas, químicas, mecânicas, com reações geralmente lentas registradas de

certo modo nas suas características (...). Essas características e propriedades, em seu conjunto, qualificam o concreto.” (BAUER, 2014, p.284)

Petrucci (1998, p.1) ensina que o concreto viável é aquele que se apresenta como “durável, resistente, econômico e de bom aspecto” e sua qualidade “dependerá primeiramente da qualidade dos materiais componentes”, portanto, esses devem ser cuidadosamente escolhidos a partir de critérios como a uniformidade, o proporcionamento, a manipulação e a hidratação. Quanto à uniformidade, têm-se preferência por resultados de qualidade constante, ainda que medianos, em vez de oscilantes – ora excelentes, ora regulares. O proporcionamento diz respeito às quantidades de cada material empregado na relação entre cimento/agregado e água/cimento. Deve-se atentar também para a manipulação adequada durante a mistura, o transporte, lançamento e adensamento do concreto. Já a hidratação se refere à cura do concreto, que demanda que se hidrate por bastante tempo dentro de condições ambientais favoráveis.

Na mesma linha de pensamento, Bauer (2014) acredita também que o fator economia deve ser levado em consideração quando se analisa a qualidade do concreto. Isso porque o processo para o alcance do máximo de perfeição das características da qualidade desejada do concreto pode resultar em um elevado preço e como contrapartida observa que é possível utilizar como alternativa satisfatória material de custo mais baixo e qualidade inferior, desde que atenda “às condições de vida em serviço da estrutura”.

A importância do aspecto econômico da mistura do concreto também é reconhecida por Tartuce, que identifica no estudo da dosagem o meio eficaz de se chegar à mistura mais econômica “desde que atenda às condições de trabalho, levando-se em consideração as características dos materiais existentes à disposição” (TARTUCE, 1989, p.19). Segundo ele, as principais características a serem observadas são: agressividade do meio, tensões características, trabalhabilidade, dimensões das formas e barras de aço e, também, forma, estrutura e dimensão máxima dos agregados.

Para Petrucci (1998) devem ser consideradas as características que abrangem as propriedades de cada material componente, as propriedades do concreto e os fatores que possam alterá-lo, as proporções corretas e execução cuidadosa da mistura, os meios de transporte, lançamento e adensamento compatíveis com a obra

e, por fim, a execução do controle durante a preparação e após o endurecimento do concreto.

2.2 Materiais

2.2.1 Aglomerante

Materiais de construção aglomerantes são materiais com propriedades ligantes capazes de promover a união entre os grãos dos agregados. A aglutinação entre os materiais do conjunto que formam o concreto influencia a resistência do material. O material aglomerante é responsável pela formação da pasta quando adicionado à água.

Segundo a ABNT NBR 5732/1991, a definição de cimento abrange:

"Aglomerante hidráulico obtido pela moagem do clínquer Portland ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem é permitido adicionar a esta mistura materiais pozolânicos, escórias granuladas de alto-forno e/ou materiais carbonáticos em teores especificados pela Norma."

Podemos citar, também, a definição de cimento de Neville (2016):

"Cimento, no sentido geral da palavra, pode ser descrito como um material com propriedades adesivas e coesivas que o fazem capaz de unir fragmentos minerais na forma de uma unidade compacta. Essa definição abrange uma grande variedade de materiais cimentícios." (NEVILLE, 2016, p.1)

No campo da engenharia civil, quando se fala em cimento, refere-se a material aglomerante utilizado em conjunto a outros materiais, principalmente aqueles que são compostos de calcário. Isso se dá devido a reação química que acontece quando a água é adicionada, condição e propriedade que caracteriza os cimentos e que permite que esse material reaja e endureça sob a água. (NEVILLE, 2016). Neville (2016) se pronuncia a respeito do Cimento Portland como sendo um material constituído basicamente de calcário, cujo processo de fabricação engloba a moagem da matéria prima, sua mistura em proporções propositais e a sua queima, e uma vez atingida a forma de clínquer, por fim, a adição de sulfato de cálcio para que seja moído e transformado em um fino pó.

Ainda sobre a definição de cimento, mais especificamente o Cimento Portland, observa-se:

“Cimento Portland é o produto obtido pela pulverização do clínquer constituído essencialmente de silicatos hidráulicos de cálcio, com uma certa proporção de sulfato de cálcio natural, contendo, eventualmente, adições de certas substâncias que modificam suas propriedades ou facilitam seu emprego” (BAUER, 2014, p.35)

Na definição acima, Bauer menciona o uso do clínquer na constituição do cimento. Para melhor compreensão, alonga-se e define clínquer como “um produto de natureza granulosa, resultante da calcificação de uma mistura daqueles materiais conduzida até a temperatura de uma fusão incipiente” (BAUER, 2014, p.35).

Tais materiais que compõem o cimento são cal, sílica, alumina e óxido de ferro essencialmente, e esses são responsáveis por 95% a 96% do total na análise dos óxidos (BAUER, 2014).

Bauer comente que a mistura dos componentes em proporções convenientes homogeneizada e pulverizada quando submetida a ação alta temperatura do forno produtor do cimento, até a temperatura de fusão incipiente, resulta na obtenção do *clinker*.

É importante mencionar a composição química do Cimento Portland. Nas definições de Adam Neville (2016), e a partir da tabela abaixo, podemos observar os quatro principais compostos que constituem o Cimento Portland. Na tabela eles são expressos em abreviaturas, onde cada letra descreve um óxido. De forma ordenada, são eles: CaO =C; SiO₂=S; Al₂O₃=A; Fe₂O₃=F; H₂O=H e SO₃=S.

Tabela 1: Principais compostos do cimento Portland

Nome do composto	Composição em óxidos	Abreviatura
Silicato tricálcico	3CaO.SiO ₂	C ₃ S
Silicato dicálcico	2CaO.SiO ₂	C ₂ S
Aluminato tricálcico	3CaO.Al ₂ O ₃	C ₃ A
Ferroaluminato tetracálcico	4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	C ₄ AF

Fonte: NEVILLE, 2016. Adaptado pelo Curado.

As propriedades físicas do cimento Portland são divididas em três aspectos: suas propriedades no estado natural em forma de pó, misturada com água em

proporções diversas tornando-se pasta e por fim esta pasta misturada com um agregado padronizado denominada como argamassa.

A ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland publica que o cimento Portland é considerado fundamental e é um dos materiais mais comuns construção civil. No Brasil se comercializa 11 tipos diferentes de cimento, que são divididos pelas suas características e propriedades diferentes que por sua vez são destinados a aplicações específicas (ABCP, 2017).

Basicamente a diferença está relacionada aos aditivos adicionados durante a moagem.

A sigla CP advém do próprio nome cimento Portland e os tipos são: CP I, CP I-S, CP II-E, CP II-Z, CP II-F, CP III, CP IV, CP V, RS, BC e CPB.

1. **CP I** – Cimento Portland comum

Este é o tipo mais básico disponível no mercado. Composto por apenas o gesso como aditivo com a função de retardador da pega, possibilitando um tempo maior para aplicação. Ele é utilizado em construções em geral.

2. **CP I-S** – Cimento Portland comum com adição

É o CP I com uma pequena adição de material pozolânico para melhorar a permeabilidade do produto final.

3. **CP II-E** – Cimento Portland com adição de escória de alto-forno

Estes são considerados compostos por recebem a adição de outro material com a finalidade de diminuir calor de hidratação, ou seja, quando em contato com a água ele faz com que o calor produzido seja menor.

4. **CP II-Z** – Cimento Portland com adição de material pozolânico

Ele é fabricado com adição de pozolana com a função de diminuir a permeabilidade.

5. **CP II-F** – Cimento Portland com adição de material carbonático – fíler

Composto com adição de 6% a 10% de material carbonático. É utilizado em aplicações diversas como concreto simples, armado, protendido, elementos pré-moldados, pisos e pavimentos de concreto etc.

6. **CP III** – Cimento Portland de alto-forno

Composto com teor de até 70% em massa com escória. Com a finalidade de garantir alta impermeabilidade e durabilidade, com baixo calor de hidratação, resistência a sulfatos e alta resistência à expansão. É recomendado para estruturas

de grande porte e agressividade, como barragens, fundações de máquinas e esgotos e afluentes industriais.

7. **CP IV** – Cimento Portland pozolânico

Possui entre 15% e 50% de aditivo pozolânico em sua composição para garantir alta impermeabilidade e maior durabilidade do material proporcionando estabilidade em ambientes de ataque ácido.

8. **CP V** – Cimento Portland de alta resistência inicial

É um cimento comum por não ser fabricado com adições. O processo de dosagem do clínquer que o diferencia. Este clínquer possui quantidades diferenciadas de argila e calcário com a sua moagem mais fina.

9. **RS** – Cimento Portland resistente a sulfatos

Presente em ambiente industriais, redes de esgoto e em obras em contato com água do oceânica.

10. **BC** – Cimento Portland de baixo calor de hidratação

Tem a função de retardar o desprendimento de calor em peças de grande porte, evitando o aparecimento de trincas e fissuras de origem térmica.

11. **CPB** – Cimento Portland branco

Sua característica principal é ser da cor branca. Pela utilização de materiais de baixo teor de manganês e ferro e a substituição da argila pelo caulim. É utilizado em rejuntas de cerâmica ou em estruturas aparentes.

2.2.2 Agregado

Para Petrucci (1998) “entende-se por agregado o material granular, sem forma e volume definidos, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para uso em obras de engenharia”, como por exemplo as rochas britadas, os fragmentos rolados no leito dos rios e os materiais encontrados em jazidas, originadas de alterações de rochas.

Bauer define agregado como “material particulado, incoesivo, de atividade química praticamente nula, constituído de misturas de partículas cobrindo extensa gama de tamanhos” (BAUER, 1998). O autor nos alerta que o emprego do termo é de uso generalizado na tecnologia do concreto, podendo, por vezes assumir nomes específicos como filler, bica-corrída, pedra britada, entre outros.

A esses materiais deve-se dar a devida importância, observando sua capacidade de influenciar as características finais do concreto, como pode-se observar nos ensinamentos de Petrucci:

“Os agregados têm um importante papel nos concretos e argamassas no ponto de vista técnico e econômico e exercem grande influência tratando-se das características, como: aumento de resistência aos desgastes, retração e etc, sem comprometer a sua resistência aos esforços mecânicos, quando se trata dos agregados de boa qualidade estes tem resistência mecânica superior à da pasta de aglomerante”. (PETRUCCI,1998).

Para Neville (2016), essa importância atribuída aos agregados não é de surpreender, já que representam $\frac{3}{4}$ da composição do volume do concreto. Tais materiais podem limitar a resistência do concreto e afetar significativamente sua durabilidade e seu desempenho. Mas esses materiais, que uma vez foram tidos como materiais inertes e eram utilizados principalmente por razões econômicas, mostraram-se vantajosos e apresentaram-se como materiais capazes de influenciar a qualidade do concreto, além de terem um custo menor que o cimento, o que justifica o seu uso na maior proporção possível (Neville, 2016).

Além do que observou, Neville salienta que o fator econômico não é o único a ser levado em consideração:

“Os agregados são mais baratos do que o cimento, então é econômico utilizá-los na maior quantidade possível, diminuindo, assim, a quantidade de cimento. A economia, entretanto, não é a única razão para o uso dos agregados: eles proveem vantagens técnicas consideráveis ao concreto, que tem maior estabilidade de volume e maior durabilidade do que a pasta de cimento hidratada.” (Neville, 2016).

