



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA
Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa
Engenharia Mecânica

Iuri Benedito da Silva Santos

**Avaliação das propriedades mecânicas
do concreto com substituição parcial do
cimento por pseudocaule de bananeira
incinerado**

**BOM JESUS DA LAPA
2019**

Iuri Benedito da Silva Santos

Avaliação das propriedades mecânicas do concreto com substituição parcial do cimento por pseudocaule de bananeira incinerado

Trabalho de conclusão de apresentado ao Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa da Universidade Federal do Oeste da Bahia para obtenção do título de Graduado em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Me. Filipi Marques de Souza

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DO TCC DEFENDIDO PELO ALUNO IURI BENEDITO DA SILVA SANTOS, E ORIENTADO PELO PROF. Me. FILIPI MARQUES DE SOUZA.

.....
FILIPI MARQUES DE SOUZA

BOM JESUS DA LAPA

FICHA CATALOGRÁFICA

S237 Santos, Iuri Benedito da Silva
Avaliação das propriedades mecânicas do concreto com substituição parcial do cimento por pseudocaule de bananeira incinerado. / Iuri Benedito da Silva Santos. - 2019.

61f.:il.

Orientador: Prof. Me. Filipi Marques de Souza
Trabalho de Conclusão de Curso – (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Oeste da Bahia. Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa, BA, 2019.

1. Engenharia Mecânica I. Souza, Filipi Marques de II. Universidade Federal do Oeste da Bahia - Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa.
III. Título.

CDD 620.1

Biblioteca Universitária de Barreiras – UFOB

Nome: Iuri Benedito da Silva Santos.

Título: Avaliação das propriedades mecânicas do concreto com substituição parcial do cimento por pseudocaule de bananeira incinerado.

Monografia apresentada ao Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa da Universidade Federal do Oeste da Bahia obtenção do título de Graduado em Engenharia Mecânica.

Aprovado em: 18/12/2019

Banca Examinadora

Prof. Me. Filipi Marques de Souza

Instituição: Universidade Federal do Oeste da Bahia – UFOB

Assinatura:

Prof. Me. Lucas Aninger de Barros Rocha

Instituição: Universidade Federal do Oeste da Bahia – UFOB

Assinatura:

Prof. Me. André Mendonça Santos

Instituição: Universidade Federal do Recôncavo Baiano – UFRB

Assinatura:

Bom Jesus da Lapa, 18 de Dezembro de 2019.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é o resultado de muito empenho e dedicação no qual foi necessária e essencial a ajuda de muitas pessoas. Sendo assim, agradeço, primeiramente, a Deus, por me dar forças em todas as etapas desta caminhada.

Agradeço aos meus pais, Iaci José e Josenilda Luzia, que foram meus alicerces nessa jornada, me educaram guiando no caminho do bem e sempre me incentivaram nas lutas diárias.

A minha irmã, Iara, pela força, companheirismo e apoio. Agradecimentos a toda minha família, tios, primos, etc.

Ao professor Filipi Marques de Souza, por toda atenção, contínuo incentivo, sabedoria, orientação, supervisão e acreditar nesta pesquisa.

Agradecimentos também a todos os professores do colegiado de engenharia mecânica, em especial ao professor Anderson Breno por todos os ensinamentos e conhecimentos transmitidos.

Ao professor André Mendonça pelos ensinamentos passados que foram indispensáveis para a realização deste trabalho.

Agradeço a todos meus amigos e colegas de todas as horas, que nessa caminhada estiveram diariamente comigo nos grupos de estudos, especialmente a Lindanir, Rafael e Anderson.

A Power Jr, pelo conhecimento adquirido e pela experiência profissional proporcionada.

A todos aqueles que contribuíram, de alguma forma, para a realização deste trabalho.

É necessário sempre acreditar que o sonho é possível, que o céu é o limite e você, truta é imbatível.

(Racionais MC's, 2002).

SANTOS, Iuri Benedito da Silva. Trabalho de Conclusão de Curso. Bahia: Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Oeste da Bahia; 2019.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo de analisar as propriedades mecânicas do concreto com a adição do pseudocaule da bananeira incinerado. Para isto, foi feita a caracterização da cinza do pseudocaule e caracterização de todos os constituintes do concreto. Foi substituído os percentuais de 5%, 10% e 15% em massa de cinzas da bananeira no componente aglomerante do concreto (cimento). Foi determinado um traço referência para determinar as quantidades necessárias de materiais. Foram confeccionados 28 corpos de provas cilíndricos, 7 com cada teor de cinzas (0%, 5%, 10% e 15%). Os corpos de provas passaram pelo ensaio de compressão, na idade de 8 e 28 dias. Os resultados de resistência a compressão obtidos não foram os esperados, pois quanto mais adição de fibra tinha no concreto menos resistente ele se comportou, reduzindo a 29,23%, 46,6% e 70% com os teores de 5%, 10% e 5% respectivamente, em relação ao concreto referência. Com isso, pode-se afirmar que não há viabilidade usar a cinzas do pseudocaule como material aglomerante.

PALAVRAS-CHAVE: Cinzas de bananeira. Fibras naturais. Concreto reforçado com cinzas de bananeira.

SANTOS, Iuri Benedito da Silva. Trabalho de Conclusão de Curso. Bahia: Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Oeste da Bahia; 2019.

ABSTRACT

The present work aims to analyze the mechanical properties of concrete with the addition of pseudostem of the incinerated banana tree. For this, it was made the characterization of the pseudostem ash and characterization of all the concrete constituents. The percentages of 5%, 10% and 15% by weight of banana ash were replaced in the binder component of concrete (cement). A reference trace was determined to determine the required quantities of materials. Twenty-eight cylindrical specimens were made, 7 with each ash content (0%, 5%, 10% and 15%). The specimens passed the compression test at the ages of 8 and 28 days. The compressive strength results obtained were not satisfactory, since the more fiber addition had in the less resistant concrete it behaved, reducing to 29,23%, 46,6% and 70% with 5%, 10% and 5% respectively, in relation to the reference concrete. Thus, it can be stated that it is not feasible to use pseudostem ash as a binder material.

Key words: banana ash. Natural fibers. Banana ash reinforced concrete.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Pseudocaulé da bananeira.	18
Figura 2 - Classificação dos compósitos.....	21
Figura 3 - Aglomerante (cimento).	24
Figura 4 - Fibras de bananeira.	28
Figura 5 - Etapas do processo experimental.....	31
Figura 6- Cimento Portland.	33
Figura 7 - Areia lavada fina.....	33
Figura 8 - Brita 0.....	34
Figura 9 - Pseudocaulés.	34
Figura 10 - Amostra de fibra de bananeira para ensaio TG.	35
Figura 11 - Máquina de ensaios TG/DTA.....	35
Figura 12 - Fibras de bananeiras secas.....	36
Figura 13 - Fibras de Bananeiras levadas ao forno mufla.....	37
Figura 14 - Pesagem das cinzas.	37
Figura 15 - Cinza de fibra de bananeira.	37
Figura 16 - Peneiras 9mm e 4,5mm.	38
Figura 17 - Ensaio de agregado miúdo.	39
Figura 18 - Cano PVC 100mm.	40
Figura 19 - Corte dos moldes dos corpos de prova.....	41
Figura 20 - Moldes fixados com silicone.	41
Figura 21 - Corpos de prova moldados.	42
Figura 22 - Corpos de provas imersos em água.....	43
Figura 23 - Nivelamento das faces dos corpos de prova.....	44
Figura 24 - Face retificada.....	44
Figura 25 - Posicionamento do corpo de prova para ensaio.....	45
Figura 26- Ensaios TG e DTA.....	46

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curvas dos ensaios de compressão a 28 dias para o traço referência.	49
Gráfico 2 - Curvas com adição de 5%.	50
Gráfico 3 - Curvas com adição de 10%.	52
Gráfico 4 - Curvas com adição de 15%.	53
Gráfico 5 - Comparação entre os traços.	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Equipamentos e ferramentas utilizados.	32
Tabela 2 - Dimensões dos corpos de prova.....	40
Tabela 3 - Componentes da fibra de bananeira.	47
Tabela 4 - Material utilizado no traço referência.....	48
Tabela 5 - Resistência a compressão em 8 dias.	48
Tabela 6 - LRT com 28 dias para o traço referência.....	49
Tabela 7 - Material utilizado para traço com 5% de cinza.	50
Tabela 8 - Resistência a compressão em 8 dias com 5%.	50
Tabela 9 - LRT e E com adição de 5%.	51
Tabela 10 - Material utilizado para traço com 10%. de cinza.	51
Tabela 11 - Resistência a compressão em 8 dias com 10%.	51
Tabela 12 - LRT e E com adição de 10%.	52
Tabela 13 - Material utilizado para traço com 15% de cinza.	53
Tabela 14 - Resistência a compressão em 8 dias com 15%.	53
Tabela 15 - LRT e E com adição de 15%.	54

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação (1)	36
Equação (2)	36
Equação (3)	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
DTA	Análise térmica diferencial
E	Módulo de elasticidade
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFbaiano	Instituto Federal de Ciência e Tecnologia Baiano
LRT	Limite máximo de resistência
TG	Termogravimetria
UFOB	Universidade Federal do Oeste da Bahia

LISTA DE SÍMBOLOS

$\sigma_{\text{máx}}$	Tensão máxima de resistência a compressão	[Mpa]
F	Força máxima aplicada	[N]
D	Diâmetro do corpo de prova	[mm]
l	Comprimento do corpo de prova	[mm]
Ccimento	Consumo de cimento	[g/m ³]
Ccinza	Consumo de cinza	[g/m ³]
C _{Pseu}	Quantidade de pseudoaule	[g/m ³]

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	OBJETIVOS GERAIS.....	18
1.1.1	Objetivos específicos.....	19
1.2	justificativa.....	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1	Compósito.....	20
2.2	Concreto.....	22
2.3	Constituintes do concreto.....	23
2.3.1	Agregados.....	23
2.3.2	Aglomerante.....	24
2.3.3	Água.....	25
2.3.4	Aditivos.....	25
2.4	Fibras naturais.....	26
2.4.1	Fibras de bananeira.....	27
2.4.2	Cinzas de fibras naturais.....	28
2.5	Ensaio termogravimétrico.....	29
2.6	Ensaio mecânico.....	29
2.6.1	Ensaio de compressão.....	30
3	MATERIAIS E MÉTODO.....	31
3.1	Materiais.....	32
3.1.1	Cimento portland.....	32
3.1.2	Agregado miúdo.....	33
3.1.3	Agregado graúdo.....	33
3.1.4	Água.....	34
3.1.5	Fibras de bananeiras.....	34
3.2	Método.....	35
3.2.1	Caracterização da cinza de bananeira.....	35
3.2.2	Coleta e preparo da cinza de fibra de bananeira.....	36
3.2.3	Caracterização dos agregados.....	38
3.2.4	Agregado graúdo.....	38

3.2.5	Agregado miúdo	39
3.2.6	Dosagem do concreto.....	39
3.2.7	Confecção dos corpos de prova.....	39
3.2.8	Cura dos corpos de prova.....	42
3.2.9	Ensaio de compressão	43
4	RESULTADOS E DISCURSÕES	46
4.1	Ensaio termoanalítico.....	46
4.2	Traço referência.....	48
4.3	Traço com 5% de cinza.....	49
4.4	Traço com 10% de cinza	51
4.5	Traço com 15% de cinza	53
4.6	Comparação entre os traços.....	54
5	CONCLUSÃO.....	56
	REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

Com o passar do tempo e o desenvolver da sociedade, houve a necessidade de criar novas tecnologias para suprir suas demandas. Desta forma, novos processos de produção foram criados. O desenvolvimento de máquinas e meios de produção em massa ficou conhecido como primeira revolução industrial, em que se registrou grande aumento da produção e a urbanização das cidades. Este aumento acarretou em um desequilíbrio ambiental, no qual as máquinas precisavam de matéria prima e combustível, levando a um grande desmatamento e emissões de gases que geram o efeito estufa, causando uma enorme preocupação de como a natureza iria reagir a esses ataques.

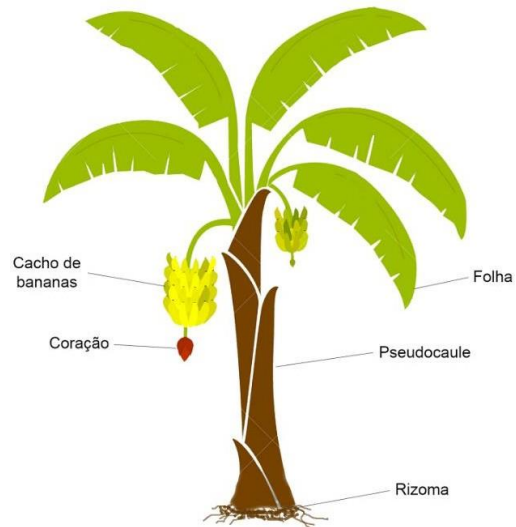
Nas últimas décadas, há uma crescente inquietação a respeito de temas ambientais no mundo, causando um aumento de maneira exponencial nas pesquisas sobre a utilização de métodos e produtos sustentáveis no nosso dia a dia. Com a grande ampliação nos estudos da área de Engenharia de Materiais, em vista da obtenção e fabricação de compósitos reforçados por fibras vegetais, este crescimento foi estimulado pela necessidade de um maior aproveitamento dos recursos naturais, isto é, troca de recursos não renováveis por recursos renováveis (DE PAULA, 2011).

As fibras vegetais têm uma vasta aplicabilidade, pois elas possuem baixo custo e pequena densidade. Podendo ser usadas em várias aplicações na indústria, como reforço de polímeros, metais e na construção civil (WAGDA; SUZART; JUNIOR, 2013).

As fibras são oriundas de frutas, cascas e caules das plantas. O Brasil é o segundo maior produtor de frutas do mundo, ficando atrás somente da Índia. Segundo a pesquisa do IBGE do ano de 2013, a fruta mais produzida no Brasil é a laranja, em seguida a banana, produzindo 6 892 622 toneladas por ano, cerca de 2,9% da produção de frutas anual. Onde, Bom Jesus da Lapa - Bahia, cidade de desenvolvimento deste estudo, é a maior produtora de banana do Brasil, produzindo 160 000 toneladas anuais (IBGE, 2013).

Estudos apontam que a produção de banana gera cerca de 3 toneladas de pseudocaule a cada 1 tonelada de banana produzida, pois quando o cacho de banana é retirado do pé, o mesmo tem que ser cortado (SOUZA et al, 2010). Sem reutilização e tão pouco lugar para destinar esse resíduo, o produtor pode ter vários prejuízos com a lavoura, pois gera-se fungos e doenças que podem contaminar a produção (PADILHA, ZARD, 2010). Logo, uma maneira de aproveitar esses resíduos seria a utilização da fibra de bananeira, que é retirada do caule da planta (pseudocaule), como ilustra a Figura 1.

Figura 1- Pseudocaule da bananeira.



Fonte - Modificado de <http://www.istockphoto.com>.

Segundo Wagna, Suzart, Junior (2013), a utilização de fibras de bananeira surgiu com a finalidade de melhorar a qualidade de compósito, no qual, produz um material “ecologicamente correto”, em que, pode-se substituir fibras sintéticas pelas fibras vegetais, colaborando com o meio ambiente e aproveitando as fibras das bananeiras que seriam descartadas na natureza.

De acordo com Kawabata (2008) para obter materiais que produzem um menor impacto ambiental e que são considerados “ecologicamente correto”, vem sendo usado a substituição do cimento Portland, por resíduos de materiais naturais com atividades pozolanas. Esses materiais geram uma economia de energia no processo de fabricação e diminui a emissão de CO₂, evitando o efeito estufa, além de eliminar o problema de descartes das cinzas no meio ambiente, gerando um produto de maior valor agregado, sem precisar de gerar outros resíduos.

Dessa forma, o objetivo é avaliar as propriedades mecânicas deste compósito para a utilização na construção civil, com um menor impacto ecológico, agregando as cinzas de fibras de bananeiras e aproveitando o pseudocaule que seria descartado. Logo, este procedimento traz benefícios ecológicos, desenvolvimento socioeconômico e tecnológico.

1.1 OBJETIVOS GERAIS

Avaliar o comportamento mecânico do concreto quando se utiliza o pseudocaule de bananeira incineradas em substituição parcial do aglomerante, determinando qual porcentagem é a mais adequada para a produção de elementos estruturais.

1.1.1 Objetivos específicos

- Caracterizar as cinzas da fibra de bananeira.
- Obter resultados de resistência a compressão.
- Determinar qual porcentagem tem o melhor resultado das propriedades mecânicas de resistência a compressão.
- Investigar uma nova forma de utilização dos resíduos da produção de bananas.

1.2 JUSTIFICATIVA

Avaliando o enorme consumo de cimento Portland que é usado na construção civil e considerando sua grande emissão de CO₂ e utilização de fontes de energias não renováveis no seu processo de produção, torna-se necessário reduzir seu consumo, substituindo por outros materiais. Com isso, uma combinação entre materiais cimentícios com cinzas de materiais naturais, como a da bananeira, pode contribuir com melhoras das propriedades mecânicas, físicas e químicas do concreto e a diminuição do impacto ambiental.

Com a grande geração de resíduos proveniente do rejeito do pseudocaule da bananeira, os quais não são aproveitados, precisa-se fazer o descarte ou seu aproveitamento, reduzindo a proliferação de doenças na lavoura, gases que provocam o efeito estufa e podendo gerar economia para os produtores. A utilização do resíduo de bananeira em concreto pode se tornar um grande ganho ecológico, tecnológico e econômico.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste presente capítulo são apresentadas as considerações relacionados com a problemática do trabalho. No qual, serão discutidos panoramas gerais do uso de compósitos na construção civil e a utilização de materiais naturais para obter um produto ecologicamente correto. A ênfase principal será a análise das melhorias das propriedades mecânicas do concreto com a substituição parcial do cimento por cinza de pseudocaule de bananeiras, agregando valor a este elemento que seria descartado.

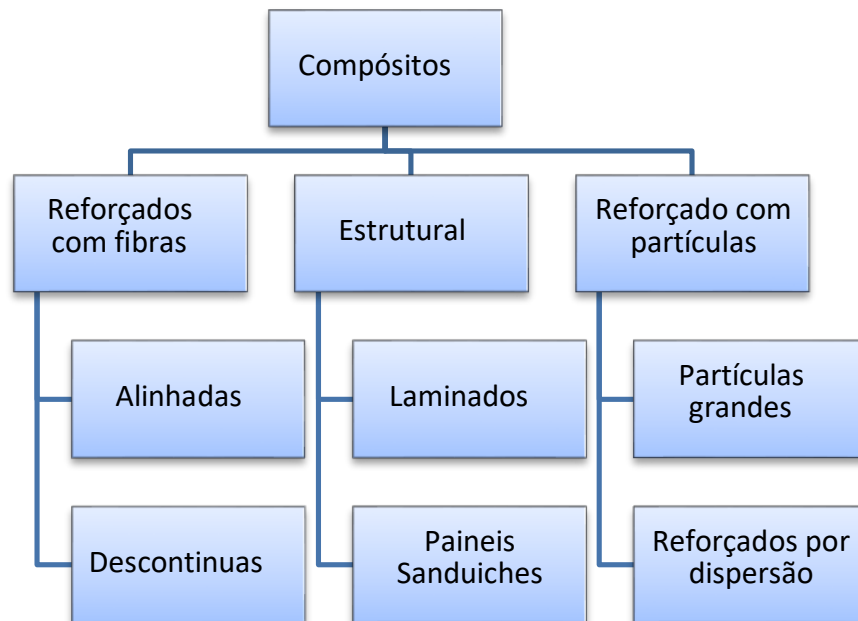
2.1 Compósito

Os materiais compósitos surgem com a necessidade incessante de um material com melhores desempenhos, buscando-se geralmente a redução de peso, maiores resistências mecânicas, térmicas e acústicas (MOTA, 2016). Um compósito pode ser considerado, de maneira geral, um material multifásico, composto de duas ou mais fases, que exibe uma proporção significativa das fases constituintes. Muitos compósitos são compostos por duas fases, uma é denominada matriz, que é contínua e envolve a outra fase denominada fase dispersa (CALLISTER; RETHWISCH, 2013).

De acordo com Cunha et al. (2006), a matriz deve apresentar uma adesão adequada à superfície do reforço, na qual quando o carregamento mecânico for aplicado a um componente, a matriz se deforme e transfira a carga aplicada entre as fibras do compósito. Assim a matriz permite que a fase dispersa, também denominada fase de reforço, transfira os esforços mecânicos entre si e trabalhem de forma integrada. Com isso, é possível a criação de compósitos com características especiais que nenhum dos materiais integrantes possui isoladamente (NETO; PARDINI, 2006).

A fase dispersa existe em diversas formas, sendo a classificação mais geral feita em três categorias, compósitos particulados, compósitos de fibras e compósitos estrutural. Em que, podem ser divididos em subgrupos conforme a Figura 2 abaixo.

Figura 2 - Classificação dos compósitos.



Fonte - Autor.

De acordo com Callister e Rethwisch (2013), compósitos reforçados com fibras são os mais utilizados, eles produzem uma alta resistência e rigidez em relação ao seu peso. Estes materiais estão sendo mais utilizados em produtos que contêm um baixo peso específico da fibra e matriz. A resistência desse compósito depende do comprimento crítico da fibra, que tem sua relação ligada ao diâmetro da fibra.

Os compósitos estruturais podem ser divididos em laminados e painéis sanduiches. Os laminados são compostos por lâminas reforçadas por fibras contínuas, que são colocadas sobrepostas uma a outra com orientações diferentes, conseguindo assim uma alta resistência a tração em todas as direções. Os painéis sanduiches são feitos para produzir vigas de baixo peso e resistência mecânica elevada. São produzidas por duas placas finas externas com uma grande resistência e rigidez e seu núcleo é um material leve, formando um compósito resistente a compressão e tração (CALLISTER; RETHWISCH, 2013).

Segundo Callister e Rethwisch (2013), os compósitos particulados podem ser destrinchados em dois, compósitos reforçados por partículas grandes e por dispersão, a diferença entre eles é o mecanismo de reforço e aumento da resistência. Esses compósitos têm como características que sua parte particulada é mais dura e rígida que a matriz, restringindo o movimento da fase matriz em torno das partículas. A melhoria do compósito com esse tipo de reforço é determinada de uma ligação forte na interface matriz-partícula.

O compósito mais familiar e conhecido reforçado por partículas grandes é o concreto, as cargas modificam ou melhoram as propriedades do material, substituindo um grande volume

do material, tornando ele mais barato. Suas partículas podem ser de várias geometrias, mas que devem ter aproximadamente as mesmas dimensões nas direções para que o seu reforço seja efetivo (CALLISTER; RETHWISCH, 2013).