A classificação dos agregados pode se dar segundo a sua origem, dimensão de partículas ou peso específico aparente. Se classificados segundo a origem, podem ser naturais – já encontrados na natureza (como a areia e o cascalho) – ou industrializados (obtidos a partir do processamento de diversas matérias primas como rocha, escória de alto-forno e argila). Se classificados de acordo com as dimensões de suas partículas, podem ser divididos em agregado miúdo e graúdo. E, por fim, quando classificados por seu peso específico aparente, são separados como leves, médios e pesados (BAUER, 2014).

Uma classificação que o autor comente é a que separa os agregados leves, normais e pesados. Considerando a massa específica aparente. Exemplificando as pedra-pomes, argila expandida e vermiculita como os leves; barita, limonita e magnita

como normais; e as pedras britadas, seixos e areias como pesados. Outra classificação é a que separa os agregados como natural e artificial, denominando os naturais como os que podem ser encontrados na natureza e os artificiais os que são modificados pela ação do homem (PETRUCCI,1998).

Petrucci (1998) considera como a classificação mais importante dos agregados a que os divide segundo o seu tamanho, mais especificamente em agregados miúdos e agregados graúdos e exemplifica os miúdos com o filler e areia e os graúdos com os pedriscos, seixo rolado e pedra britada.

Neville (2016) corrobora com a ideia de que a separação principal dos agregados é a que os define em razão da dimensão, separando-os em agregados miúdos e agregados graúdos. Os miúdos, que também podem ser chamados de areia, têm dimensão inferior a 4mm, já os graúdos têm dimensão mínima de 5mm.

Conforme percebe Bauer, os agregados “constituem um componente importante no concreto, contribuindo com cerca de 80% do peso e 20% do custo de concreto estrutural sem aditivos, de Fck da ordem de 15MPa” (BAUER, 2014). Dessa forma, é inevitável considerar a importância da análise dos agregados, que além de representarem muito em peso e pouco em custo, podem variar muito em suas características, por isso são cuidadosamente estudados e têm sua qualidade controlada antes e durante a execução de uma obra. O autor também alerta que os aglomerados “não devem reagir perante o cimento e ser estáveis perante os agentes que irão entrar em contato com o concreto” (BAUER, 2014).

Materiais que possuem baixa resistência a compressão ou, ainda, que prejudiquem a aderência à argamassa, ou ainda que interfiram na pega ou no endurecimento tais como rochas macias, materiais que contenham pirita, gesso, componentes ferrosos, impurezas orgânicas, etc, não servem como agregados. Isso porque o tipo de agregado influencia propriedades do concreto. Essa alteração de propriedades se manifesta em características como resistência à compressão, durabilidade, trabalhabilidade, permeabilidade e ascensão capilar são alteradas (BAUER, 2014).

2.2.3 Adição Mineral

A NBR 11172/1990 é a norma que se encarrega da terminologia dos aglomerantes de origem mineral. Essa norma define que o termo adição, diferente de

aditivo - assunto tratado no próximo tópico -, deve ser utilizado para denominar “produto de origem mineral adicionado aos cimentos, argamassas e concretos, com a finalidade de alterar suas características”. Recomenda também que do termo “aditivo” para “produto químico adicionado em pequenos teores às caldas, argamassas e concretos com a finalidade de alterar suas características no estado fresco e/ou no endurecido”.

Os aditivos minerais são utilizados juntamente com o cimento Portland no intuito de proporcionarem um resultado tecnológico diferente daquele obtido pelos produtos cimentícios, visando uma melhora ou ainda a diminuição dos custos de produção quando substituições são realizadas.

Adições minerais não se confundem com aditivos. Elas são diferentes dos aditivos químicos mencionados logo mais, uma vez que têm a função de somar ou substituir o cimento.

O cimento Portland, por algum tempo, foi visto como o melhor material cimentício do concreto, chegando a ser considerado único ou ideal. Nesse contexto, quando um material cimentício alternativo era utilizado, ou ainda testado, seu desempenho era unicamente comparado ao desempenho do concreto que contivesse cimento Portland, que era aquele considerado puro (NEVILLE, 2016).

Neville (2016) explica que o cimento Portland não deve ser considerado o melhor:

"A grande variedade de tipos [...] ou classes [...] de cimentos e, acima de tudo, de materiais cimentícios e outros materiais utilizados nos cimentos compostos pode resultar em um dilema de grandes proporções. Qual é o melhor cimento? Qual cimento deve ser usado para determinado fim? Não existe uma resposta simples para essas questões, mas uma abordagem racional pode levar a resultados satisfatórios. Em primeiro lugar, nenhum cimento é o melhor em todas as situações. Mesmo se o custo for ignorado, o cimento Portland comum não é imbatível, embora no passado ele tenha sido, por interesses comerciais, alardeado como um produto puro, sem adulterações."

Hoje, sabe-se que o concreto de alto desempenho advém de cimentos compostos, que são, inclusive, mais duráveis e, também, que conforme a propriedade desejada do concreto diferentes tipos de concreto, contendo outros materiais cimentícios que não o cimento Portland, podem ser utilizados (NEVILLE, 2016).

Ainda sobre a utilização desses materiais cimentícios diferentes, Neville leciona que esses materiais "são atualmente considerados ingredientes do concreto" (NEVILLE, 2016).

Argumenta-se que a utilização de diferentes materiais cimentícios na composição do concreto se fundamente além da economia energética e de recursos. É sabido que em comparação ao cimento Portland, usar materiais diferentes contribui para os fatores econômicos e de sustentabilidade mencionados acima, porém, são reconhecidas vantagens técnicas do seu uso.

Nesse sentido, observamos a opinião de Adam Neville sobre o uso de cinza volante, escória granulada de alto-forno e sílica ativa: "eles devem ser utilizados em detrimento de uma mistura constituída somente de cimento Portland, independentemente de aspectos econômicos ou ambientais." (NEVILLE, 2016). É imprescindível, no entanto, que se comprove por meio de ensaios e pesquisa as propriedades específicas de misturas que contenham diferentes materiais cimentícios, inclusive em diferentes proporções, como objetiva o presente trabalho.

2.2.4 Aditivo Químico

Aditivos são elementos capazes de aprimorar as características, introduzindo qualidade ou diminuindo os defeitos do concreto. Porém, não fazem parte da composição principal ou essencial da mistura do concreto, como é o caso do cimento Portland, dos aglomerados e das adições minerais.

Vejamos mais uma definição:

"Pode-se definir como ADITIVO todo produto não indispensável à composição e finalidade do concreto, que colocado na betoneira imediatamente antes ou durante a mistura do concreto, em quantidades geralmente pequenas e bem homogeneizado, faz aparecer ou reforçar certas características". (BAUER, 2014)

Aditivo são materiais que, segundo Petrucci, ao serem incorporados ao concreto são capazes de melhorar ou reforçar suas características, aprimorando seu preparo e utilização. Sua aplicação objetiva: retardamento ou aceleração de pega; aumento de compacidade; melhora da trabalhabilidade; melhora a impermeabilidade; diminuição da retração; melhora do endurecimento nas concretagens em tempo frio; aptidão para ser injetada; preparo de concretos leves; diminuição no calor de hidratação e retirada de forma em menor tempo (PETRUCCI, 1998).

Aditivos são materiais que não são essenciais para a mistura do concreto, mas são considerados componentes importantes e têm sido cada vez mais difundidos,

apesar de não serem componentes baratos. No entanto, acrescentar aditivos ao concreto não significa necessariamente o aumento no custo do concreto, já que por vezes podem representar uma economia no custo da mão de obra do adensamento, em consumo de cimento, entre outros (NEVILLE, 2016).

Petrucci classifica os principais aditivos em: plastificante; incorporador de ar; produtos de cura; dispersores; impermeabilizantes e produtores de gás ou espuma. Embora o autor entenda essa classificação como incompleta, salienta que contém os principais aditivos (PETRUCCI, 1998).

Os aditivos plastificantes são capazes de melhorar a plasticidade do concreto ou da argamassa ao qual é incorporado e resulta em aprimoramento de qualidades uma melhor compactação, diminuição da retração, aumento da resistência e economia de aglomerantes. Aditivos incorporadores de ar melhoram a plasticidade e aumentam a durabilidade do produto final. Os produtos de cura são capazes de agir assim que pulverizados sobre o concreto, selando os capilares e evitando a evaporação da água de amassamento; são particularmente favoráveis ao uso em condições de baixa higrometria, intensa insolação ou ventos fortes. Por sua vez, os aditivos dispersores têm a função de melhorar a resistência mecânica, ou obter argamassas injetáveis. Aqueles classificados como impermeabilizantes possuem ações que repelem a água e os produtores de gás produzem concretos porosos (PETRUCCI, 1998).

Neville (2016) esclarece:

“Deve ser destacado que, quando adequadamente utilizados, os aditivos são benéficos ao concreto. Entretanto, eles não são uma solução para a má qualidade dos componentes da mistura nem para o uso de proporções incorretas na mistura, tampouco para a mão de obra deficiente no transporte, no lançamento e no adensamento.” (NEVILLE, 2016)

Portanto, o aditivo sozinho não é capaz de melhorar condições que sejam responsabilidade dos componentes essenciais da mistura do concreto. Não serve como substituto para a qualidade dos componentes do concreto, nem para sanar falhas na sua produção.

2.3 Adição pozolânica de resíduos

Como definição de pozolana temos:

“Pozolanas são substâncias silicosas e aluminosas que, embora não tendo qualidades aglomerantes próprias, reagem com a cal hidratada na presença de água, nas temperaturas ordinárias, resultando a formação de compostos cimentícios. Esses materiais podem ocorrer naturalmente ou ser produzidos em instalações industriais adequadas, sendo os primeiros encontrados como cinzas vulcânicas e os segundos resultantes do beneficiamento de argilas cozidas, cinzas volantes, e algumas escórias.” (BAUER, 2014).

E ainda:

“Pozolana é um material silicoso ou silicoso e aluminoso que possui pouca ou nenhuma propriedade cimentícia em si mesmo, no entanto, quando dividido em pequenas partes e na presença de hidratação, reage quimicamente com hidróxido de cálcio em temperaturas ordinárias para formar compostos que possuem propriedades cimentícias” (MALHOTRA, MEHTA, 1996).

Como exemplo de materiais com as características acima detalhadas, citam-se as cinzas vulcânicas, a argila calcinada e a cinza de carvão pulverizado de usinas termoelétricas estão entre os materiais pozolânicos comumente utilizados” (MALHOTRA, MEHTA, 1996).

Neville indica a necessidade da apresentação da sílica em forma reativa para que determinado material seja denominado pozolana e para tanto ressalta a necessidade desse material estar finamente moído e na presença de umidade para que sua reação ao hidróxido de cálcio a temperatura ambiente forme compostos cimentícios a partir de silicatos de cálcio (NEVILLE, 2016).

Presume-se que o emprego de pozolanas é muito antigo, seu uso pode ter sido descoberto por engano e suas propriedades aglomerantes reconhecidas. Levam esse nome devido a cidade de Pozzuoli, na Itália, localizada perto do Monte Vesúvio, onde foram encontrados depósitos naturais desse material (BAUER, 2014).

Segundo Malhotra e Mehta, materiais pozolânicos derivados do mármore foram usados como material cimentício em construções no Império Romano e uma das fontes pozolânica era a cinza decorrente da explosão vulcânica do Monte Vesúvio, a mesma que destruiu a cidade de Pompéia, na Itália. Cinzas naturais similares também foram encontradas na Ilha de Santorini, na Grécia e na Alemanha e, ainda, há relatos de que materiais pozolânicos tenham sido utilizados na Índia e no Egito (MALHOTRA, MEHTA, 1996).