2.2 Concreto

O concreto é um tipo de compósito cerâmico comum de partícula grande, na qual, as fases matriz e reforço são materiais cerâmicos. Esse material é um compósito constituído por partículas agregadas (areia e brita) que são interligadas num corpo sólido por algum tipo de meio ligante (aglomerante), isto é, o cimento (CALLISTER; RETHWISCH, 2013).

Segundo Smith e Hashemi (2012), o concreto é o principal material utilizado na construção civil, podendo ser aplicado na construção de pontes, edifícios, barragens, barreiras e muros de suporte. Como material de construção ele se destaca, pois possui uma flexibilidade na escolha das formas, durabilidade, resistência a fogo, devido a possibilidade de ser feito no local e aparência estética (SMITH; HASHEMI, 2012).

O concreto reforçado com fibras, mais recentemente explorado, tem apresentado resultados positivos no que se refere ao comportamento pró-fissuração do concreto. Esse fato, aliado à facilidade de se adicionar fibras ao concreto, despertou o interesse pela aplicação. Por isso, os compósitos vêm ganhando espaço ao redor do mundo e no Brasil, onde diversas pesquisas têm se dedicado à compreensão e caracterização do material, fato evidenciado no trabalho de (FIGUEIREDO, 2011).

Segundo Kawabata (2008) uma alternativa para melhorar as propriedades físicas, mecânicas e aumentar a durabilidade do concreto, é a incorporação de cinzas naturais e materiais pozolânicos residuais, além de alinhar com seu baixo custo, em que torna-se uma área de grande potencial de utilização.

Bonato (2014) estudou a substituição parcial do cimento Portland em concretos por cinza de casca de coco verde. Primeiramente caracterizou as cinzas passando pelo processo de queima, onde foi levado ao um forno mulfla, que estava a uma temperatura de 550°C e ficou durante 6h. Os corpos de prova foram feitos com substituição parcial de massa do cimento Portland de 0%, 3%, 5% e 8%. Os resultados obtidos pelos ensaios de compressão mostraram que as dosagens de substituição 3% e 5% foram superiores ao da amostra referência. Viabilizando a utilização da cinza de casca de coco verde em substituição parcial do cimento Portland no concreto.

A pesquisa de Ganesan et al. (2007) estudou os resultados da aplicação de cinza do bagaço de cana (CBC) como material substituto do cimento Portland em concreto. Foram confeccionados corpos de prova com sete traços com teores entre 5% e 30% de CBC, em volume. Os resultados apresentaram que as substituições até 20% tiveram resultados superiores de resistência a compressão ao traço referência em todas as idades estudadas, mostrando que acima dessa porcentagem é inviável a substituição do cimento Portland.

De acordo com a pesquisa de Kanning (2013), pode ser usada a cinza de folha de bananeira, pois ela apresenta uma atividade pozolânica. Em que foi estudada adições das cinzas na proporção de 5%, 7,5% e 10% em relação a um concreto referência, onde mostrou que que o concreto com adição da cinza de folha de bananeira apresentou resultados de resistências mecânicas superiores a concreto referência, viabilizando a utilização da cinza para adição parcial do cimento Portland.

O trabalho de Vaske (2012) estuda a viabilidade da substituição parcial do cimento Portland pela cinza de eucalipto. Em sua pesquisa foram produzidos corpos de provas com teores de substituição do cimento de 15% e 45%, em que os resultados apresentados em comparação ao traço referência teve um aumento da resistência a compressão de 41,23%, onde o mesmo avalia a viabilidade técnica para serem aproveitadas na construção civil.

2.3 Constituintes do concreto

O concreto é um compósito cerâmico que consiste em uma mistura de partículas granuladas, definidas por agregados que são ligadas uma as outras pelo aglomerante (CALLISTER; RETHWISCH, 2013). Considerado como produto básico da indústria da construção civil, o concreto utiliza, em média, por metro cúbico, 42% de agregado graúdo (brita), 40% agregado miúdo (areia), 10% de aglomerante (cimento), 7% de água e 1% de aditivos químicos (VALVERDE, 2001).

2.3.1 Agregados

Segundo Smith e Hashemi (2012), os agregados compõem em geral cerca de 60 a 80% do volume total do concreto, com isso, tem uma grande influência nas propriedades mecânicas do concreto.

São produtos otimizados e regidos com normas para seu uso na engenharia, em que precisam estar limpos, livres de substâncias ou camadas de argilas e livres de outros materiais finos em quantidades que podem afetar a hidratação e a ligação com o aglomerante,

apresentarem boas propriedades de dureza, resistência mecânica, durabilidade. Ainda segundo os mesmos autores, as propriedades mecânicas do concreto dependem das propriedades de seus componentes, a diferença de dureza entre os agregados e a matriz produz concentração de tensões nas interfaces que podem procrastinar tensões no material, com a possibilidade de ocorrer fissuras no concreto (NETO; OLIVEIRA; RAMOS, 2011).

As partículas dos agregados podem ser classificadas em duas, o agregado miúdo (partículas finas) e o graúdo (partículas grossas). Os agregados miúdos consistem em grãos de areia, que possuem uma granulometria inferior a 6 milímetros, enquanto os agregados graúdos que no geral são pedras britadas, que ficam retidas em uma peneira de nº 16 (SMITH; HASHEMI, 2012).

Segundo Callister e Rethwisch (2013), as partículas dos agregados atuam também como uma carga para reduzir o custo total do concreto, pois tem um custo bem menor que a do cimento, ocupando um volume bem maior da mistura. Mas, para que alcance uma resistência operacional confiável, deve-se realizar a mistura com proporções corretas, na qual as partículas finas e grossas tenham um ótimo empacotamento e interações interfaciais.

2.3.2 Aglomerante

De acordo com Hagemann (2011), aglomerantes podem ser definidos como produtos empregados na construção civil para fixar ou aglomerar outros materiais entre si. Em regra são materiais em forma de pó como ilustra a Figura 3, que podem ser chamados também de pulverulentos, quando misturados com água, formam uma pasta que endurece por simples secagem ou devido à ocorrência de reações químicas.

Figura 3 - Aglomerante (cimento).



Fonte - Ecivilnet.

A mistura do aglomerante com água forma-se uma pasta, a mesma envolve os agregados que possuem diversas dimensões, com isso produz um material, que nas primeiras horas, apresenta um estado com uma ótima trabalhabilidade, podendo ser moldadas em variadas formas geométricas. Com o passar do tempo, essa mistura endurece pela reação irreversível causada pela água, cimento e ar, permitindo a formação de resistência mecânica capaz de torná-lo um material com excelente desempenho estrutural (HELENE; ANDRADE, 2010).

Segundo Kawabata (2008) o cimento Portland é o constituinte do concreto cuja sua produção mais contribui para ataques ambientais, pois, a fabricação de uma tonelada de cimento Portland produz mais de uma tonelada de CO₂, um dos gases que mais contribuem para o efeito estufa. Com isso, tem-se a necessidade de buscar materiais alternativos para sua substituição, diminuindo a quantidade de sua produção, fornecendo um crescimento sustentável para a construção civil.

2.3.3 Água

Geralmente a água utilizada na mistura para o concreto é a água natural potável, pode-se ainda ser usada água não potável, mas ela pode ter um grau de impurezas que se passar de um determinado teor causa prejuízos na resistência mecânicas no concreto, com isso deve-se passar por testes, com intuito de saber se sua utilização é prejudicial (SMITH; HASHEMI, 2012).

Segundo (CALLISTER, 2013) no processo de fabricação do concreto, a água é item indispensável, uma vez que promove a hidratação dos aglomerantes, oferecendo a consistência essencial para a sua aplicação.

A quantidade de adição da água no processo do concreto é de muita importância, pois precisa ter uma ligação completa entre o aglomerante e aglomerados. Se a mistura tiver uma quantidade pequena de água, irá causar uma ligação insuficiente entre os componentes, enquanto se tiver uma quantidade excessiva de água, acarretará em uma grande quantidade de porosidade. Com isso, em ambos os casos, a resistência final do concreto será menor que a desejada (CALLISTER; RETHWISCH, 2013).

2.3.4 Aditivos

Segundo a ABNT NBR 13529 (2013), o aditivo pode ser definido como sendo um produto que é adicionado à argamassa (aglomerante + água), em uma quantidade pequena, visando melhorar as propriedades mecânicas da mesma, quando ainda está em estado fresco ou

endurecido. De acordo com a mesma norma, os aditivos aperfeiçoam e potencializam as propriedades dos materiais nas argamassas.

Os aditivos são usados em algumas determinadas aplicações, em que se deseja uma pega rápida, como por exemplo em obturações de vazamentos, com isso, são empregados os aditivos ao cimento, que são denominados de aceleradores de pega. Um exemplo desses aditivos são o cloreto de sódio e silicato de sódio. Também são usados em aplicações que se deseja um tempo de pega menor, quando então se empregam aditivos denominados retardadores de pega, como açúcar, celulose e outros produtos orgânicos (NETO, 2017).

2.4 Fibras naturais

Fibras naturais estão disponíveis em grandes quantidades em diversos países e representam um recurso continuamente renovável. Elas demandam menor quantidade de energia e conhecimento técnico para sua produção em comparação com outros tipos de fibras (RIBEIRO; QUINTANILHA, 2016). Entre as fibras naturais mais usadas destacam-se as fibras de sisal, coco, curauá, bambu, pinus, bananeira, entre outras (BALZER ET AL., 2007). Além de serem de fontes renováveis, possuem baixo custo quando comparadas com as fibras sintéticas (ISHIZAKI, 2006).

A utilização de fibras naturais pela indústria pode contribuir com a conservação dos recursos naturais, desde que as atividades de cultivo e extração sejam feitas dentro dos parâmetros de sustentabilidade. Também é importante citar a redução da emissão de gases poluentes para a atmosfera e a redução de resíduos provenientes de descartes de componentes com matéria-prima biodegradável (SANTOS, 2010). Além disso, Nery (2018) faz uma análise que a utilização de fibras naturais como matérias-primas na produção de compósitos tem impacto direto no custo da produção, por serem, em sua maioria, oriundos de descartes industriais.

Sobre isso, Franco (2010), afirma que utilização de compósitos poliméricos reforçados por fibras vegetais não é novidade, sendo que as primeiras patentes têm seus registros na década de sessenta. Porém, o interesse pelas fibras vegetais nas últimas décadas acompanhou o aumento da atenção dada às questões ambientais e a busca de materiais sustentáveis através do desenvolvimento de pesquisas cujo propósito inclui amenizar os problemas ecológicos (FARUK et al., 2012).

As fibras vegetais, além de serem abundantes e apresentarem vantagens ecológicas, também representam uma nova fonte de renda para a população rural, podendo evitar o enorme fluxo do campo para a cidade, verificado principalmente nas regiões norte e nordeste do país

(MOTA, 2016). Além disto, a pesquisa de Silva (2012) mostra que o custo da construção civil poderia ser alterado, dado a economia de matéria prima, diminuição da densidade e transporte.

As fibras naturais são classificadas de acordo de onde são extraídas, de folhas, como no caso de fibras de sisal e abacá, de caules, como as fibras de bananeira e linho, do pé/talo, como o trigo e do bambu e ainda de sementes, de onde se obtém o algodão, ou frutos, como as fibras de casca de coco (NERY, 2018).