Bauer ainda menciona como sua utilização foi sendo reduzida:

“Com o desenvolvimento da indústria de cimento Portland, a utilização das pozolanas foi abandonada, havendo, entretanto, uma tendência recente de intensificação do emprego desse material, traduzida no número significativo de obras realizadas com ele e mesmo na orientação de fabricantes de cimento, que iniciam a produção de cimentos pozolânicos englobando, já durante a manufatura, uma proporção desse material” (BAUER, 2014).

Essa tendência de retorno do uso das pozolanas como componentes do concreto é reforçada com a confirmação por meio de pesquisas da qualidade e das propriedades do concreto onde estão presentes. Dessa forma, Bauer reforça:

“O uso conveniente das pozolanas nos concretos de cimento Portland melhora muitas das qualidades desse material, como, por exemplo, a trabalhabilidade; além disso, diminui o calor de hidratação, aumenta a impermeabilidade, assim como a resistência aos ataques por águas sulfatadas, águas puras e águas do mar, diminui os riscos de reação álcali-agregado, a eflorescência por percolação de água e, finalmente, os custos”. (BAUER, 2014).

Assim, afirma-se que estudo do comportamento das pozolanas e o seu uso é assunto extremamente complexo e a sua utilização “se vai tornando uma imposição de natureza econômica e tecnológica, principalmente nas obras de grande envergadura” (BAUER, 2014).

Para classificar os materiais pozolânicos, podemos afirmar que eles podem ser de origem natural ou artificial. Como material pozolânico artificial podemos citar as cinzas leves ou volantes, oriundas da queima de carvão pulverizado pelas usinas termoelétricas constitui como excelentes pozolana quando divididas e com composição química bem dosada. Temos também como pozolana artificial a cinza da casca de arroz tendo como os Estados Unidos como pioneiro na utilização deste pozolana (NEVILLE, 2016).

Observemos que “as pozolanas naturais mais encontradas são: cinza vulcânica (a pozolana original), pumicita, cherts e folhelhos opalinos, terras diatomáceas calcinadas e argila calcinada.” (NEVILLE, 2016).

A norma brasileira que classifica as pozolanas é a NBR 12653/2014, versão corrigida: 2015. Segundo a referida norma, são considerados materiais pozolânicos: pozolanas naturais e artificiais, argilas calcinadas, cinzas volantes e outros materiais não classificados, mas que apresentem atividade pozolânica; e estes são divididos em classes: N, C e E, enquadrando as pozolanas naturais na classe N (NEVILLE, 2016).

As propriedades físicas das pozolanas naturais podem gerar problemas e demandar maior quantidade de água ou dependerem de calcinação em temperaturas entre 550 e 1100°C (NEVILLE, 2016).

A cinza da casca do arroz é um resíduo natural de interessante utilização no concreto. Isso porque, segundo Neville (2016), esse material apresenta:

“Um teor elevado de sílica, e a queima controlada em temperaturas entre 500 e 700°C origina um material amorfo com estrutura porosa, resultando em uma superfície específica (medida por adsorção de nitrogênio) que pode chegar a 50.000 m²/kg, mesmo que o grão seja grande, entre 10 e 75 µm. Os grãos de cinza de casca de arroz têm formas complexas, refletindo suas plantas originais, e, conseqüentemente, demandam grande quantidade de água, a menos que sejam moídos em conjunto com o clínquer para quebrar a estrutura porosa” (Neville, 2016).

Concluiu-se pela contribuição da cinza da casca de arroz para a resistência do concreto ainda com pouco tempo de cura, no entanto, observou-se que para se alcançar a trabalhabilidade adequada e resistência ideal há necessidade de uso de aditivos com propriedades superplastificantes, o que gera prejuízo a vantagem econômica que se tentou alcançar. Outra dificuldade foi a coleta desse material para processamento em regiões menos desenvolvidas do mundo (Neville, 2016).

Pressupomos com o presente trabalho o uso da cinza derivada da folha da bananeira como material pozolânico artificial com qualidades cimentantes e passível de substituição, ainda que parcial, do cimento Portland como aglomerante por adição mineral.

2.3.1 Folha de bananeira

O Brasil colheu 6,8 milhões de toneladas em 2014 e ocupa o 4º lugar mundial em produção, perdendo apenas para Índia, China e Filipinas. (Embrapa, 2015). A banana é a fruta mais produzida e consumida no Brasil e no mundo. Estamos em quinto lugar no ranking em produção mundial de fruta. Está em primeiro lugar entre as frutas produzidas nos núcleos familiares brasileiros e é produzida em todos os estados brasileiros.

O estado do Tocantins produziu 5.500t de banana em 2016 (SEAGRO.TO). O projeto São João conta com uma área de 5.129 hectares sendo que 3.654 hectares de área irrigada com 100% voltados para a fruticultura tendo a banana como fruta

principal de produção. O município de Palmas tem uma produção de 430 toneladas de banana (IBGE 2016).

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) a produção média de pés de banana por hectare é de 1333 a 1666 plantas.

Um pé de bananeira produz cerca de 1.340g de folhas secas por ano (KANNING, 2010). Diante destas informações podemos dizer que anualmente a produção de cinza da folha de bananeira pode chegar a 2.232kg por hectare.

2.3.1.1 Conceito de produção e quantidade

A indústria brasileira de cimento é tecnologicamente atualizada e moderna, sendo, por exemplo, a média de consumo de energia por tonelada de cimento produzido no Brasil é de 107 kw/h, enquanto nos Estados Unidos o consumo é de 146 kw/h por tonelada. Mesmo assim a emissão de CO₂ por tonelada de cimento é aproximadamente da ordem de 610 kg (Cimento.org).

Atualmente a indústria cimenteira brasileira é composta por 24 grupos de fabricantes, com 34 marcas de cimento. São 100 fábricas espelhadas pelo território brasileiro produzindo mais 100 milhões de toneladas por ano (Cimento.org).

2.3.1.2 Processo de incineração

Baseando no método desenvolvido por KANNING (2010) e adaptado de acordo com os equipamentos disponíveis no Laboratório de Materiais de Construção do Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA) a cinza de folha de bananeira foi produzida a partir de uma pré-queima em forno de folha de zinco, para reduzir os volumes, logo levada a uma Mufla Fornitec modelo 1903, de dimensões 15X15X30cm numa temperatura de 850°C, e tempo de queima de 1h.

2.3.1.3 Cinza da folha de bananeira

A cinza da folha de bananeira pode ser considerado como um material pozolânico em concretos e argamassas (KANNING, 2010). Nos estudos de KANNING (2010) foi descoberto que a quantidade de cinza produzida através da queima em forno da folha de bananeira é de cerca de 10,57%.

3 METODOLOGIA

3.1 Desenho do Estudo

A metodologia de pesquisa quali-quantitativa foi utilizada para o alcance da finalidade da pesquisa aplicada. Os objetivos de estudo foram buscados por meio de um estudo exploratório, com foco no estudo de caso e levantamentos, além da realização de ensaios através de estudos laboratoriais.

3.2 Local e Período de Realização da Pesquisa

Para se realizar este estudo foram utilizadas as folhas coletadas das lavouras de bananas do projeto São João, uma área total 5.129 hectares, sendo 3.654 hectares de área irrigável, localizado a 35km de Palmas-TO. Estas folhas serão coletadas no período de março a abril de 2018. Localizada na latitude: 10°27' 42.41" e longitude: 48°21' 45.67".

Figura 1 – Área de Estudo



Fonte: Google Earth. Imagem de 2017.

O estudo foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção do Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA) nos meses de fevereiro, março e abril de 2018.

3.3 Objeto de Estudo

Temos como objeto de estudo a utilização de um material alternativo na composição da confecção do concreto. Este material é a cinza da folha da bananeira. Ele foi adicionado aos componentes do concreto, substituindo parcialmente o Cimento Portland em diferentes teores.

As folhas em estudo são apenas as folhas de bananeira de espécie prata. (nome científico: *Musa x Paradisiaca*, L. Musaceae).

3.4 Critérios de Inclusão e Exclusão

As folhas foram selecionadas manual e visualmente para a queima. Foram selecionadas apenas as da espécie Prata e somente aquelas que estiverem secas e sem impurezas como solo, insetos, umidade, fungos e adubo químico.

3.5 Variáveis

- Resistência a compressão.
- Absorção de água.
- Trabalhabilidade do concreto.

3.6 Coleta e Processamento

A fonte produtora de folha de bananeira para a transformação em cinza fica localizada a 30km do local do estudo. A coleta foi realizada a partir das folhas já caídas no chão, que estivessem sobre outras folhas, sem contato com o solo e tampouco com o adubo químico. Depois de coletadas as folhas foram transportadas para o local do processamento. Para fazer este transporte foi utilizado um veículo utilitário com carroceria e protegido por uma lona para evitar que as folhas se molhassem durante

o transporte para o laboratório, para que permanecessem armazenadas longe de impurezas e umidade até a queima em forno.

O material foi levado para o Laboratório de Materiais de Construção do Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA) onde seria inserido na Mufla Fornitec para a produção da cinza da folha da bananeira (CFB).

Baseando-nos no método utilizado por KANNING (2010), foi feita adaptação de acordo com a possibilidade dos equipamentos disponíveis no laboratório utilizado, e, por isso, a CFB foi produzida a partir da pré-queima em forno de folha de zinco, de forma a reduzir seus os volumes. Após essa redução e volume, o produto dessa pré-queima foi levado a uma Mufla Fornitec modelo 1903, de dimensões 15X15X30cm numa temperatura de 850°C e tempo de queima de 1h.

A CFB utilizada atendeu a parâmetros definidos pela literatura e trabalhos científicos anteriores ao nosso. Dessa forma, observamos como parâmetro inicial a pontuação de Kanning (2010), que explica que a folha de bananeira apresenta atividade pozolânica quando calcinada a uma temperatura de 850°C, sob fluxo de ar, e tempo de queima de 1h.

A granulometria da cinza resultante pode ser ajustada para a mistura em argamassa e concreto em moinho de bolas (KANNING, 2010). Por isso, após a queima da folha e a transformação em cinza, em temperatura ambiente, a cinza foi moída em moinho de bola por 30 minutos e peneirada em peneira 200µm (0,075mm). O objetivo de peneirar foi para fazer uma separação de materiais indesejados como solo e outros.

A seguir, demonstramos as imagens dos processos de pré-queima e queima realizados e também do processo de peneiramento e moagem realizados.

Figura 2: Pré-queima



Fonte: Curado, 2018

Figura 3: Forno de Zinco



Fonte: Curado, 2018.

Figura 4: Folha reduzida:



Fonte: Curado, 2018

Figura 5: Mufla a 850°C



Fonte: Curado, 2018

Figura 6: Moinho de bolas –Tipo Jarro



Fonte: Curado, 2018

Figura 7: Peneiramento da cinza



Fonte: Curado, 2018.

4 RESULTADOS

4.1 Propriedades Físicas dos Insumos

A seguir, descrevemos as propriedades físicas dos insumos que foram utilizados para confecção das amostras do estudo. As propriedades físicas são a massa específica, massa unitária e granulometria do material utilizado.