Segundo Ribeiro e Quintanilha (2016), adoção de fibras naturais para reforço de matrizes como o concreto é alternativa digna de atenção especial perante as demais fibras e reforços, visto que elas possuem propriedades mecânicas capazes de melhorar a ductilidade, flexibilidade e resistência ao impacto do material resultante e, ainda, no aspecto da sustentabilidade, apresentam vantagem frente às demais.

2.4.1 Fibras de bananeira

A banana é uma fruta cultivada na maioria das regiões tropicais e subtropicais. A produção movimenta a economia e gera empregos diretos e indiretos, além de representar importante fonte de renda para os agricultores menos capitalizados (COSTA et al., 2016).

No Brasil, distribui-se por todo o território nacional, situando-se entre os principais cultivos, em área plantada, volume produzido e valor da produção. Vale salientar que é uma das principais frutas de consumo popular no Brasil, devido ao seu baixo custo e seus valores nutricionais, bem como por servir na composição de vários tipos de alimentações, tais como farinha de banana, geleias, cereais matinas, balas e medicamentos (WAGDA; SUZART; JUNIOR, 2013).

As fibras de bananeira podem ser extraídas do pseudocaule ou das folhas da planta. Após a colheita do cacho de banana o pseudocaule é cortado e descartado, pois não serve para produzir novos cachos. Este material orgânico, leva muito tempo para se decompor, rico em nutrientes, favorece proliferação de fungos após o seu apodrecimento, alguns deles prejudiciais à plantação (ZIMMERMANN; TURELLA; ZATTERA, 2013).

A possibilidade de utilização da fibra oriunda do pseudocaule transforma este material da categoria de resíduos para a categoria de matéria prima. Esse reaproveitamento, pode gerar uma renda maior para seus produtores, a Figura 4 ilustra as fibras de bananeiras proveniente do pseudocaule. Seguindo o mesmo pensamento de pesquisa, BALZER et al. (2007), analisa que a extração do pseudocaule das bananeiras pode ser uma alternativa de renda interessante para a mão de obra rural.

Figura 4 - Fibras de bananeira.



Fonte - Autor.

Ainda de acordo com Wagna, Suzart, Junior (2013), além de contribuir com o meio ambiente evitando emissão de gases, é de grande importância para a economia do país, tendo em vista o reaproveitamento de matérias vegetais descartáveis, como é a fibra de bananeira, que possui as características de ser durável e resistente, além de baixo custo e alto potencial de aplicabilidade na construção civil.

2.4.2 Cinzas de fibras naturais

As cinzas provenientes de resíduos vegetais vêm-se sendo estudadas cada vez mais na substituição do aglomerante (cimento), por conter um elevado teor de sílica na sua composição. Em que, destacasse os estudos com cinzas de casca de arroz, cana-de-açúcar, folha de bananeira e coco verde (WINCKLER, 2015).

Para ser usada como aglomerante a cinza vegetal tem que ser predominante siliciosa, produzida em estado amorfo e que tenha uma finura adequada. No qual, para sua produção é importante ter um controle da queima e tempo, pois pode acarretar em uma produção de carbono elevada, atrapalhando a viabilidade da sua utilização como aglomerante (KAWABATA, 2008).

Na construção civil os materiais usados devem apresentar atributos técnicos para viabilizar sua aplicação. Para assegurar que as cinzas tenham as características morfológicas (amorfa ou cristalina) da sílica presente é preciso levar o material a uma temperatura de calcinação controlada e tempo de combustão determinado, certificando que não ocorra uma produção de carbono elevada (PAULA, 2006).

2.5 Ensaios termoanalíticos

Os Ensaios termoanalíticos podem ser definidos com o objetivo de determinar uma propriedade física de uma substância e de seus produtos de reação, em função da temperatura e tempo que a substância é submetida sob uma atmosfera específica. Existem diferentes tipos de técnicas termoanalíticas, em que cada uma consiste em analisar propriedades físicas diferentes, as mais utilizadas são TG, DTA, DSC e TMA (SILVA; PAOLA; MATOS, 2007).

De acordo com Izaias (2003) a termogravimetria (TG) relaciona a perda de massa de um determinado material em função da temperatura, na qual permite identificar a decomposição, desidratação e oxidação de um composto. Este ensaio é muito aplicado em estudar a decomposição térmica de compostos orgânicos, inorgânicos e de substâncias poliméricas, a corrosão de metais em várias atmosferas em temperaturas elevadas, aquecimento e calcinação de minerais, volatilização e conteúdo de cinza.

A análise térmica diferencial (DTA) é definida como uma técnica em que a diferença de temperatura entre a substância de referência é medida em função da temperatura da referência do forno, enquanto a substância e o material de referência são submetidos a uma programação controlada de temperatura. As curvas registradas no DTA representam reações endotérmicas e exotérmicas de acordo com tempo ou temperatura, no qual os picos ascendentes caracterizam os eventos exotérmicos e os descendentes os endotérmicos (PEREIRA, 2013).

De acordo com Pereira (2013), os ensaios TG e DTA podem ser feitos e associados de maneira simultânea, realizado no mesmo equipamento, isso acontece em algumas aplicações, onde precisa-se da utilização das duas técnicas para encontrar parâmetros diferentes de uma mesma amostra.

2.6 Ensaios mecânicos

Para determinar as propriedades mecânicas de materiais é necessário realizar alguns tipos ensaios. Podemos separar esses ensaios em destrutivos, que promove a ruptura total ou a inutilização do material e não-destrutivos para determinar algumas propriedades físicas, ou detectar falhas internas. Os ensaios mecânicos destrutivos são realizados conforme a aplicação, em que temos os esforços possíveis de tração, compressão, flexão e torção, nos quais se determina a resistência do material a cada um desses esforços (SOUZA, 1982).

Com isso, é muito importante fazer a escolha certa do tipo de ensaio mecânico, sabendo qual é a finalidade do material, dos tipos de esforços que eles vão sofrer e das propriedades

mecânicas que se deseja mensurar. Dois fatores que podem influenciar a confiabilidade dos ensaios é a quantidade e o tamanho das amostras a serem ensaiadas (SOUZA, 1982).

2.6.1 Ensaio de compressão

O ensaio de compressão é o mais utilizado em materiais frágeis, como é o caso do concreto, pois nesses materiais a fase elástica é muito pequena, em que não é possível determinar algumas propriedades mecânicas. O corpo de prova tem uma influência no tipo de fratura, por isso é sempre aconselhado realizar segundo as normas vigentes (SOUZA, 1982).

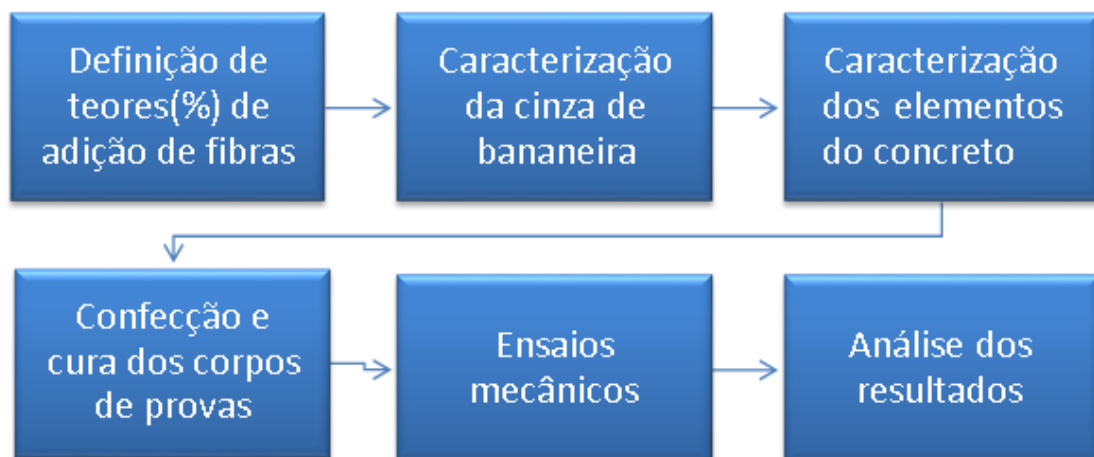
Os ensaios de compressão e de tração são semelhantes, pois ambos sofrem aplicação axial das cargas, porém em sentidos opostos de aplicação, mas podem ser realizados no mesmo equipamento, além de obterem algumas propriedades comuns (ZOLIN, 2010).

3 MATERIAIS E MÉTODO

Neste presente capítulo será apresentado o programa experimental desenvolvido nesta pesquisa. Visou-se à análise das propriedades mecânicas de concretos reforçados com pseudocaule de bananeira incinerado, sendo analisados: um traço referência sem fibras e um traço com cinzas de bananeiras com diferentes teores de substituição parcial (5%, 10% e 15%) em relação a massa do aglomerante (cimento).

O concreto foi qualificado quanto a sua resistência à compressão. Em que, constitui-se em ser realizadas comparações, entre os valores das propriedades mecânicas obtidas no concreto de referência (sem adição de cinza) e nos concretos reforçados com cinzas, verificando-se a viabilidade da substituição parcial.

Figura 5 - Etapas do processo experimental.



Fonte - Autor.

A caracterização da cinza de bananeira e confecção dos corpos de prova foram feitos no laboratório de química e de ensaios respectivamente, localizado na Universidade Federal do Oeste da Bahia - UFOB, centro multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa - Bahia. Para caracterização dos agregados miúdos e graúdos, utilizou instrumentos do laboratório do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano - IFbaiano, em Bom Jesus da Lapa-Bahia.

3.1 Materiais

Para o desenvolvimento dos traços de concreto foi necessário a utilização de alguns materiais, listados na Tabela 1, como aglomerantes, agregados, água, cinza e aditivos, e equipamentos para realização de ensaios e confecção dos corpos de prova.

Tabela 1- Equipamentos e ferramentas utilizados.

Equipamento/ferramenta	Modelo	Quantidade
Cimento portland	CP – IV 32	15kg
Areia lavada	Fina	50L
Brita	Nº 0	60L
Água	-	12L
Cano PVC	100mm - Amanco	7m
Máquina universal de ensaios	Emic – DL 30000	1
Mulfla	Zeximac – 2000-C	2
Pseudocaule	Banana nanica	15
Peneiras vibratórias	TPL – 4,75mm/9mm/3mm/1 mm	4
Caixa d'água	Fotlev – 1000L	1
Colher de pedreiro	Belflix	1
Barra de ferro	3/8"	1
Baldes de plástico	20L	3
Balança de precisão	PR - 1000	1
Silicone	Tek bond – 270mL	1
Béquero	100 mL	1
Furadeira de bancada	Motomil 130i	1

Fonte - Autor.

3.1.1 Cimento portland

Foi utilizado apenas um tipo de cimento na produção do concreto: cimento Portland, ilustrado na Figura 6. Foi necessário 15kg para a fabricação dos corpos de provas.

Figura 6- Cimento Portland.



Fonte – Autor.

3.1.2 Agregado miúdo

Foi utilizada areia lavada fina, ilustrada na Figura 7. Foi necessário a utilização de 50 litros de areia, proveniente da margem do Rio São Francisco em Bom Jesus da Lapa - Bahia.

Figura 7 - Areia lavada fina.



Fonte – Autor.

3.1.3 Agregado graúdo

Será utilizada brita 0, ilustrada na Figura 8. Foi necessário a utilização de 60 litros de brita 0, retirada da região de Bom Jesus da Lapa - Bahia.

Figura 8 - Brita 0.



Fonte – Autor.