4.1.1 Agregados

O agregado miúdo utilizado foi a areia lavada, extraída do lago de Palmas por dragas flutuantes. Sua massa unitária foi definida a partir de três determinações e segundo as regras da ABNT NBR NM 45 (2006), que exigem que os resultados estejam dentro da variação de 1% da média entre cada determinação. O recipiente utilizado para a apuração desse valor possui 15dm³ de volume (316mmx316mmx150mm). A massa unitária média definida foi de 1,33 kg/dm³. Os valores que determinaram a média apresentada estão descritos na tabela 2:

Tabela 2: Ensaio de Massa Unitária do Agregado Miúdo

Ensaio de Massa Unitária do Agregado Miúdo				
Agregado	Amostra nº 01 (kg/dm ³)	Amostra nº 02 (kg/dm ³)	Amostra nº 03 (kg/dm ³)	Média (kg/dm ³)
Areia Média	1,34	1,34	1,32	1,33

Autor: Curado, 2018

Para a determinação da massa específica do agregado miúdo, a medição foi realizada por meio do uso de um picnômetro e em conformidade com a norma da ABNT NBR 6508 (1984). O uso do picnômetro se justifica por não existirem disponíveis no laboratório utilizado outros procedimentos mais atuais. Foram feitas duas determinações e os valores alcançados em cada uma delas definiram a média de 2,602 g/cm³. Observamos que a diferença entre as duas determinações é inferior a 0,02g/cm³. Tais valores estão definidos na tabela 3:

Tabela 3: Ensaio de Massa Específica do Agregado Miúdo

Ensaio de Massa Específica do Agregado Miúdo				
Agregado	Amostra nº 01 (kg/dm ³)	Amostra nº 02 (kg/dm ³)	Amostra nº 03 (kg/dm ³)	Média (kg/dm ³)
Areia Média	2,59	2,59	2,61	2,60

Autor: Curado, 2018

Os ensaio de granulometria do agregado miúdo foram feitos com um agitador mecânico, equipamento do laboratório utilizado e atenderam às especificações da ABNT NBR NM 248 (2003), e seus resultados se mantiveram abaixo dos limites que ela estabelece. Salientamos que foram feitas duas determinações e que os resultados alcançados atenderam as determinações da norma.

O comportamento granulométrico da curva adquirida no gráfico permite a classificação do agregado miúdo como areia fina.

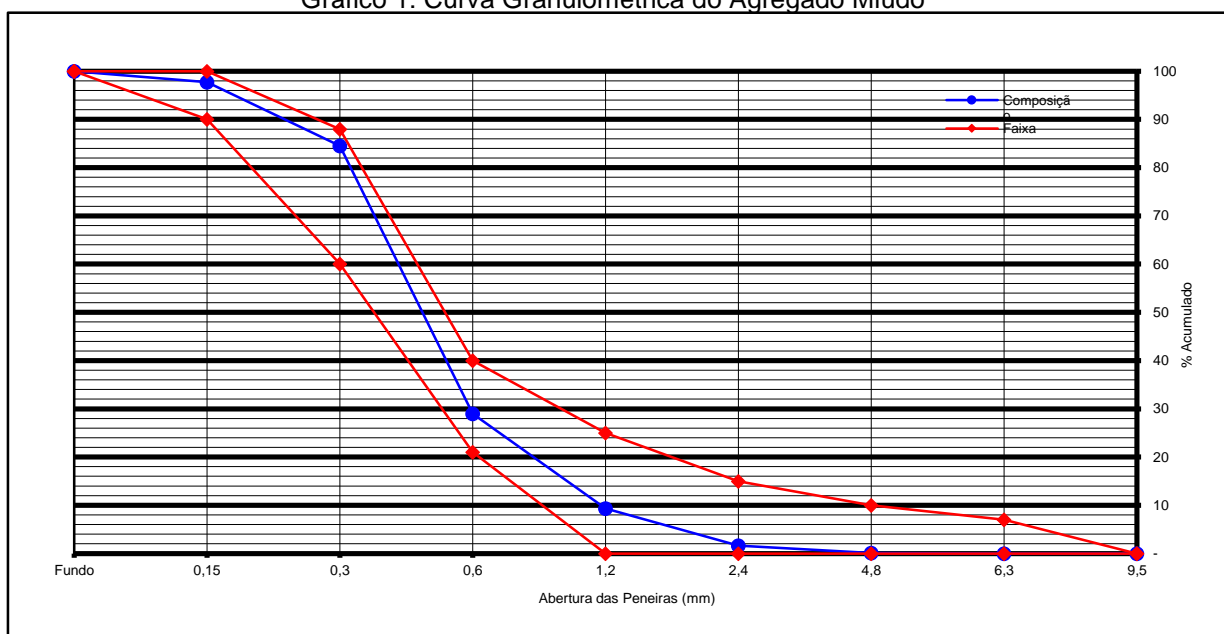
Abaixo, observamos os valores alcançados distribuídos na tabela e, a seguir, a curva granulométrica acima mencionada:

Tabela 4: Distribuição Granulométrica do Agregado Miúdo

Peneiras	1° Determinação			2° Determinação			Média Retida (%)	
	Massa Retida (g)	Retida (%)		Massa Retida (g)	Retida (%)		Simples	Acumul.
		Simples	Acumul.		Simples	Acumul.		
4,8	1,00	0,20	0,20	0,30	0,06	0,06	0,13	0,13
2,4	7,50	1,50	1,70	7,60	1,52	1,58	1,51	1,64
1,2	37,50	7,50	9,20	39,60	7,92	9,50	7,71	9,35
0,6	97,30	19,46	28,66	98,6	19,72	29,22	19,59	28,94
0,3	283,60	56,72	85,38	272,2	54,44	83,66	55,58	84,52
0,15	61,50	12,30	97,68	70,40	14,08	97,74	13,19	97,71
Fundo	11,60	2,32	100,00	11,30	2,26	100,00	2,29	100,00
Total	500,00	100,00		500,00	100,00		100,00	

Fonte: Curado, 2018.

Gráfico 1: Curva Granulométrica do Agregado Miúdo



Fonte: Curado, 2018.

O agregado graúdo utilizado foi do tipo brita 1, oriundo de jazidas de granito da região de Palmas. A massa unitária desse agregado foi definida utilizando o mesmo recipiente usado na mensuração da massa do agregado miúdo, com volume de 15 dm³. Da mesma forma que a aferição anterior, foram utilizadas três determinações para o cálculo da média, que foi de 1,47 kg/dm³, conforme dados da tabela 5.

Tabela 5: Ensaio de Massa Unitária do Agregado Graúdo

Ensaio de Massa Unitária do Agregado Graúdo				
Agregado	Amostra nº 01 (kg/dm ³)	Amostra nº 02 (kg/dm ³)	Amostra nº 03 (kg/dm ³)	Média (kg/dm ³)
Brita 1	1,46	1,48	1,47	1,47

Autor: Curado, 2018

A massa específica do agregado graúdo foi aferida conforme a mesma norma (ABNT NBR 6508 – 1984) utilizada para o cálculo da massa específica do agregado miúdo e pelas mesmas razões optou-se pelo uso do picnômetro. Foram levantados valores em duas determinações e o cálculo da média da massa específica resultou em 2,617 g/cm³. Os valores das determinações usadas estão descritos na tabela abaixo:

Tabela 6: Ensaio de Massa Específica do Agregado Graúdo

Ensaio de Massa Específica do Agregado Graúdo				
Agregado	Amostra nº 01 (kg/dm ³)	Amostra nº 02 (kg/dm ³)	Amostra nº 03 (kg/dm ³)	Média (kg/dm ³)
Brita 1	2,62	2,62	2,61	2,62

Autor: Curado, 2018

A granulometria do agregado graúdo foi calculada conforme as determinações específicas encontradas na norma da ABNT NBR NM 248 (2003), e assim como os valores obtidos para o agregado miúdo, apresentaram resultados satisfatórios e confirmaram a classificação do agregado graúdo brita utilizado como brita 1 conforme. Os valores aferidos estão descritos na tabela 7:

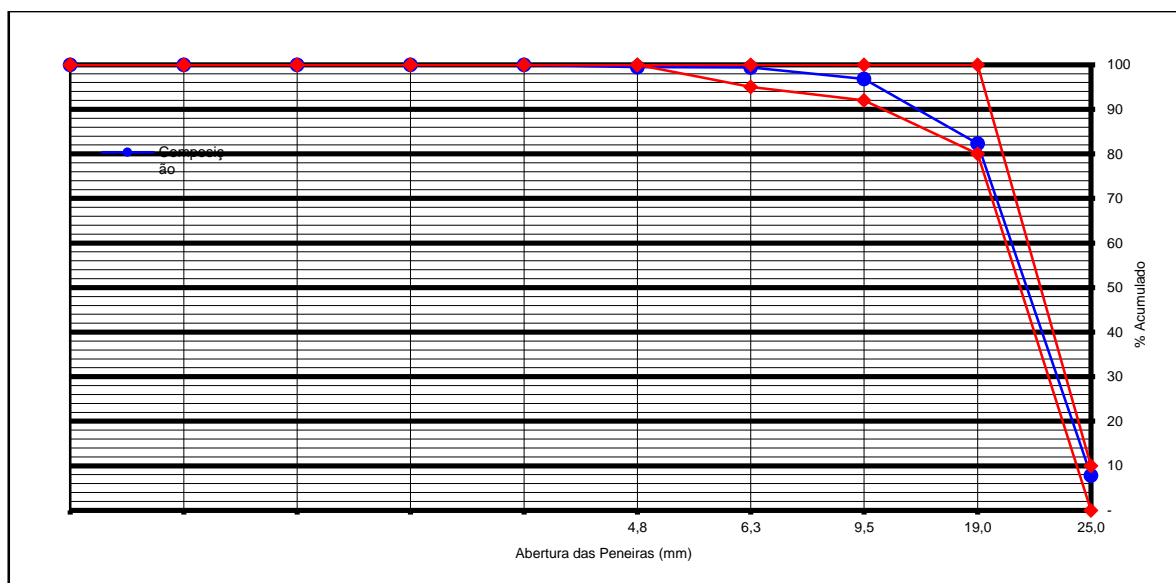
Tabela 7: Distribuição Granulométrica do Agregado Graúdo

Peneiras	1° Determinação			2° Determinação			Média Retida (%)	
	Massa Retida (g)	Retida (%)		Massa Retida (g)	Retida (%)		Simples	Acumul.
		Simples	Acumul.		Simples	Acumul.		
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19	77,80	7,78	7,78	78,20	7,82	7,82	7,80	7,80
12,5	744,70	74,47	82,25	746,20	74,62	82,44	74,55	82,35
9,5	145,50	14,55	96,80	144,30	14,43	96,87	14,49	96,84
6,3	26,20	2,62	99,42	25,10	2,51	99,38	2,57	99,40
4,8	0,90	0,09	99,51	0,80	0,08	99,46	0,09	99,49
2,4	4,90	0,49	100,00	5,40	0,54	100,00	0,52	100,00
Total	1000,00	100,00		1000,00	100,00		100,00	

Fonte: Curado, 2018.

A seguir, o gráfico 2 posiciona a zona em que se encontra o agregado graúdo e o classifica como brita 1:

Gráfico 2: Granulométrica do agregado graúdo



Fonte: Curado, 2018.

4.1.2 Cimento

O Cimento Portland utilizado no estudo foi do tipo CP III F-40. Este cimento possui uma adição de material carbonático – filler, resultando, assim, em um composto com adição de 6% a 10% de material carbonático.

4.1.3 Água

A água que foi utilizada para a composição do concreto foi uma água limpa e sem impurezas servida pelo sistema de abastecimento comum do edifício do Laboratório de Construção Civil do CEULP/ULBRA.

4.1.4 Cinza da Folha da Bananeira

A massa específica da cinza foi calculada a partir de três determinações, todas com o tempo de moagem de 1h, 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).

Figura 8: Cinza da folha da bananeira no moinho de bola



Fonte: Autor, 2018

Após meia (0,5) hora de moagem, a média alcançada para a determinação da massa específica da CFB foi de 2,49 g/cm³, conforme a tabela 8.