3.1.4 Água

A Água que foi utilizada é originária da rede de abastecimento pública da cidade de Bom Jesus da Lapa – BA. Necessitou-se de 12 litros.

3.1.5 Fibras de bananeiras

Foram coletados 15 pseudocaules da bananeira, os quais foram retirados no Projeto Formoso em Bom Jesus da Lapa – BA, como ilustra a Figura 9.

Figura 9 - Pseudocaules.



Fonte – Autor.

3.2 Método

Neste tópico explica-se toda a metodologia desenvolvida na pesquisa no presente estudo, com o objetivo de avaliar as propriedades mecânicas do concreto com adição parcial de fibras de bananeiras incineradas.

3.2.1 Caracterização da cinza de bananeira

Foi feito a caracterização da cinza de bananeira através do teste TG/DTA, o qual analisou-se a quantidade presente de cinzas, temperatura de calcinação e tempo necessário para toda massa de fibra de bananeira se decompor. Foi preciso extrair amostras das fibras de bananeiras, como ilustra a Figura 10, as quais foram colocadas na máquina de ensaio DTG-60, como ilustra a Figura 11 e ajustada nos parâmetros para chegar até 1000°C, com taxa de variação de 10°C/min e fluxo de N₂ de 50mL/min. Este ensaio foi realizado no laboratório de química do Campus Edgar Santos da Universidade Federal do Oeste da Bahia – Barreiras.

Figura 10 - Amostra de fibra de bananeira para ensaio TG.



Fonte – Autor.

Figura 11 - Máquina de ensaios TG/DTA.



Fonte – Autor.

Sabendo a porcentagem de cinzas presente na fibra de bananeira, pode-se calcular a quantidade de cimento necessário, conseqüentemente a massa de cinza, conforme a Equação 1 e quantidade massa de fibra de bananeira, conforme a Equação 2.

$$C_{cinza} = (C_{cimento} * 0,15) + (C_{cimento} * 0,1) + (C_{cimento} * 0,05) \quad (1)$$

Em que, C_{cinza} é a quantidade de cinza utilizada, em quilogramas (kg) e $C_{cimento}$ é a quantidade de cimento utilizado, em quilogramas (kg).

$$C_{Pseu} = \frac{100 * C_{cinza}}{Q_{cinza}} \quad (2)$$

Em que, C_{Pseu} é a quantidade de pseudocaule de bananeira utilizada, em quilogramas (kg), C_{cinza} é a quantidade de cinza utilizado, em quilogramas (kg) e Q_{cinza} é a porcentagem de cinza presente na fibra de bananeira.

3.2.2 Coleta e preparo da cinza de fibra de bananeira

Foram coletados 15 pseudocaules da bananeira no Projeto Formoso em Bom Jesus da Lapa – BA, posteriormente levados pro centro multidisciplinar da UFOB, para que, as fibras fossem secas e incineradas.

Os pseudocaules retirados foram cortados em tamanhos pequenos e colocados expostos ao sol para que secassem, como ilustra a Figura 12. Depois de ficar por 2 dias no sol, as fibras de bananeira foram picadas e levadas para o forno Mulfla, no qual ficou por 1 hora em uma temperatura controlada a 500°C, para que as fibras virassem cinzas, como ilustra a Figura 13.

Figura 12 - Fibras de bananeiras secas.



Fonte – Autor.

Figura 13 - Pseudocaule de bananeiras levadas ao forno mufla.



Fonte – Autor.

Depois de retirados do forno mufla as cinzas foram pesadas e armazenadas em recipientes, como ilustra a Figura 14 e 15. A pesagem foi feita para a determinar qual seria a quantidade necessária para cada traço.

Figura 14 - Pesagem das cinzas.



Fonte – Autor.

Figura 15 - Cinza de fibra de bananeira.



Fonte – Autor.

3.2.3 Caracterização dos agregados

Segundo a ABNT NBR 7211 os agregados miúdos são determinados com grãos que tem o tamanho entre 4,75 mm e 150 μm e o agregado graúdo tem valores de tamanho de grãos entre 75 mm e 4,75 mm.

Com ajuda de peneiras vibratórias do laboratório do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano - IFbaiano, em Bom Jesus da Lapa - Bahia, foi determinado uma granulometria uniforme e padronizada, na qual, com esse controle minimiza ao máximo a interferência nos resultados.

3.2.4 Agregado graúdo

A brita 0 escolhida para nosso experimento primeiramente passou pelo ensaio de granulometria, para que as britas com dimensões acima de 9mm e menor que 4,5mm fossem descartadas. Utilizou-se peneiras vibratórias, como ilustra a Figura 16, em que se colocou 2 peneiras com malhas de 9mm e 4,5 mm, uma subsequente a outra e uma bandeja de aço sob elas.

Figura 16 - Peneiras 9mm e 4,5mm.



Fonte – Autor.

As peneiras foram agitadas manualmente até que visse que não tivesse britas a serem descartas, com isso as britas que não estão dentro da faixa de 9mm e 4,5mm de tamanho ficaram retidas na primeira peneira e na bandeja, posteriormente sendo retiradas.

3.2.5 Agregado miúdo

A areia escolhida para o experimento passou pelo ensaio de granulometria, conforme a NBR 7217:1987 – “Agregados – Determinação da composição granulométrica”. A amostra passou por um conjunto de peneiras, com seu tamanho limitado de 3mm para ter o controle dos grãos, em que os maiores do limite foram descartados. Logo, as peneiras foram sacudidas de forma manual, até que toda a areia passasse e ficasse armazenada no recipiente de coleta, como ilustra a Figura 17.

Figura 17 - Ensaio de agregado miúdo.



Fonte – Autor.

3.2.6 Dosagem do concreto

Para determinação de algumas propriedades do concreto foram feitas considerações conforme a norma NBR 6118:2014 – “Projeto de estruturas de concreto”. Com isso, foi determinado a classe de agressividade II, indicando que o concreto tem uma resistência a compressão (f_{ck}) mínima de 25 MPa. Considerando o método ABCP de dosagem, escolhe-se o abatimento de 90 +/- 10mm e desvio padrão $S_d = 5,5$ Mpa, que é da condição B.

Esse planejamento da dosagem do concreto foi retirado da pesquisa feita por Rocha (2017), em que, foi analisado o traço pesquisado e calculado a quantidade de material necessário para o presente trabalho.

3.2.7 Confecção dos corpos de prova

Desde a confecção dos corpos de prova até a sua cura seguiu-se as normas da NBR 5738:2015 – “Concreto – Procedimento de moldagem e cura de corpos de prova”. Para a

realização dos ensaios mecânicos de compressão foram moldados 28 corpos de provas cilíndricos, dividindo-se 7 para cada porcentagem de adição de fibra de bananeira (5%, 10% e 15%) e 7 para concreto sem adição (concreto de referência).

Segundo a NBR 5738:2015 as dimensões dos corpos de prova cilíndricos devem estabelecer a relação que o comprimento seja 2 vezes superior ao seu diâmetro, como demonstra a Tabela 2. Para o nosso experimento foi usado o corpo de prova de 100mmx200mm, no qual, foram confeccionados no laboratório de ensaios da Universidade Federal do Oeste da Bahia, centro multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa – BA.

Tabela 2 - Dimensões dos corpos de prova.

Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)
100	200
150	300
200	400
250	500

Fonte - Autor

Para o molde do corpo de prova usou-se cano de PVC de 100mm, como ilustra a Figura 18. Para cortar o cano nas suas dimensões corretas, utilizou-se a máquina serra fita, a qual assegura que os tamanhos fossem controlados e suas faces ficassem paralelas, como ilustra a Figura 19.

Figura 18 - Cano PVC 100mm.



Fonte – site águiluz

Figura 19 - Corte dos moldes dos corpos de prova.



Fonte - Autor.

Depois de cortados, os moldes foram lixados para tirar as rebarbas, posteriormente eles foram colocados em cima de um plástico que foi colocado em uma superfície reta e fixados com silicone, para que evitasse os vazamentos quando foi adicionado o concreto, como ilustra a Figura 20.

Figura 20 - Moldes fixados com silicone.



Fonte - Autor

Após a realização dos moldes, foi feito seu preenchimento com o concreto, em que, se fez separadamente para cada proporção de cinza utilizada. Para isso, usou-se uma colher de pedreiro, esta fase foi dividida em 3 camadas, cada uma equivalente aproximadamente a um terço do volume do corpo de prova. Ao fim de cada camada o corpo de prova sofreu 12 golpes

com a colher de pedreiro na face externa, impedindo o aparecimento de espaços vazios entre o concreto. Para que não fique com ar nos corpos de prova, foi feito o apiloamento, técnico manual com a ajuda de uma barra de ferro circular.

Depois dos processos anteriores fez-se o nivelamento da superfície externa do molde, evitando que as superfícies não fiquem perpendiculares e influenciasse nos ensaios. Este método, foi executado com o auxílio da colher de pedreiro, no qual passa-se na extremidade superior, retirando o excesso de concreto existente.

Por fim, todos os corpos de provas foram armazenados no laboratório de ensaios, em uma superfície plana, horizontal, que não promova vibração a uma temperatura ambiente, até seu início da pega, que duram cerca de 2 horas, como ilustra a Figura 21.

Figura 21 - Corpos de prova moldados.

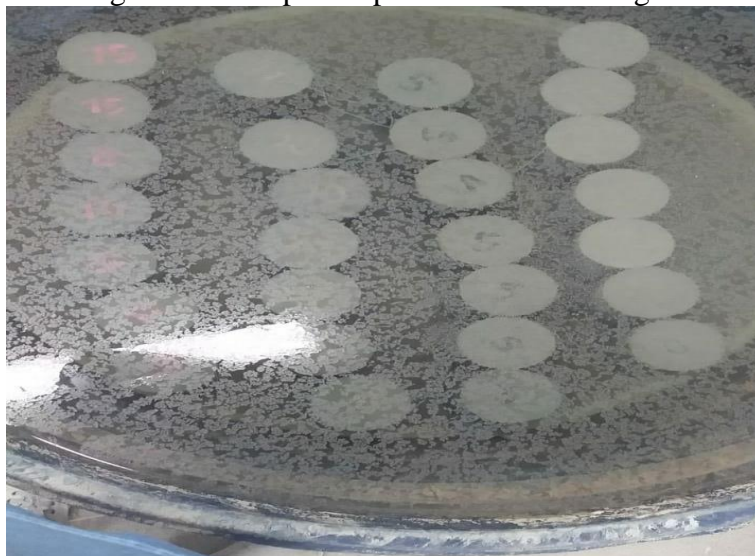


Fonte - Autor.

3.2.8 Cura dos corpos de prova

Iniciou-se a desmoldagem dos corpos de provas depois de 24 horas, todos foram retirados dos seus moldes, no qual cada corpo foi identificado de acordo com sua composição de adição de cinza e posteriormente levados e armazenados em uma caixa d'água, onde ficaram imersos na água em temperatura ambiente, como ilustra a Figura 22.

Figura 22 - Corpos de provas imersos em água.



Fonte - O autor.

Os ensaios mecânicos foram feitos com os corpos de prova com tempo de cura de 8 e 28 dias, logo, para os ensaios de 8 dias, foram retirados 3 corpos de provas de cada composição (0%, 5%, 10%, 15%) e levados para o laboratório de ensaios da UFOB, para realização dos ensaios de resistência a compressão com auxílio da máquina universal de ensaios Emic DL-3000.

3.2.9 Ensaio de compressão

Os ensaios de resistência a compressão foram realizados com auxílio da máquina universal de ensaios Emic DL-3000 no laboratório de ensaios da UFOB – Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa. Esses ensaios são redigidos pela NBR 5739:2007 “Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos”.

Antes do ensaio de compressão foi feito a retificação das superfícies do corpo de prova, em que essa etapa foi feita com a ajuda de uma furadeira de bancada e uma serra copo diamantada, como ilustra a Figura 23. Este processo assegurou que as faces ficassem retilíneas, como ilustra a Figura 24, assim a máquina de ensaios conseguiu ter contato com toda sua superfície e distribuir a carga uniformemente.

Figura 23 - Nivelamento das faces dos corpos de prova.



Fonte - Autor.

Figura 24 - Face retificada.



Fonte - Autor.

Sempre antes do começo de cada ensaio os corpos de prova foram limpos e secos, para evitar alguma influência nos resultados, pois suas faces superior e inferior devem estar lisas e lineares para que a carga aplicada fosse distribuída de forma uniforme. Logo, posicionou-se o corpo de prova no eixo central do prato na máquina, como ilustra a Figura 25, e fez-se a adequação dos parâmetros no software para a regulação da velocidade de carga de 0,03 mm/min e critério de parada, onde o ensaio seria interrompido quando o corpo de prova chegasse a sua ruptura, usando uma célula de carga de 300kN.

Figura 25 - Posicionamento do corpo de prova para ensaio.



Fonte - O autor.

O software que é vinculado a máquina de ensaios, forneceu a força máxima de ruptura, e com ela foi possível calcular a tensão máxima de ruptura, obtida de acordo com a Equação 3.

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{4 F}{\pi D^2} \quad (3)$$

Em que, $\sigma_{\text{máx}}$ representa a tensão máxima de resistência à compressão, em megapascals (MPa), F é a força máxima aplicada, em newtons (N) e D o diâmetro do corpo de prova, em milímetros (mm).

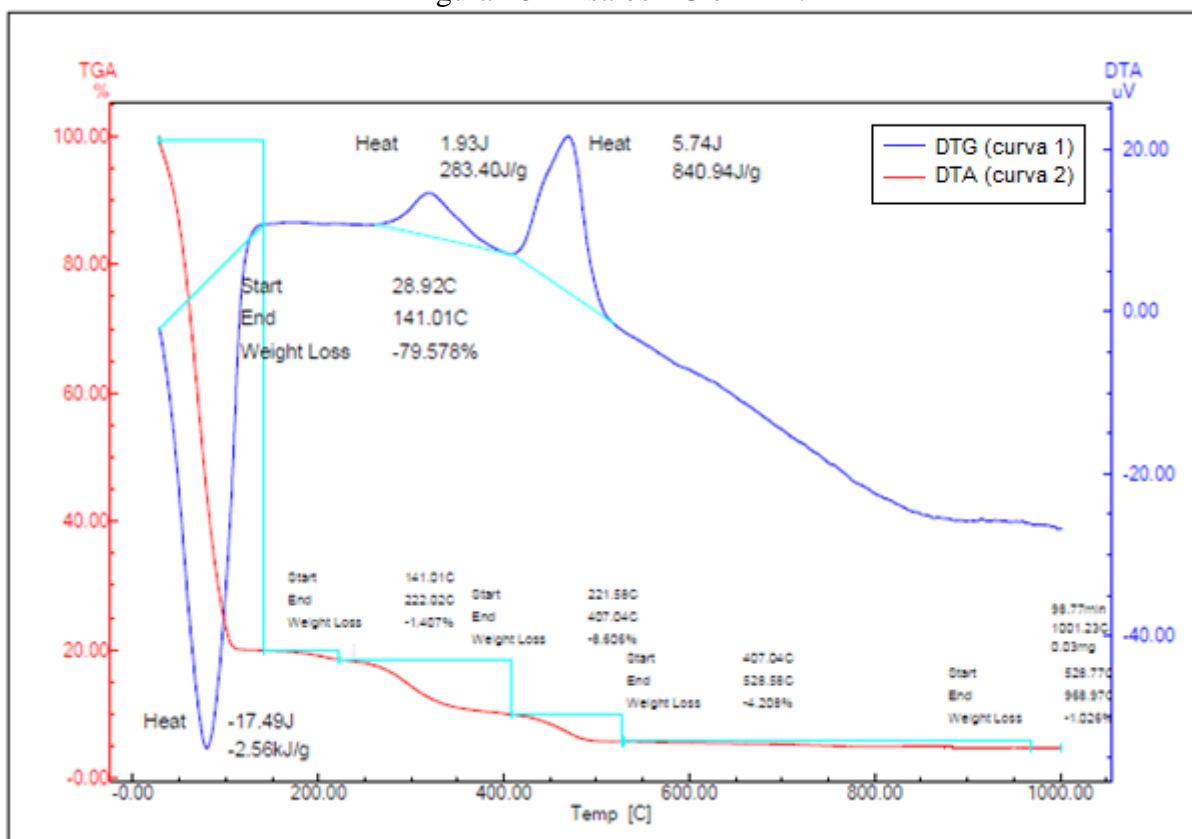
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste presente capítulo será apresentado os resultados da pesquisa desenvolvida. Buscou-se avaliar a propriedade mecânica de compressão do concreto com substituição parcial do cimento por cinzas do pseudocaule da bananeira. Para isso, realizou-se a caracterização da cinza do pseudocaule e posteriormente substituiu-se parcialmente no aglomerante (cimento) com a proporção de 5%, 10% e 15% em massa.

4.1 Ensaios termoanalíticos

Para fazer a caracterização das cinzas de bananeiras, foi feito os ensaios termoanalíticos de termogravimetria (TG) e análise térmica diferencial (DTA), Figura 26. Com os resultados pode-se determinar a temperatura de calcinação e tempo que as fibras deveriam ficar dentro do forno mufla Zezimaq 2000-C.

Figura 26- Ensaios TG e DTA.



Fonte - Autor.

Pelo Figura 26 pode-se fazer a análise DTG, que seria a primeira derivada da curva TG. Segundo Silva; Paola; Matos (2010), as visualizações da curva DTG ficam mais visíveis e

melhores para serem analisadas, mesmo que as duas curvas forneçam as mesmas informações. Na curva DTG são indicados os picos de variação da massa, demonstrando as temperaturas que começam e terminam os picos e sua fração de redução.

Com a visualização das curvas do DTG pode-se perceber que existem três picos de redução de massa. O primeiro se encontra na temperatura de 141,01°C e tem uma redução de massa de 79,578%, essa perda é devida a absorção de água que temos na fibra de bananeira. O segundo e terceiro picos são devidos a combustão dos componentes presentes do pseudocaule, a segunda acontece a 407°C e tem uma redução de massa de 8,606% devida a decomposição de celulose presente. O terceiro incide em 528,28°C, que é a redução devida a combustão da lignina e tem uma proporção de redução de 4,208%, onde após esse pico começa a se formar uma estabilidade térmica da fibra, não provocando mais redução de massa, sendo formado só as cinzas da fibra de bananeira. Com isso, consegue-se saber a composição final das fibras de bananeira, como mostra a Tabela 3, Logo, com o ensaio TG pode-se quantificar a quantidade de fibra de bananeira necessário, esse valor foi de 13,32 kg.

Tabela 3 - Componentes da fibra de bananeira.

Componentes	Porcentagem (%)
Água	79,578
Celulose	8,606
Lignina	4,208
Cinzas	7,608

Fonte - O autor.

Na análise do DTA pode-se se perceber 3 picos, um endotérmico e 2 exotérmicos. Segundo Neta et al. (2015), este fato indica que o processo de decomposição inicia-se por um processo de pirólise endotérmica seguido de combustão. A primeira etapa de perda de massa de materiais orgânicos ocorrida é devida à pirólise, combustão da hemicelulose e da celulose e a segunda devido à combustão da lignina.

Logo, quando forma-se o segundo pico exotérmico da combustão da lignina indica a temperatura de calcinação que deve ser utilizada para que o cinza não tenha uma porcentagem sobressalente de CO₂. Sendo assim, a temperatura de calcinação da fibra foi de 500°C, como o ensaio teve a variação de 10°C/min, o tempo necessário para chegar a temperatura necessária de 50 minutos.

4.2 Traço referência

O traço referência utilizado foi o definido por Rocha (2017). Realizou-se o planejamento e controle no momento da fabricação e moldagem dos 7 corpos de prova do concreto, considerando 15% de perda do material no momento da fabricação e confecção dos corpos de prova. A Tabela 4 apresenta a quantidade de material utilizado.

Tabela 4 - Material utilizado no traço referência.

Cimento (kg)	Brita (L)	Areia (L)	Água (L)
3,680	7,50	6,50	1,850

Fonte – Autor.

Com os ensaios dos corpos de prova com idade de 8 dias, o concreto não teve uma resistência a compressão que era desejada, como mostra a Tabela 5.

Tabela 5 - Resistência a compressão em 8 dias.

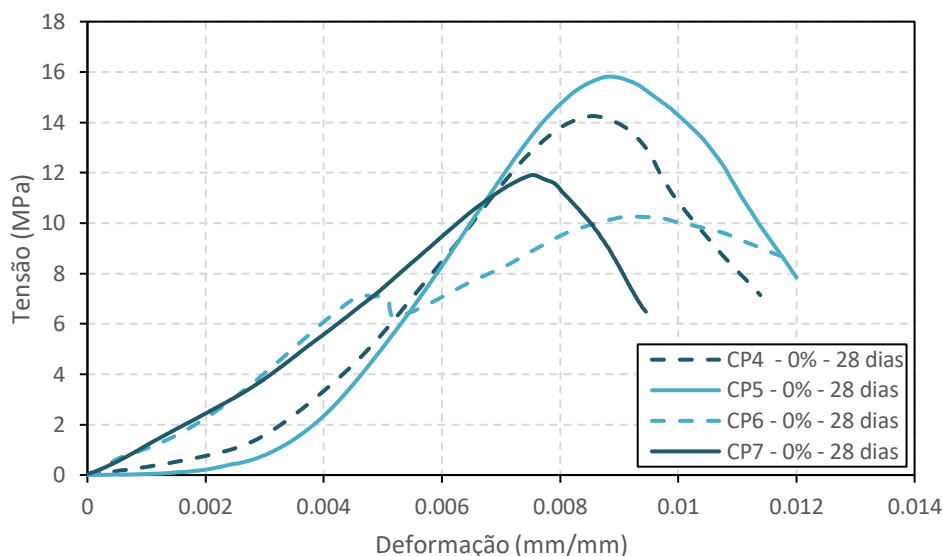
LRT(Mpa)	
CP1	9,406736
CP2	6,91161
CP3	9,687343
Média	8,668563
Desvio	1,528021

Fonte – Autor.

Com essa idade de cura, para os parâmetros que utilizamos, esperava-se uma resistência do concreto de 17MPa. Um dos fatores que pode ter influenciado nesse comportamento foi o fato das propriedades dos materiais utilizados no traço deste trabalho serem diferentes do traço tomado como referência, por ser material proveniente de outra região e pelo traço ter sido fabricado manualmente, sem uso da betoneira.

Com a idade de cura de 28 dias obteve-se os resultados de resistência a compressão apresentados no Gráfico 1, no qual podemos também calcular o módulo de elasticidade (E).

Gráfico 1 - Curvas dos ensaios de compressão a 28 dias para o traço referência.



Fonte – Autor.