Tabela 8: Determinação da massa específica da CFB

Tempo de moagem	Amostra (g/cm ³)			Média (g/cm ³)
	1	2	3	
0,5 h	2,5	2,48	2,49	2,49

Autor: Curado, 2018

Figura 9: Determinação através do frasco Le Chatelier



Fonte: Autor, 2018

Com referência ao peneiramento, foi utilizada peneira 200 μ m (0,075mm). A cinza utilizada foi aquela derivada do processo de peneiramento.

Figura 10: Peneiramento da CFB



Fonte: Autor, 2018

4.2 Ensaios do Concreto

A seguir, descrevemos os ensaios realizados com o concreto, as dosagens utilizadas para a confecção dos corpos de prova de cada traço e seu processo de cura.

4.2.1 Corpos de Provas: dosagem e cura

A dosagem do concreto em estudo foi calculada com base no traço padrão em volume de “1 : 1,56 : 2,17” (cimento : agregado, miúdo : agregado graúdo) com fator água/cimento de 0,6, extraído do método do *American Concrete Institute (ACI)*,

buscando a resistência pré-estabelecida de 20 MPa e um controle rigoroso (sd) de 4 MPa.

Para os traços com adição da CFB em análise foram utilizados os teores em massa (kg) na proporção de 4%, 8% e 16% para substituir o cimento Portland. No projeto de pesquisa deste trabalho a expectativa era a do uso de teores diferentes (5%, 10% e 15%), no entanto, devido à dificuldade na produção da cinza em função do tipo de equipamento disponível optou-se pela redução dos teores de CFB adicionados.

A confecção das amostras ocorreu em laboratório, através da mistura por betoneira, e em seguida foram moldados os corpos de prova para os devidos ensaios de acordo com a Tabela 9.

Tabela 9: Traços em Massa (kg)

	Cimento (kg)	Cinza Folha Bananeira (kg)	Agregado Miúdo (kg)	Agregado Graúdo (kg)	Água (kg)
Traço Referência	10	0	24,89	26,93	5,3
Teor C.F.B. 4%	9,63	0,321	24,89	26,93	5,5
Teor C.F.B. 8%	9,23	0,642	24,89	26,93	5,7
Teor C.F.B. 16%	8,43	1,285	24,89	26,93	6

Autor: Curado, 2018

Acima temos uma tabela que descreve detalhadamente as quantidades das misturas. Observemos que o fator água/cimento foi ajustado de forma diferente para cada teor de modo a adequar-se ao que se esperava do abatimento. Quanto mais água na mistura, mais fluida ela seria e, conseqüentemente, seria maior o abatimento.

Foram moldados 60 corpos de prova cilíndricos, de acordo com as dosagens determinadas a fim de elaborar 15 corpos de prova para o traço referência, 15 para o traço acrescido de 4% de CFB, 15 para o traço acrescido de 8% de CFB e 15 para o traço acrescido de 16% de CFB, subdivididos para que fossem 3 (três) moldes para cada idade de rompimento e 6 (seis) para os outros dois ensaios (absorção e massa

específica), além disso, também foram moldados corpos de provas para o traço padrão.

Dessa forma, após as substituições da cinza da folha de bananeira pelo cimento foram moldados os corpos de prova cilíndricos (figura 12) nos teores citados acima, para a comparação final entre as propriedades físicas do concreto comum e do concreto com material adicionado em substituição.

Seguindo os critérios da ABNT NBR 5738 (2015) os corpos de provas foram desmoldados 24 (horas) após a sua confecção e em seguida foram submetidos ao processo de cura no laboratório de materiais de construção da instituição. No período de cura, esses elementos permaneceram em imersão total em um tanque com água, onde foram mantidos ali até as datas previstas para realização dos ensaios de resistência a compressão axial em prensa hidráulica.

As dimensões dos corpos cilíndricos são de 10x20cm em acordo com a ABNT NBR 5738 (2015)

Tabela 10: Corpos de provas moldados.

Traços	Abatimento	N° de corpos de prova para Resistencia a Compressão Axial				N° de corpos de prova Absorção e Massa Especifica.			
		Idade (dias)				Idade (dias)			
		3	7	14	28	-	7	14	28
TR	10±2	3	3	3	3	-	-	-	3
TR+4%	10±2	3	3	3	3	-	-	-	3
TR+8%	10±2	3	3	3	3	-	-	-	3
TR+16%	10±2	3	3	3	3	-	-	-	3

Autor: Curado, 2018

Figura 11: Molde de corpos de prova cilíndricos.



Fonte: Curado, 2018.

Figura 12: Corpos de prova submersos.



Fonte: Curado, 2018.

4.2.2 Ensaio no Estado Fresco

Os elementos em estudo passaram por ensaios de consistência. Estes foram realizados em conformidade com a norma da ABNT NBR NM 67 (1998). Durante estes ensaios foram caracterizados os abatimentos do tronco de cone, feito com a utilização de uma base, um molde (de forma tronco-cônica) e uma haste de socamento para compactação. Os corpos de prova foram adensados em 3 (três) camadas com 25 (vinte e cinco) golpes verticais por meio de uma haste de socamento.

Em consonância com o que prevê a norma acima, foram considerados satisfatórios os resultados que tivessem apresentado um abatimento igual ou superior a 10mm, sem que haja desmoronamento. Individualmente, cada ensaio teve que ser feito respeitando o tempo limite de 150 segundos entre o preenchimento do molde e o desmolde da amostra. A trabalhabilidade do concreto apresentou resultado satisfatório de acordo com o parâmetro exigido pela norma, apresentando abatimento superior a 10mm, conforme a imagem a seguir.

Figura 13: Slump



Fonte: Curado, 2018

4.2.3 Ensaio no Estado Endurecido

No estado endurecido foram realizados ensaios de resistência a compressão axial e ensaios de absorção de água. Nesses ensaios a avaliação se deu a partir do que resultou dos quatro traços executados – traço referência e os acrescidos de CFB nos teores 4%, 8% e 16%.

No tratamento dos dados dos ensaios do estado endurecido, foram descartados resultados de 1 corpo de prova (CP) entre os 3 dados, sendo considerado para descarte o valor divergente da média, visto que o presente trabalho calculou o desvio padrão e variância das amostras.

Os dados referentes à resistência a compressão axial a seguir estão apresentados a partir da idade do corpo de prova rompido.

No caso do ensaio de absorção, os dados estão organizados conforme o estado da amostra (secas ou saturadas).

4.2.3.1 Ensaio de Resistência a Compressão Axial

Os ensaios de resistência a compressão no estado endurecido foram realizados com 3 dias, 7 dias e 14 dias e 28 dias.

No ensaio de resistência a compressão axial com 3 dias, o rompimento da amostra que demonstrou maior resistência foi a do traço referência, com fck de 14,5 MPa. No entanto, os traços acrescidos dos teores de 16% e 4% de CFB, respectivamente 14,0 Mpa e 13,5 MPa, demonstraram resistências aproximadas e consideráveis, embora inferiores. Assim, podemos observar a seguir a tabela 11, onde estão descritos os valores acima.

Tabela 11: Rompimento com idade de 3 dias

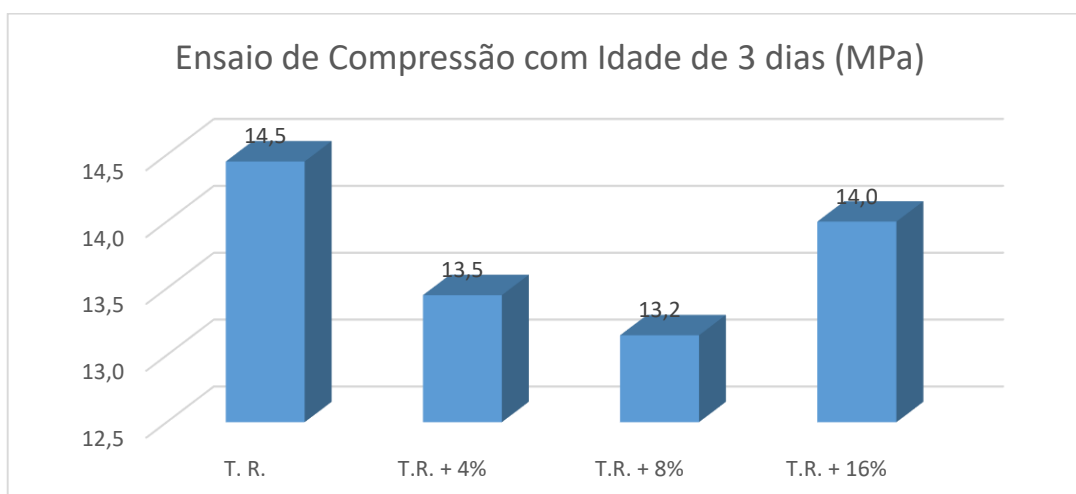
Rompimento a Compressão Axial com Idade de 3 dias							
	Slump	CP1	CP2	CP3	Média	D. Padrão	Variância
T. R.	10	14,1	14,8	15,8	14,5	0,49	0,25
T.R. + 4%	12	13,0	13,9	16,4	13,5	0,64	0,41
T.R. + 8%	10	12,9	13,4	14,9	13,2	0,35	0,13
T.R. + 16%	9,5	14,1	13,9	12,8	14,0	0,14	0,02

Valores descartados:

Autor: Curado, 2018

Vejamos no gráfico 3 a seguir a representação dos resultados obtidos pela média de resistência do traço referência e dos traços acrescidos dos teores em 3 dias, onde a diferença entre a resistência do traço referência e o traço acrescido de 8% é a maior e a diferença entre o traço referência e o teor de 16% a menor com idade de 3 dias.

Gráfico 3: Comparação das médias com 3 dias



Autor: Curado, 2018

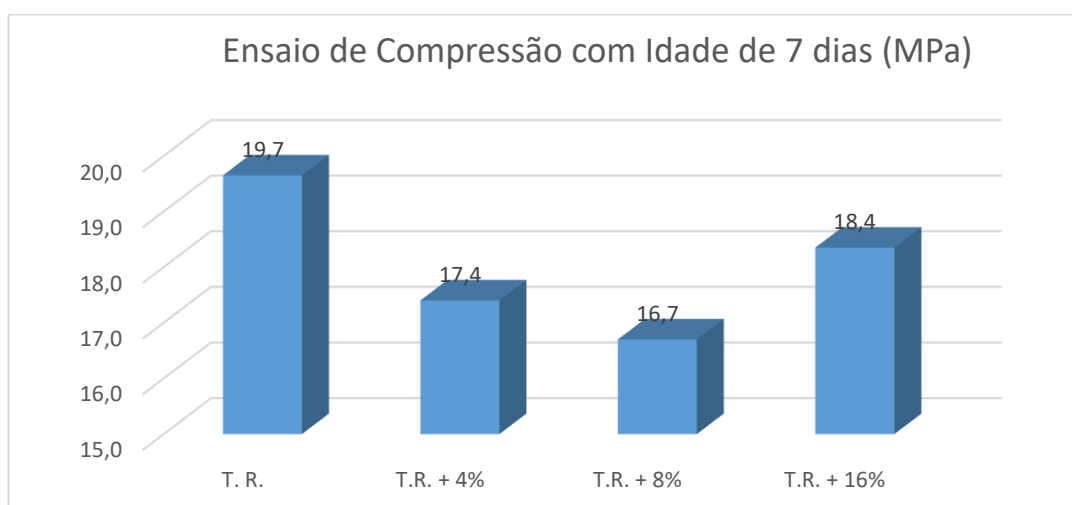
O próximo momento de comparação é quando o concreto atinge a idade de 7 dias. No ensaio de compressão axial com 7 dias, o traço referência também apresentou o maior valor de resistência. Porém, novamente os traços com adição de CB apresentaram valores plausíveis para a resistência a compressão quando comparados a do traço referência. Na ordem de decrescente: o traço referência apresentou valor de fck médio de 19,7 MPa; seguido do traço acrescido de 16% de CFB que resultou em 18,4 MPa; o traço acrescido de 4% de CFB resultou em 17,4 MPa; e, por último, aquele com 8% de CFB apresentou que o valor 16,7 MPa. Estão demonstrados os valores obtidos na tabela 12, a seguir:

Tabela 12: Rompimento com idade de 7 dias

Rompimento a Compressão Axial com Idade de 7 dias							
	Slump	CP1	CP2	CP3	Média	D. Padrão	Variância
T. R.	10	19,5	19,8	18,1	19,7	0,21	0,05
T.R. + 4%	12	17,7	17,1	22,2	17,4	0,42	0,18
T.R. + 8%	10	17,0	16,4	18,1	16,7	0,42	0,18
T.R. + 16%	9,5	18,1	18,6	16,9	18,4	0,35	0,13
Valores descartados:							

Uma melhor visualização da diferença entre os valores obtidos pelas médias de cada traço utilizado é possível a partir do gráfico 4, a seguir:

Gráfico 4: Comparação das médias com 7 dias



Autor: Curado, 2018

Desta maneira, percebemos que a diferença obtida na idade anterior permanece, tendo o traço referência apresentado o maior valor de fck e o traço acrescido de 8% apresentou-se como aquele com a menor média entre eles.

Com 14 dias, a próxima idade em análise, o ensaio de compressão axial apresentou dados completamente diferentes dos acima descritos para as idades de 3 e 7 dias. O traço referência não foi o que apresentou maior resistência. O traço que apresentou maior resistência à compressão foi o traço acrescido do teor de 8%, apresentando um fck médio de 22,2 MPa. O segundo mais resistente foi o traço acrescido de 4% (22,0 MPa), seguido do traço original com 21,7 MPa e, por último, com valor muito próximo ao seu, o de 16% com 21,6 MPa.

Tabela 13: Rompimento com idade de 14 dias

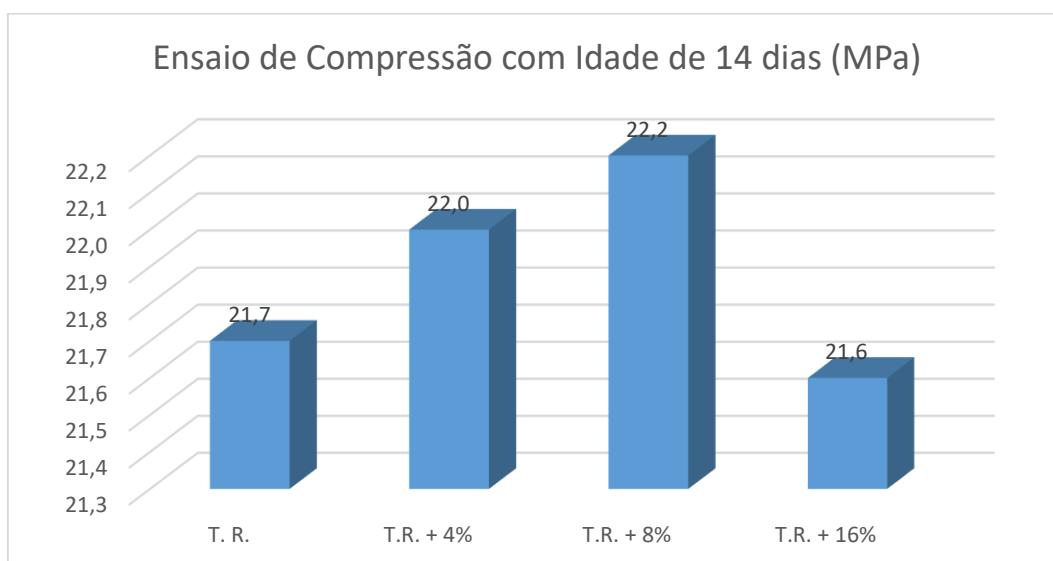
Rompimento a Compressão Axial com Idade de 14 dias							
	Slump	CP1	CP2	CP3	Média	D. Padrão	Variância
T. R.	10	21,8	21,6	20,4	21,7	0,14	0,02
T.R. + 4%	12	21,8	22,2	23,6	22,0	0,28	0,08
T.R. + 8%	10	22,3	22,1	20,5	22,2	0,14	0,02
T.R. + 16%	9,5	22,0	21,2	17,3	21,6	0,57	0,32

Valores descartados:

Autor: Curado, 2018

Vejamos como o gráfico 5 se inverte com idade de 14 dias:

Gráfico 5: Comparação das médias com 14 dias



Autor: Curado, 2018

A análise final para a resistência a compressão foi realizada com a idade de 28 dias. A partir dos dados levantados, podemos observar que todos os números médios aumentaram e apresentaram dados bastante satisfatórios.

No entanto, diferentemente do que ocorreu com a idade de 14 dias mas em consonância com as demais idades analisadas, foi o traço referência que apresentou maior resistência a compressão axial, com uma média de 24,2 MPa. Esse valor foi seguido do traço acrescido com 16% de CFB, que apresentou média de 23,0 MPa. Os valores dos traços acrescidos com 4% e 8% de CFB apresentaram resistência de 22,7 MPa e 22,4 MPa, respectivamente. Vejamos a seguir os dados na tabela 14:

Tabela 14: Rompimento com idade de 28 dias

Rompimento a Compressão Axial com Idade de 28 dias							
	Slump	Cp1	CP2	CP3	Média	D. Padrão	Variância
T. R.	10	24,1	24,2	25,4	24,2	0,07	0,00
T.R. + 4%	12	23,1	22,2	19,3	22,7	0,64	0,41
T.R. + 8%	10	22,6	22,2	20,3	22,4	0,28	0,08
T.R. + 16%	9,5	22,5	23,5	20,6	23,0	0,71	0,50

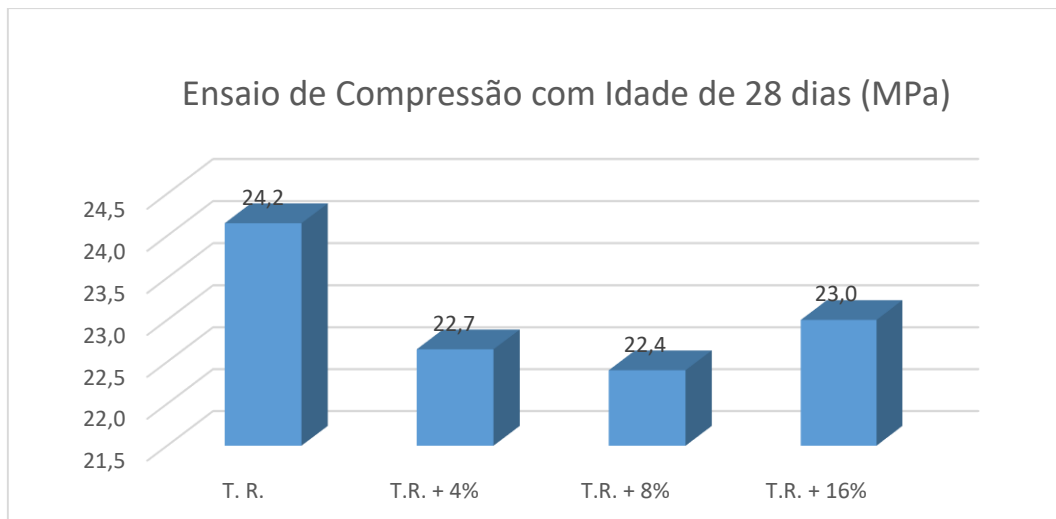
Valores descartados:

Autor: Curado, 2018

Percebe-se a pequena variação entre os valores médios atribuídos ao traço acrescido de 8% de CFB com relação aos valores aferidos com 14 dias – de 22,2 MPa para 22,4 MPa.

Os valores finais demonstraram boa capacidade de resistência, uma vez que apresentaram média muito próxima do valor apurado no traço referência. Podemos observar melhor a quantificação das diferenças, ainda que pequenas, entre as médias a partir do gráfico 6:

Gráfico 6: Comparação das médias com 28 dias



Autor: Curado, 2018

Dessa forma, ao olharmos para o desempenho comparado entre os traços acrescidos de CFB e o traço referência, observamos a pequena variação entre as médias alcançadas, tendo os teores 4% e 8% apresentado as menores médias.

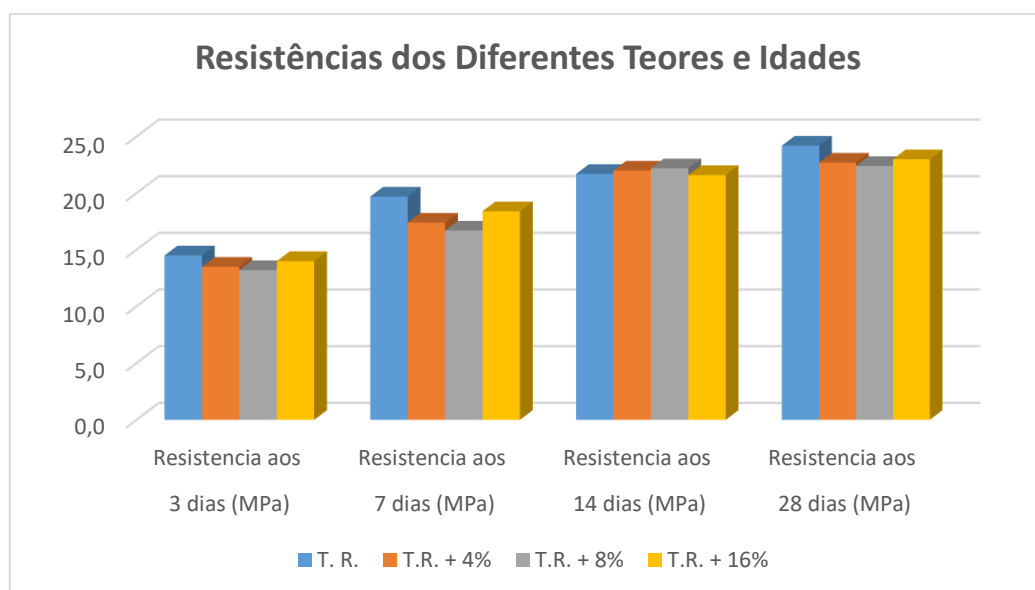
A tabela 15 e o gráfico 7, abaixo, descrevem e representam o comparativo de resistência a compressão em relação aos diferentes teores e idades. Vejamos:

Tabela 15: Comparativo de teores e idades

Comparativo de Resistencia a Compressão em relação aos Teores e Idades				
Teores	Resistencia aos 3 dias (MPa)	Resistencia aos 7 dias (MPa)	Resistencia aos 14 dias (MPa)	Resistencia aos 28 dias (MPa)
T. R.	14,5	19,7	21,7	24,2
T.R. + 4%	13,5	17,4	22,0	22,7
T.R. + 8%	13,2	16,7	22,2	22,4
T.R. + 16%	14,0	18,4	21,6	23,0