O Gráfico 1 dispõe de 3 curvas com comportamentos análogos, mas com variações de resistência a compressão e deformação, e uma curva com característica atípica, em que, os valores encontrados nelas foram descartados para os cálculos do LRT médio, desvio padrão e módulo de elasticidade, apresentados na Tabela 6. Uma das hipóteses do ocorrido é o não paralelismo entre as faces. Primeiramente as curvas tem um comportamento não linear seguido de um linear até seu ponto máximo e posteriormente ocorrendo uma queda de tensão.

Tabela 6 - LRT com 28 dias para o traço referência.

	LRT(Mpa)	E(Mpa)
CP4	14,25323	2898,785
CP5	15,8178	3417,922
CP7	11,91273	1815,267
Média	13,99458	2710,658
Desvio	1,965342	817,7219

Fonte – Autor.

4.3 Traço com 5% de cinza

Nesse traço foi realizada a substituição de 5% da massa de cimento pela cinza do pseudocaule. Para determinação das quantidades dos componentes foi considerado 15% de perda do material no momento da fabricação e confecção dos corpos de prova. A Tabela 7 apresenta a quantidade de material utilizado.

Tabela 7 - Material utilizado para traço com 5% de cinza.

Cimento (kg)	Brita (L)	Areia (L)	Água (L)	Cinzas (Kg)
3,462	7,50	6,50	1,850	0,218

Fonte – Autor.

Com a idade de 8 dias os corpos de provas foram ensaiados e apresentaram os resultados de resistência a compressão mostrado na Tabela 8.

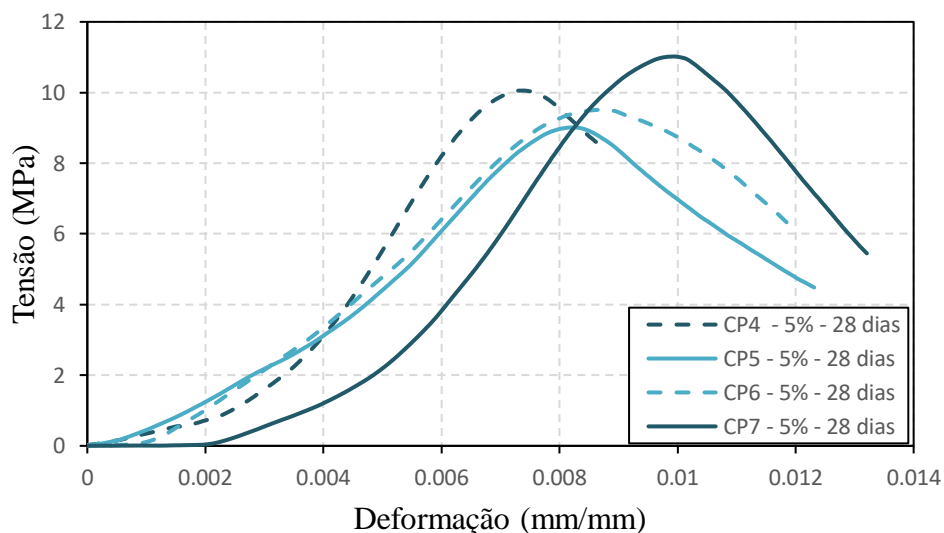
Tabela 8 - Resistência a compressão em 8 dias com 5%.

	LRT(Mpa)
CP1	8,682294522
CP2	7,175851103
CP3	6,162479397
Média	7,340208341
Desvio	1,267922333

Fonte – Autor.

Nos ensaios com tempo de cura de 28 dias obteve-se os resultados de resistência a compressão apresentados no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Curvas com adição de 5%.



Fonte – Autor.

No Gráfico 2 é apresentado quatro curvas com comportamentos análogos, no entanto tem variações de resistência a compressão e deformação. Com elas foi possível os cálculos de desvio padrão e módulo de elasticidade, apresentados na Tabela 9. As curvas apresentam um

comportamento não linear seguido de um linear até seu ponto máximo e posteriormente ocorrendo uma queda de tensão no seu máximo, que representa a ruptura dos corpos de prova.

Tabela 9 - LRT e E com adição de 5%.

	LRT(Mpa)	E (Mpa)
CP4	10,05584	2770,112
CP5	9,012279	1749,018
CP6	9,518894	1437,147
CP7	11,01984	2390,426
Média	9,901712	2086,676
Desvio	0,858603	604,2211

Fonte – Autor.

Analisando a Tabela 9 pode-se perceber que houve um aumento da sua resistência a compressão em referência aos dados dos corpos de prova de 8 dias, como era o esperado, porém se comparado ao traço referência ocorreu uma redução na propriedade.

4.4 Traço com 10% de cinza

Para o traço de 10% de substituição, foi considerado 15% de perda do material no momento da fabricação e confecção dos corpos de prova. A Tabela 10 apresenta as quantidades de cada material utilizado.

Tabela 10 - Material utilizado para traço com 10%. de cinza.

Cimento (kg)	Brita (L)	Areia (L)	Água (L)	Cinzas (Kg)
3,312	7,50	6,50	1,850	0,368

Fonte – Autor.

Com 8 dias os corpos de provas foram ensaiados e obteve-se os resultados de resistência a compressão, como mostra a Tabela 11.

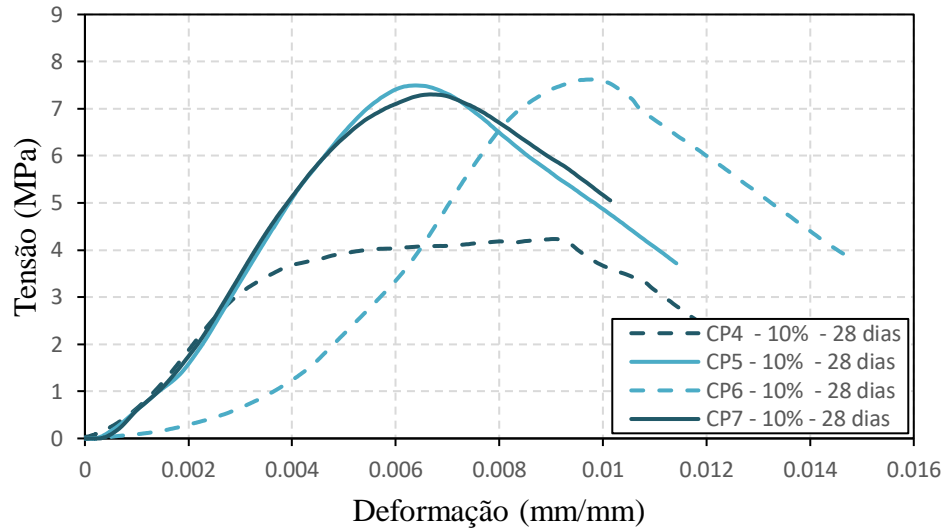
Tabela 11 - Resistência a compressão em 8 dias com 10%.

	LRT(Mpa)
CP1	4,076765
CP2	6,118604
CP3	5,091547
Média	5,095639
Desvio	1,020926

Fonte – Autor.

Nos ensaios dos corpos de provas com idade de 28 dias obteve-se os resultados de resistência a compressão apresentados no Gráfico 3.

Gráfico 3 - Curvas com adição de 10%.



Fonte – Autor.

No Gráfico 3, três das curvas apresentam comportamentos equivalentes, variando apenas a intensidade dos valores, e uma com característica atípica, a qual não levou-se em consideração para os cálculos realizados. Fazendo análise das curvas foi possível determinar a resistência de compressão máxima, módulo de elasticidade, médias e o desvio padrão, apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - LRT e E com adição de 10%.

	LRT(Mpa)	E (Mpa)
CP5	7,493561	1788,95
CP6	7,619545	1102,17
CP7	7,303246	1800,22
Média	7,472117	1563,78
Desvio	0,159236	399,8057

Fonte – Autor.

Comparando os dados de resistência a compressão de 8 e 28 dias a pode-se perceber que houve um aumento da sua resistência a compressão em referência aos dados dos corpos de prova de 8 dias, como era o esperado. Porém se comparado com os dados dos traços anteriores, o material sofreu uma queda de resistência a compressão.

4.5 Traço com 15% de cinza

Para a substituição de 15% da massa de cimento pela cinza do pseudocaule, determinou-se a quantidade dos constituintes considerando um acréscimo de 15% de perda do material no momento da fabricação e confecção dos corpos de prova. A Tabela 13 apresenta a quantidade de material utilizado.

Tabela 13 - Material utilizado para traço com 15% de cinza.

Cimento (kg)	Brita (L)	Areia (L)	Água (L)	Cinzas (Kg)
3,248	7,50	6,50	1,850	0.432

Fonte – Autor.

Na idade de 8 dias, os corpos de provas foram ensaiados e os resultados de resistência a compressão estão expostos na Tabela 14.

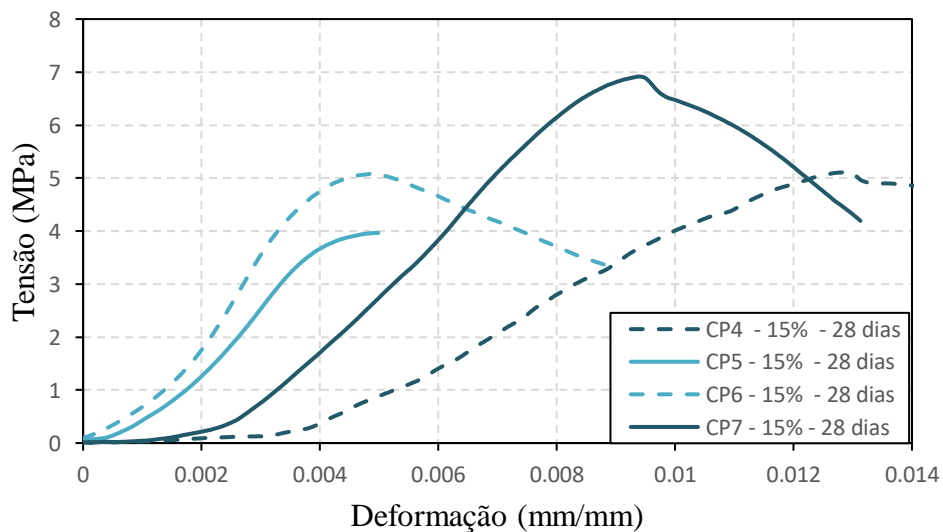
Tabela 14 - Resistência a compressão em 8 dias com 15%.

LRT(Mpa)	
CP1	4,673953
CP2	3,964466
CP3	3,546872
Média	4,061763
Desvio	0,569805

Fonte – Autor.

Com 28 dias de cura foi realizado o ensaio de compressão e com os dados foi possível plotar o Gráfico 4 de tensão x deformação.

Gráfico 4 - Curvas com adição de 15%.



Fonte – Autor.

O Gráfico 4 apresenta quatro curvas com comportamentos análogos, havendo apenas variações nas propriedades obtidas. Fazendo a análise das curvas foi possível determinar a resistência de compressão máxima, módulo de elasticidade, média e o desvio padrão, apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 - LRT e E com adição de 15%.