Autor: Curado, 2018

Gráfico 7: Comparação dos diferentes teores e idades



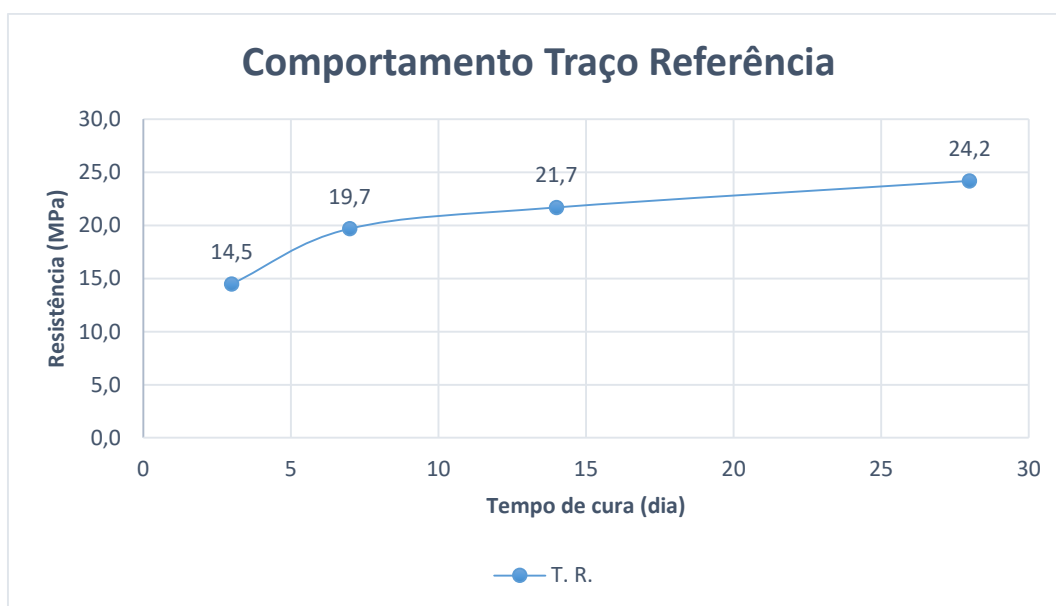
Autor: Curado, 2018

Percebemos especialmente com a visualização do gráfico 7 que, embora apresentem médias de f_{ck} diferentes entre si, as amostras desempenham melhor resistência ao longo do tempo, de acordo com o aumento da idade da amostra.

É possível observar comportamento similar no ensaio de resistência a compressão entre todas as amostras. Vejamos a análise do comportamento de cada um dos traços separadamente, relacionando a resistência e o tempo de cura.

O traço referência demonstrou um ganho de resistência inicial elevado, de 5,2 MPa, com a idade entre 3 dias e 7 dias, tendo apresentado um comportamento mais lento no aumento da resistência nas demais idades, como se pode observar a seguir:

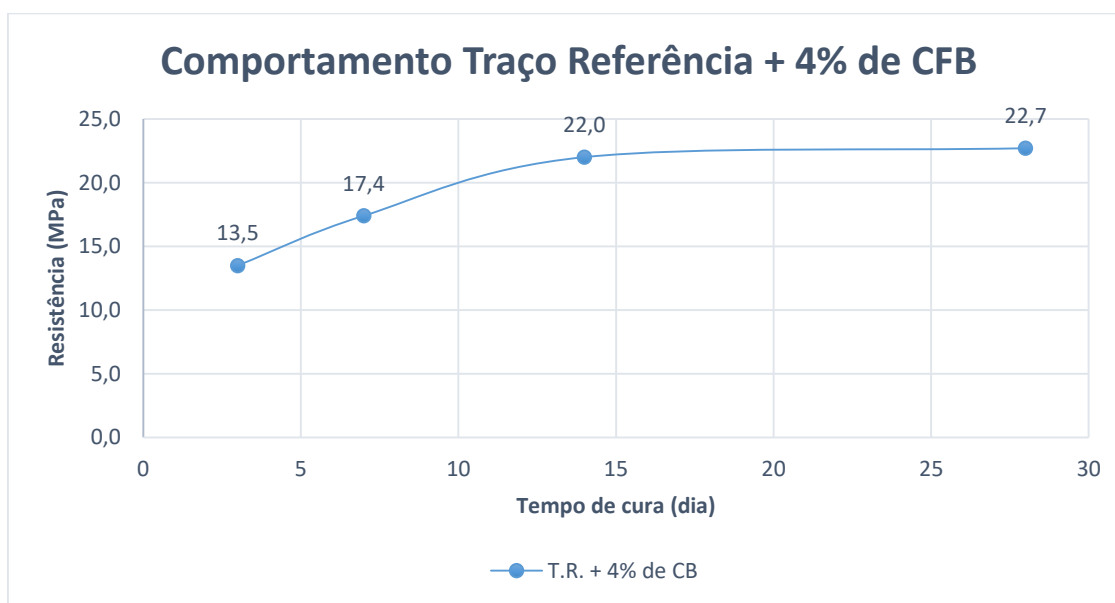
Gráfico 8: Comportamento do traço referência



Autor: Curado, 2018

Para o traço acrescido de 4% de CFB, percebemos um ganho rápido de resistência nos primeiros 14 dias e um comportamento quase constante do 14^o ao 28^o dia, tendo este último período apresentado uma variação de apenas 0,7 MPa.

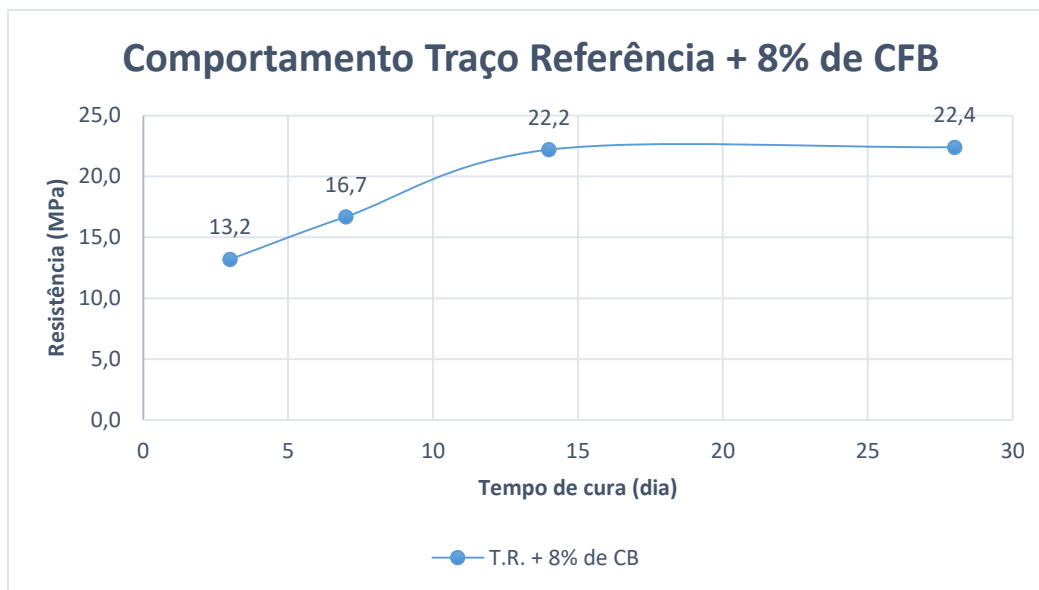
Gráfico 9: Comportamento do T.R. + 4%



Autor: Curado, 2018

O gráfico 10, próximo em análise, descreve o comportamento do traço acrescido de 8% de CFB. Como já observamos nas tabelas comparativas anteriores, o ganho de resistência nesse teor se deu em maior proporção no período entre o 7º e o 14º dia, apresentando fck de 5,5 MPa. No período entre o 14º e o 28º, a média das amostras apresentou variação mínima com fck de 0,2 MPa, comportamento praticamente constante.

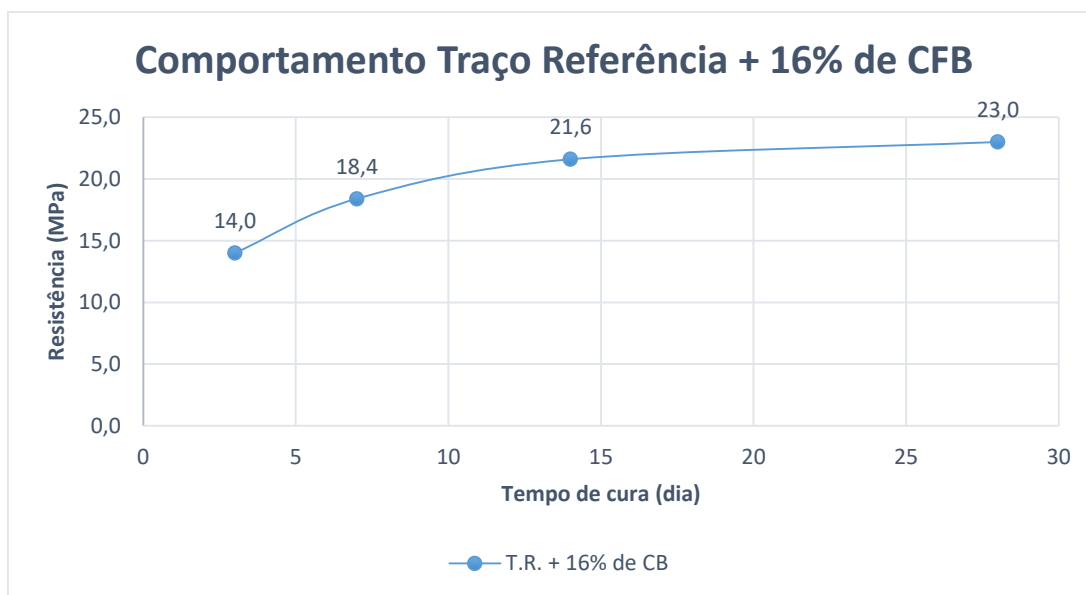
Gráfico 10: Comportamento do T.R. + 8%



Autor: Curado, 2018

Por fim, analisamos o comportamento do traço referencial acrescido de 16% de CFB. Percebemos o maior ganho de resistência entre o 3º e o 14º dia, 7,6 MPa e o menor ganho de resistência entre o 14º e o 28º dia, com fck de 1,4 MPa.

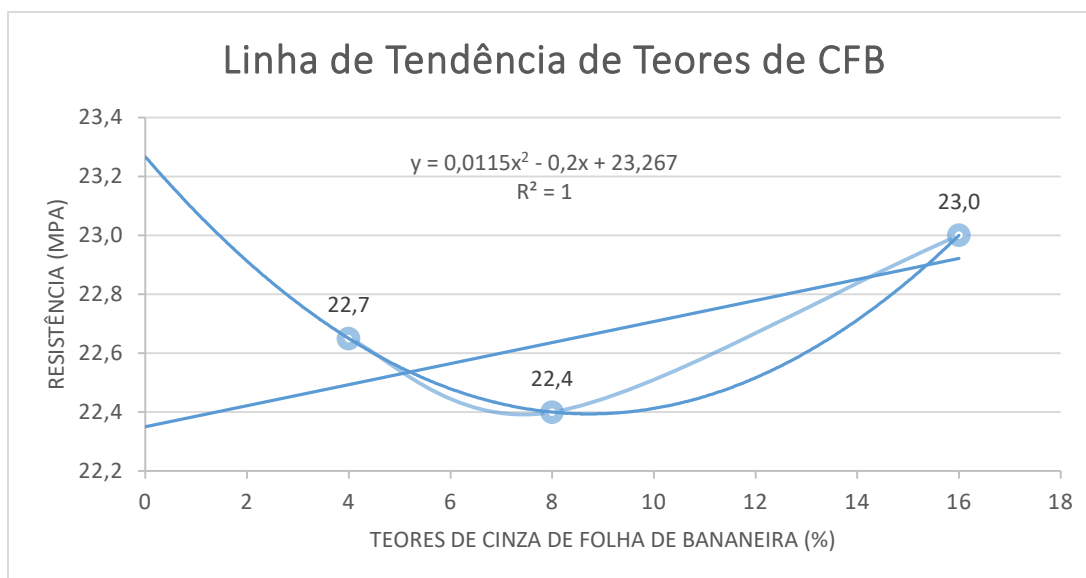
Gráfico 11: Comportamento do T.R. + 16%



Autor: Curado, 2018

Após a análise dos dados de cada traço, apresentamos a linha de tendência de nosso estudo:

Gráfico 12: Linha de tendência de teores de CFB



Autor: Curado, 2018

Observa-se, então, a ocorrência de uma queda no ganho de resistência em relação aos teores praticados, especificamente entre os 4% e 8% de CFB acrescidos ao traço referência.