	LRT(Mpa)	E (Mpa)
CP4	5,110734	672,037
CP5	3,964466	1343,757
CP6	5,079273	1866,114
CP7	6,915701	1057,512
Média	5,267544	1234,855
Desvio	1,221266	502,846

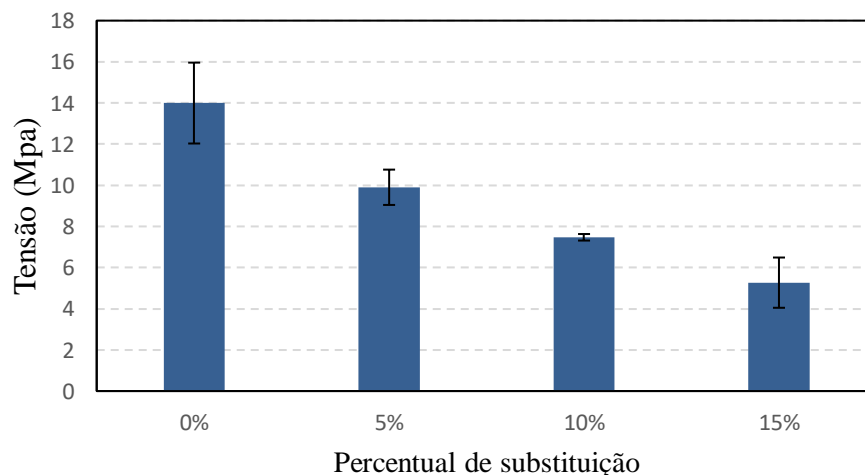
Fonte – Autor.

Fazendo a comparação entre os valores de resistência a compressão de 8 e 28 dias, nota-se que houve um aumento da sua resistência a compressão ao recorrer dos dias, conforme esperado. Comparativamente com os demais traços estudados, este traço apresentou menor resistência a compressão.

4.6 Comparação entre os traços

No Gráfico 5 apresenta os resultados médios de resistência a compressão adquiridos com 28 dias de idade, formados por todos os traços envolvidos do estudo (0%, 5%, 10%, 15%), com seus respectivos desvios padrões.

Gráfico 5 - Comparação entre os traços.



Fonte – Autor.

Foi possível constatar que ao longo dos dias de cura que a resistência a compressão dos corpos de prova do traço referência apresentaram maiores valores em relação aos corpos de prova com teor de cinza de bananeira. Percebe-se também que quanto maior a porcentagem de substituição do cimento por cinza, menor foi o valor da resistência a compressão encontrado. A redução da propriedade mecânica de resistência à compressão pode ter ocorrido por algumas hipóteses.

De acordo com Fernandes et al. (2015), quanto menor a resistência à compressão, maior será o teor de vazios de um concreto e maior será sua frente de carbonização, pois os poros podem facilitar a entrada de CO_2 no material e, por consequência, desencadear a reação com seus componentes. Com isso pode-se prever que não houve uma aderência entre o cimento e cinza de bananeira, por elas terem tamanho de grãos diferentes e/ou os componentes químicos não apresentarem afinidade.

Por cinza de bananeira não conter propriedade pozzolânica, devido ao baixo teor de sílica em sua composição, a mesma não apresentou propriedades aglomerante. Segundo Metha e Monteiro (1994) para que a cinza possa ser material aglomerante ela precisa ter uma reação pozzolânica, assim podendo ser aplicado a todos os materiais de composição silicosa ou aluminossilicosa.

5 CONCLUSÃO

O principal objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade do uso da cinza do pseudocaule da bananeira como substituição parcial do cimento Portland, determinando a teor que pode ser usado para a melhoria da propriedade mecânica de resistência a compressão. Foi feito a caracterização da cinza do pseudocaule pelos ensaios TG e DTA, para saber sua temperatura de calcinação e tempo médio para que a amostra fosse decomposta por completo e tornasse cinza. Fazendo a análise dos resultados encontrou-se 500°C para a temperatura de calcinação e 50 minutos como tempo de incineração.

Os valores de resistência à compressão do concreto sem adição não foram os esperados pelo traço que foi planejado, isso pode ter acontecido por dois fatores, pelo traço ter sido feito manualmente, acarretando na perda de água ou não homogeneidade na mistura ou pelo traço ser escolhido. De acordo com o trabalho de Rocha (2017), que os materiais são provenientes de outras regiões, possivelmente contendo características diferentes dos utilizados nesse trabalho, com isso é recomendado fazer a caracterização dos materiais utilizados para elaboração de um novo traço.

Avaliando a resistência à compressão, conclui-se que a substituição parcial do aglomerante não foi satisfatória, visto que o concreto referência (sem adição de cinzas) teve valores superior de 29,23%, 46,6% e 70% diante do concreto com cinzas em teores de substituição de 5%, 10% e 15%, respectivamente. As hipóteses do ocorrido é que o tamanho dos grãos das cinzas ficaram superiores que a do cimento, contribuindo para criar poros no concreto, diminuindo sua resistência, já que quanto mais espaços vazios tem no concreto, menos resistente ele se torna. Esse efeito pode ser solucionado passando as cinzas por um moinho de processamento, onde assim haverá a moagem dos grãos, diminuindo eles de tamanho e tendo uma maior aderência com os grãos do aglomerante. A outra hipótese é a cinza do pseudocaule ter pouca sílica em sua constituição, não havendo uma atividade pozolânica, propriedade essa que torna o material um meio aglomerante. Uma alternativa para a melhoria seria fazer a adição das cinzas no concreto ao invés da substituição, já que com sua adição aumentará a quantidade de silicatos na composição, que reagindo com a água e cal, terá um concreto com maior resistência.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 13529: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas -Terminologia. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, julho 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR NM 53 - Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR NM 67 – Abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5738 - Concreto – Procedimento de moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5739 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7211 - Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7217 - Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 9776 - Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 9935 - Agregados – Terminologia. Rio de Janeiro, 2011.

BORGES, A. P. S. N. Estudo das propriedades de concretos com adição de fibras vegetais e de polipropileno para uso em paredes estruturais. 90 p. Dissertações (Mestrado), Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2017.

CALLISTER, W. D. Ciência e Engenharia dos materiais: uma introdução. 8. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2012.

COSTA, M.C. G.; MIOTTI, A. A.; FERREIRA, T. O.; ROMERO, R. E. Teor de nutrientes e viabilidade da bananicultura em Cambissolos com diferentes profundidades. *Bragantia*, v.75, n.3, p.335-343, 2016.

CUNHA, José Antônio P. Influência de Diferentes Condições Higrotérmicas na Resistência à Tração de Compósitos de Fibra de Carbono/Epóxi Modificada/ Departamento de Engenharia Aeronáutica e Mecânica, ITA/SENAI. - 2006.

E. C. Silva, M. V. R. V. Paola, J. R. Matos. Análise térmica aplicada à cosmetologia. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences* vol. 43, n. 3, jul./set., 2007

FARUK, O.; BLEDZKI, A. K.; FINK, H. P.; SAIN, M. Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000– 2010, *Prog Polym Sci*, 2012.

FRANCO, F. J. P. Coco Babaçu em Compósito com Matriz de Epóxi: Estudo do Efeito do Tratamento da Fibra. 2010. 77 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Programa de Pós Graduação em Ciências e Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2010.

HAGEMANN, S. E. Apostila de Materiais de Construção Básicos. Produzido pela Equipe de Produção de Material Didático da Universidade Aberta do Brasil do Instituto Federal Sul-riograndense. 2011.

HELENE, P.; ANDRADE, T. Concreto de Cimento Portland: Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais; IBRICON, 2010.

ISAIA, G. C.; GASTALDINI, A. L. G.; MORAES, R. Physical and Pozzolanic Action of Mineral Additions on the Mechanical Strength of High-Performance Concrete. *Cement and Concrete Composites*, Essex, Inglaterra, v. 25, n. 1, p. 65-72, 2003.

LEVY, N. F. E PARDINE, L. C. *Compósitos ESTRUTURAIIS: Ciências e Tecnologia*. São Paulo, Edgard Blucher, 2006.

KAWABATA, Celso Yoji. Aproveitamento de cinzas da queima de resíduos agroindustriais na produção de compósitos fibrosos e concretos leves para a construção rural. Tese de Doutorado. USP. 2008.

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M., 1994, *Concreto: estrutura, propriedades e materiais*, 1 ed. São Paulo: Editora Pini, 616 p

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. *Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais*. 3ª Edição, São Paulo: IBRACON, 2008.

MOTA, Maria Kalionara de Freitas. Obtenção e caracterização de um compósito de matriz polimérica com carga de bucha vegetal luffa cylindrica. Maria Kalionara de Freitas Mota. - Natal, 2016.

NETO, B.B.; OLIVEIRA, D.R.C.; RAMOS, D.; Efeitos do tipo, tamanho e teor de agregado graúdo no módulo de deformação do concreto de alta resistência; *Revista Matéria*, v. 16, n. 2, pp. 690 – 702, 2011.

NETO, João Ávila B..*INSALUBRIDADE A EXPOSIÇÃO AO CIMENTO: CONSTRUÇÃO CIVIL*. Monografia, Universidade do Sul de Santa Catarina. Florianópolis, 2017.

PALHETA, E. R. S.; PORTELLA, C. S. A.; CARVALHO, A. B. L.; CABRAL, A. E. B.Avaliação Experimental Da Adição De Fibras Naturais Da Casca Do Coco Babaçu Como Reforço De Matriz Cimentícia. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO*, 54.2012. Maceió. Anais do 54º Congresso Brasileiro do Concreto. São Paulo: Ibracon, 2012.

PEREIRA, A. M.; SILVA, C. A. R.; QUEIROZ, D. C. A.; MORAES, M. J. B.; MELGES, J. L. P.; TASHIMA, M. M.; AKASAKI, J. L. Revista Matéria, v.20, n.1, pp. 227– 238, 2015.

PEREIRA, Thereza Mylene de Moura. Caracterização térmica TG/DTG, DTA, DSC, DSC-fotovisual de hormônios biodêmicos estriol e estradiol. Natal, 2013.

RAOUFI K.; WEISS J. The role of fiber reinforcement in mitigating shrinkage cracks in concrete, In: Woodhead Publishing Series in Textiles Fibrous and Composite - Materials for Civil Engineering Applications, editado por R. Figueiro, Woodhead Publishing, 2011.

ROCHA, Thaís Santos. Análise Experimental sobre influência da geometria do agregado graúdo na resistência mecânica do concreto. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE - NATAL, 2017.

SANTOS, Nubya S. S. Análise Experimental e Teórica do Comportamento Mecânico sob Carregamentos Quase-estáticos de Compósitos Reforçados com Fibras Vegetais. UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, 2010.

SMITH, Willian F.; HASHEMI, Javad, Ph. D. Fundamentos de engenharia e ciência dos materiais. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2012.

SOARES, D. C. B. L.; SILVA, C. C. B; ARAÚJO, J. R. M.; GOMES, L. G. Caracterização e Ensaio Mecânico de Concreto com Fibras Naturais Regionais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 55, 2013. Gramado. Anais do 53º Congresso Brasileiro do Concreto. São Paulo: Ibracon, 2013.

VALVERDE, Fernando Mendes. Agregados para construção civil. Disponível em <<http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes-economia-mineral/arquivos/agregados-para-contrucao-civil.pdf>>. Acessado no dia 25 de maio de 2019. Fernando Mendes Valverde. - 2001.

ZIMMERMANN, M. V. G.; Turella, T. C.; Zattera, A. J. Influência do tratamento químico da fibra de bananeira em compósitos de poli(etileno-co-acetato de vinila) com e sem agente de expansão. Polímeros 2013, 24, 58.

ZOLIN, Ivan. Curso técnico em automação industrial: ensaios mecânicos e análises de falhas / Ivan Zolin. – 3. ed. – Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria: Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, 2010.