Percebe-se que embora isso ocorra entre o aumento dos teores acima, o mesmo não aconteceu em relação ao teor de 16% de CFB, que apresentou, inclusive, média em MPa maior que os outros teores.

4.2.3.2 Ensaio de absorção de água e massa específica

O ensaio de absorção de água se justifica pela necessidade de perceber e quantificar a porosidade do concreto.

Os índices de absorção de água (A) e a massa específica do concreto foram calculados por meio da imersão dos corpos de prova na água, baseando-se nas indicações da norma ABNT NBR 9778 (2009).

Para os procedimentos de execução do ensaio, os corpos de prova foram levados à estufa em temperatura (105+-2) °C para determinação da massa específica da amostra na condição seca (M_s), em seguida, progressivamente, imersos a água para determinar a condição saturada por um período de 48 horas e, logo depois, levada à ebulição – a qual deve começar depois de 15 min e antes de 30 min.

A ebulição deve acontecer por um período de 5 h, mantendo aproximadamente constante o volume da água. E por fim, feita a retirada da amostra da água e enxugada com pano úmido, possibilitando assim a determinação e registro de sua massa (M_{sat}).

A equação de absorção de água se expressa da seguinte maneira:

$$A: \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \times 100$$

A seguir, apresentamos duas tabelas com as informações verificadas durante o ensaio. Elas indicam o peso médio das amostras no estado seco e no estado saturado.

Observe-se os dados levantados com idade de 28 dias para as amostras secas:

Tabela 16: Absorção com 28 dias – Amostras Secas

Ensaio de absorção com Idade de 28 dias - Amostras Secas				
	CP1	CP2	CP3	Média (kg)
T. R.	3,44	3,45	3,44	3,44
T.R. + 4%	3,41	3,42	3,46	3,43
T.R. + 8%	3,38	3,39	3,45	3,41
T.R. + 16%	3,38	3,36	3,40	3,38

Valores descartados:

Autor: Curado, 2018

Observemos os dados levantados com idade de 28 dias para as amostras saturadas:

Tabela 17: Absorção com 28 dias – Amostras Saturadas

Ensaio de absorção com Idade de 28 dias - Amostras Saturadas				
	CP1	CP2	CP3	Média (kg)
T. R.	3,62	3,61	3,61	3,61
T.R. + 4%	3,62	3,63	3,67	3,64
T.R. + 8%	3,60	3,61	3,66	3,62
T.R. + 16%	3,60	3,59	3,63	3,60

Valores descartados:

Autor: Curado, 2018

A partir da utilização desses dados para o cálculo da absorção, obtivemos os seguintes valores em porcentagem e os distribuimos na tabela 18:

Tabela 18: Resultado da absorção

Resultado de Absorção de Água			
	Secas (kg)	Saturadas (kg)	Absorção (%)
T. R.	3,44	3,61	4,94
T.R. + 4%	3,43	3,64	6,12
T.R. + 8%	3,41	3,62	6,16
T.R. + 16%	3,38	3,60	6,51

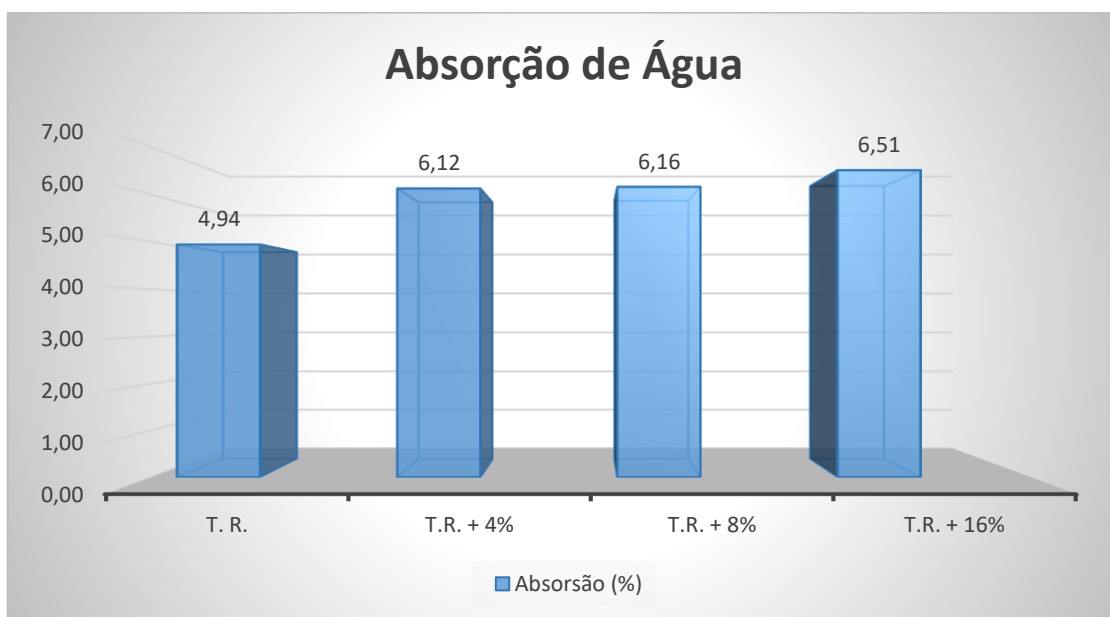
Autor: Curado, 2018

O resultado de absorção de água demonstrou que a absorção é menor no traço referência, e fica, gradativamente, maior conforme os teores de substituição do cimento Portland pela CFB vão aumentando. O traço referência apresentou a menor

absorção de água (4,94%) enquanto que o traço acrescido de 16% de CFB foi o que demonstrou uma porcentagem maior de absorção de água (6,51%).

O resultado da absorção de água está expresso no gráfico 13, comparativo, a seguir:

Gráfico 13: Absorção de água



Autor: Curado, 2018

5 CONCLUSÃO E SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho se ocupou de estudar a adição de cinza da folha da bananeira (CFB) em concreto, substituindo o cimento Portland. Isso se realizou por meio da coleta das folhas da bananeira e sua transformação em aditivo mineral.

A determinação da dosagem do estudo dependeu, entre outros motivos, do tipo de forno disponível no laboratório e na viabilidade cronológica do estudo, tendo o levantamento e análise de dados sido realizados em menos de um semestre letivo.

O uso de um material alternativo ao cimento Portland se faz importante uma vez que o consumo de concreto no mundo é extremamente alto. Outros materiais mais baratos e sustentáveis justificam a necessidade de resposta a problemas de pesquisa como o que colocamos.

Conclui-se que a utilização da cinza da folha da bananeira em proporções pequenas não prejudica a qualidade do concreto.

Assim, com este trabalho podemos concluir pela viabilidade de substituição do concreto até a proporção de 16% sem que suas propriedades físicas apresentem alterações ou limitações.

Quanto aos materiais, nos posicionamos de forma a afirmar que a transformação da folha em aditivo mineral (cinza) e seleção e análise do material utilizado na composição das amostras – corpos de prova – atenderam às exigências das normas específicas para cada etapa do processo de produção do concreto.

Nos ensaios em estado fresco, o abatimento alcançado se mostrou satisfatório, e ficou entre 9,5cm e 12cm, obedecendo os limites propostos, apesar do ajuste de água relatado. A consistência que os corpos de prova apresentaram indicam uma boa trabalhabilidade, não apresentando comportamento inferior quando comparamos o traço referência e os traços acrescidos dos teores de CFB.

Nos ensaios em estado endurecido, foi possível perceber que para o teste de resistência a compressão axial, aos 28 dias, o melhor comportamento foi o do traço referência, seguido dos teores de 16%, 8% e 4% respectivamente, confirmando a hipótese levantada de que a adição da cinza da folha da bananeira possui características pozolânicas no desempenho do concreto, sem reduzir sua capacidade de resistência.

Para o teste de absorção de água, notamos uma maior absorção nos corpos de prova cuja adição mineral fora feita, apontado aparentemente pelo uso de maior

teor de água na confecção das amostras. Assim, o resultado de absorção de água foi menor no traço referência (4,94%); e maior no traço referência acrescido de 16% de CFB (6,51%).

Dessa forma, concluímos de forma satisfatória a discussão e conclusão dos dados levantados, ressaltando que a partir de uma análise geral, percebemos a tendência do aumento da resistência conforme o teor de CFB também aumenta. Levantando, então, neste momento a hipótese de que quanto maior o teor, maior seria a resistência do concreto.

Entendemos que novos estudos poderiam considerar a análise de teores superiores a 16%. Em um novo trabalho, a hipótese de que a resistência à compressão aumentaria conforme o teor da CFB também aumentasse seria mantida e, uma nova hipótese levantada: a de que haja um limite, um teor máximo de CFB misturado ao traço até que a resistência comece a cair.

Dessa forma, novos estudos podem analisar o aumento dos teores de CFB de forma a se chegar ao maior teor possível sem que haja queda na resistência. Acrescentamos ainda que tais estudos podem ser voltados para a análise do comportamento dos teores de CFB tanto no concreto, quanto na argamassa. Além disso, caberia também estudar a possibilidade do uso de aditivos para o alcance de um melhor desempenho no concreto.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5732: Cimento – Cimento Portland comum. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

NBR 5752/92. Pozolanas – Determinação de atividade pozolânica com o cimento Portland. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT. Cimento – Cimento Portland comum. Rio de Janeiro NBR 9778 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Cimento – Cimento Portland comum. Rio de Janeiro ABNT NBR 5739 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. Cimento – Cimento Portland comum. Rio de Janeiro NBR NM 45 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT Cimento – Cimento Portland comum. Rio de Janeiro NBR 12653, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT. Cimento – Cimento Portland comum. Rio de Janeiro NBR NM 23, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT. Cimento – Cimento Portland comum. Rio de Janeiro NBR NM 53, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12653/92. Materiais pozolânicos – Especificação. Rio de Janeiro, 1992.

BAUER, L.A.F. (coord) Materiais de Construção, 1.5ª ed. Revisada. Rio de Janeiro: LTC, 2014

MALHOTRA, V.M; MEHTA, P.K. Pozzolanic and Cementitious Materials – (Advances in Concrete Technology. Canada: Gordon and Breach Publishers, 1996.(tradução livre)

NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. Tradução: Ruy Alberto Cremonini, 5ed. Porto Alegre: Bookman, 2016

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

TARTUCE, R. Dosagem experimental do concreto. São Paulo: Pini, 1989.

KANNING, RODRIGO CÉZAR, Caracterização da cinza de folha de bananeira a avaliação do potencial pozolânico. Dissertação de mestrado apresentada ao curso de pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2010.

KANNING, RODRIGO CÉZAR, Utilização da cinza de folha de bananeira como adição em argamassas de cimento Portland. Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor. Área de concentração: Engenharia e Ciência dos Materiais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais – PIPE. Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, 2013.

www.cimento.org

CVB – Cimento Verde do Brasil. www.comentoverdedobrasil.com.br

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland.

<http://www.abcp.org.br/cms/quem-somos/apresentacao/associacao-brasileira-de-cimento-portland/>

Secretaria de Agricultura do Estado do Tocantins

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística