



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CAMPUS MUTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
CURSO ENGENHARIA CIVIL

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE CONCRETOS DE
CIMENTO PORTLAND COM A INCORPORAÇÃO DA CINZA DA
BANANEIRA**

FRANCISCO TÚLIO CEZAR GONÇALVES BEZERRA

PAU DOS FERROS

2019

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CAMPUS MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
CURSO ENGENHARIA CIVIL

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE CONCRETOS COM
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND PELA CINZA DA
FOLHA DA BANANEIRA**

FRANCISCO TÚLIO CEZAR GONÇALVES BEZERRA

Trabalho de Conclusão de curso apresentado
à Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Jennef Carlos Tavares

PAU DOS FERROS

2019

FRANCISCO TÚLIO CEZAR GONÇALVES BEZERRA

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE CONCRETOS COM SUBSTITUIÇÃO
PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND PELA CINZA DA FOLHA DA BANANEIRA**

Trabalho final de graduação apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em 27 / 02 / 2019.

BANCA EXAMINADORA

Jennef Carlos Tavares

Prof. Jennef Carlos Tavares
Presidente

José Daniel Jales Silva

Prof. Me. José Daniel Jales Silva
Membro Examinador - UFRSA

Danilo Rocha Alves

Eng. Danilo Rocha Alves
Membro Examinador - UFRN

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Bezerra, Francisco Tulio Cezar Gonçalves.
574e ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE CONCRETOS
COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND PELA
CINZA DA FOLHA DA BANANEIRA / Francisco Tulio
Cezar Gonçalves Bezerra. - 2019.

71 f.: il.

Orientador: Jennef Carlos Tavares.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2019.

1. Adição Mineral. 2. Pozolana. 3. Compósitos
cimentícios. 4. resíduo da biomassa. I. Tavares,
Jennef Carlos, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

Dedico este trabalho,

Aos meus pais Francisco Altanir
Bezerra e Marta Gonçalves Rodrigues

AGRADECIMENTOS

À Deus por me dar forças todos os dias, e ter me dado a capacidade concluir esse curso, apesar das dificuldades enfrentadas ao longo do caminho. Por seu grande e rico amor para comigo através das bênçãos e diárias e eternas que Ele me concede. Por suas misericórdias que se renovam diariamente.

Aos meus pais, Francisco Altanir Bezerra e Marta Gonçalves rodrigues, por toda dedicação dada a mim durante a minha vida. Por terem me ensinado corretamente o caminho no qual devo trilhar, através dos seus exemplos e também ensinamentos bíblicos.

Aos meus irmãos, em especial à Talyta Rúbia Bezerra Bravo e Francisco Tibério Cezar Gonçalves Bezerra. Aos demais familiares: Tios, Tias, sobrinhos, primos e primas.

À minha noiva, Yandra Meneses Brito de Castro, pelos conselhos ao longo desses anos, pelo carinho, e pelo amor. Por estar junto comigo nos momentos difíceis que foram enfrentados.

Ao meu Orientador Jennef Carlos Tavares, uma pessoa muito especial para mim, que sempre me ajudou e incentivou na área profissional, por meio de sua excelência em tudo que faz, sua competência e sua responsabilidade, e também pela qualidade humilde de repassar todos os seus conhecimentos a fim de tornar também outros profissionais qualificados. Além disso, incentivou também na área pessoal, através do seu exemplo de humildade, companheirismo, amigabilidade. Obrigado por ter aceito o meu convite de ser meu orientador, e ter contribuído tanto nesse estudo, foi um privilégio ter sido seu aluno, e sobretudo seu orientando.

Aos meus Professores, em especial à José Daniel, Alisson Gadelha, Rogério de Jesus, Matheus Fernandes, Jennef Tavares e Marília Cavalcanti, por facilitarem todos os conhecimentos que foram absorvidos por mim ao longo desses anos, devido à excelência profissional de cada um de vocês.

Aos meus amigos e colegas que a Universidade me presenteou, em especial à Emilyanno Saraira, Arnaldo Torres, Cícero Renato, Alice Costa, Aparecida Cartaxo, Leonardo Sucupira, Layanne Amorim, Carlos Gardel e Públio Leal. Obrigado por cada ajuda que me deram ao longo desses anos, contem sempre comigo.

RESUMO

Diante do desenvolvimento da construção civil, há uma urgente necessidade de inovação nos materiais de construção a partir de novas formulações que atendem à fatores econômicos e ambientais. Assim, a investigação do uso de resíduos naturais aplicado aos concretos como material pozolânico é uma opção que atende aos quesitos de sustentabilidade e reduz os custos finais do concreto. Tendo em vista que a cinza da folha da bananeira pode se comportar como material pozolânico, e devido a sua vasta disponibilidade e grande quantidade que existe no Brasil, torna-se intrigante analisar a sua aplicação no concreto. Este estudo tem como objetivo analisar o comportamento mecânico de concretos de cimento Portland com substituição parcial do cimento por cinzas das bananeiras. Para a pesquisa, foi confeccionado concretos em proporções de 1:1,89:2,45:0,5 (Cimento: Areia: Brita: água/cimento), como também concretos com a mesma dosagem, porém com teores de 5% e 10% de substituição do cimento pela cinza da bananeira. Em seguida, em todos os concretos produzidos foram realizados os ensaios: *Slump Test*, resistência à compressão e absorção de água. Os resultados mostram que à medida que se elevou o teor de substituição, as propriedades mecânicas foram ainda mais eficientes, quando comparados com os concretos de referência (com 0% de substituição), em todas as idades analisadas. Com relação à resistência à compressão, o teor ótimo analisado foi de 10% de substituição em que elevou-se em 65,88% da resistência de referência aos 28 dias. Além disso, o efeito do material pozolânico também gerou uma redução de 22,98% de absorção de água, contribuindo para um concreto ainda mais resistente à problemas patológicos. Diante disso, a utilização da cinza de bananeira como material pozolânico aplicado ao concreto em substituição ao cimento se mostrou bastante satisfatória e viável, verificado a partir dos resultados significativos obtidos.

Palavra Chave: Adição Mineral, Pozolana, Compósitos Cimentícios e Resíduo da Biomassa.

ABSTRACT

In light of developments in civil engineering, there is an urgent need for innovation in construction supplies, stemming from new formulations that answer economic and environmental factors. Therefore, the study of the use of natural particles applied to concrete as a pozzolanic material is an option that meets the sustainability requirements and reduces the final cost of concrete. Since the ashes from the banana leaf behaves as pozzolanic substance, and considering its wide availability in great quantities in Brazil, it would be interesting to analyse its application on concrete. This study has as its objective to analyze the mechanical behavior of Portland cement concretes with partial substitution of the cement with ashes from the banana plant. For this research, concrete was mixed in the proportions of 1:1,89:2,45:0,5 (Cement: Sand: Gravel: water/cement), as was also concrete with the same proportions, only with the 5% and 10% substitution of the cement with ashes from the banana plant. Next, the following tests were made on all of the concrete produced: *Slump Test*, compression resistance, and water absorption. The results demonstrate that as in direct proportion to the increase in the content substitution, the mechanical properties became more efficient, when compared to the reference concrete (with 0% substitution), in all of the analyzed time frames. With reference to the resistance to compression, the optimum substitution was that of 10% in which the resistance increased 65,88% over the reference concrete at 28 days. Besides this, the effect of the pozzolanic matter also reduced the water absorption by 22,98%, producing a concrete that is even more resistant to pathological problems. In light of this, the use of banana plant ash as a pozzolanic matter, applied to the concrete in substitution to the cement proved itself satisfactory and viable, as verified by the significant results obtained by this study.

Keyword: Mineral additive, Pozzolanic, Cement composites and biomass residue

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Microestrutura da Pasta de cimento	21
Figura 2: Macroestrutura do Concreto.....	23
Figura 3: Relação teor pozolana com porosidade	30
Figura 4: Produção da fruticultura em 2016.....	34
Figura 5: Rio Grande do Norte: Área plantada com banana – 1985 a 2015	35
Figura 6: Classe aceitáveis de Abatimento	38
Figura 7: Relação água cimento	41
Figura 8: Classe de agressividade	41
Figura 9: Classe de agressividade x Relação água/cimento	42
Figura 10: Metodologia da Pesquisa	44
Figura 11: Microrregião de Pau dos Ferros.....	45
Figura 12: Recipientes que armazenaram os agregados	46
Figura 13: Mufla utilizada para calcinação do resíduo.....	48
Figura 14: Resíduo Cinza de Bananeira	49
Figura 15: Betoneira utilizada na produção dos concretos	52
Figura 16: Corpos de provas	52
Figura 17: Ensaio tronco de cone.....	53
Figura 18: Prensa utilizada para ensaio de compressão.....	54
Figura 19: Estufa.....	55
Figura 20: Curva granulométrica – Agregado Miúdo	57
Figura 21: Ensaio de Slump Test.....	59
Figura 22: Resistência à compressão.....	60
Figura 23: Relação Resistência com a Idade do concreto.....	61
Figura 24: Ensaio Absorção de Água.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Constituintes do cimento Portland.....	20
Tabela 2: Componentes presentes na pasta de cimento	21
Tabela 3: Estimativa de adições para o ano de 2020.....	26
Tabela 4: Classificação Materiais Pozolânicos	28
Tabela 5: Exigências Químicas.....	28
Tabela 6: Exigências Físicas	28
Tabela 7: Desvio padrão conforme as condições de preparo	40
Tabela 8: Consumo de Água	40
Tabela 9: Volume de agregado graúdo	42
Tabela 10: Características desejadas para a dosagem.....	49
Tabela 11: Dosagem e Consumos dos materiais para cada metro cúbico de concreto.....	50
Tabela 12: Quantidade e volumes dos corpos de provas para cada teor.....	50
Tabela 13: Quantidades de Materiais utilizados em cada teor.....	51
Tabela 14: Análise Granulométrica do Agregado Miúdo	56
Tabela 15: Resumo da caracterização do agregado miúdo	57
Tabela 16: Análise granulométrica agregado graúdo	58
Tabela 17: Resumo da caracterização do agregado graúdo	58
Tabela 18: Ensaio de Slump Test.....	59
Tabela 19: Resistência à compressão	60
Tabela 20: Absorção de Água.....	62

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Formação de compostos cimentícios	31
Equação 2 – Reação Pozolânica	31
Equação 3 – Hidratação do cimento portland	32
Equação 4 – Resistência Média dos corpos de Prova	40
Equação 5 – Consumo de Cimento	42
Equação 6 – Consumo Agregado Graúdo	42
Equação 7 – Consumo Agregado Miúdo	43
Equação 8 – Volume Agregado Miúdo	43

“Não deixe aquilo que é urgente tomar o lugar
daquilo que é importante em sua vida”.

C. H. Spurgeon

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

UFERSA – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVO	18
1.1.1	Geral	18
1.1.2	Específico	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	CONCRETO	19
2.2	CIMENTO PORTLAND	19
2.2.1	Hidratação do cimento Portland	20
2.2.2	Sólidos na Pasta de cimento	21
2.2.3	Vazios na pasta de cimento	22
2.3	AGREGADOS	23
2.4	MICROESTRUTURA DO CONCRETO	24
2.5	ADIÇÕES MINERAIS EM CONCRETOS	24
2.5.1	Histórico	25
2.5.2	Materiais Pozolânicos	27
2.5.2.1	<i>Benefícios da Utilização de Materiais Pozolânicos</i>	29
2.5.2.2	<i>Composição e Reações Química</i>	31
2.5.2.3	<i>Cinza Volante</i>	32
2.5.2.4	<i>Sílica ativa</i>	33
2.5.2.5	<i>Resíduos naturais</i>	34
2.6	LOCALIZAÇÃO E QUANTIDADES DE PRODUÇÃO BANANEIRAS	34
2.7	INFLUÊNCIA DAS ADIÇÕES MINERAIS NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO	36
2.7.1	Propriedades do Concreto Fresco	37
2.7.1.1	<i>Consistência (Abatimento)</i>	37
2.7.2	Concreto Endurecido	38
2.7.2.1	Resistencia a compressão	38
2.7.2.2	Absorção de água	38
2.8	DOSAGEM DO CONCRETO	39
3	METODOLOGIA	44
3.1	LOCAIS DE ESTUDO E COLETA DAS FOLHAS DE BANANEIRAS	45
3.2	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS	45
3.2.1	Cimento	46
3.2.2	Agregado Miúdo	46

3.2.3 Agregado Graúdo	47
3.2.4 Água.....	47
3.2.5 Cinza da bananeira	48
3.3 DOSAGEM E CONSUMO DOS MATERIAIS	49
3.3.1 TRAÇO CONCRETO E CONSUMOS DOS MATERIAIS	50
3.4 PRODUÇÃO DOS CONCRETOS.....	51
3.5 ENSAIO NO CONCRETO NO ESTADO FRESCO	53
3.5.1 Ensaio de Consistência (Abatimento do Tronco de Cone)	53
3.6 ANÁLISES PROPRIEDADES MECÂNICAS NO ESTADO ENDURECIDO	54
3.6.1 Resistência à compressão	54
3.6.2 Absorção de água.....	55
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	56
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	56
4.1.1 Areia.....	56
4.1.2 Agregado graúdo	57
4.3 CONCRETO ESTADO FRESCO.....	59
4.3.1 Ensaio de consistência.....	59
4.4 CONCRETO ESTADO ENDURECIDO.....	60
4.4.1 Resistência à compressão.....	60
4.4.2 Absorção de água.....	62
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	65
REFERÊNCIAS.....	66

1 INTRODUÇÃO

A construção civil está inovando cada vez mais em tecnologias e novos materiais, devido à fatores socioambientais e econômicos, além da grande concorrência no setor, principalmente quando há um cenário econômico desfavorável (COSSICH et al., 2017). Devido a isso, novos materiais fazem necessários seja através de reciclagens ou também por meio de novas formulações nos diferentes tipos de materiais que o setor da construção civil utiliza.

Dentre os possíveis materiais utilizados para novas formulações de elementos da construção civil, os mais utilizados e que se destacam são os insumos provenientes de resíduos naturais. Vale salientar a necessidade de inovar nesse tipo de tecnologia, tendo em vista que o propósito é criar produtos com melhores características, e que atende a fatores econômicos e ambientais (CABRAL e AZEVEDO, 2016). Sabe-se que o concreto é hoje o material de construção mais utilizado no mundo, e o cimento é o constituinte mais caro na composição do concreto.

Além disso, é verdade também que a produção do cimento Portland requer muitos recursos naturais (com potencial limitado de exploração), além de serem fontes não renováveis, e gera bastante poluição ambiental. A produção de cimento libera cerca de 01 tonelada de gás carbônico(CO_2) para cada tonelada de cimento produzido (DUART, 2008). Conforme diz Bonato (2014), esta é responsável pela produção de 5% de toda a emissão de dióxido de carbono (CO_2) do planeta gerado pelo homem. Além disso, o elevado consumo de cimento, por ser um dos elementos mais utilizados, contribui para o significativo custo final de uma obra, tendo em vista que o concreto normalmente é o insumo mais utilizado na construção civil.

Devido ao alto consumo de cimento Portland no mundo, pesquisadores, cimenteiras e afins procuram alternativas sustentáveis com relação a sua produção. Além de prolongar a vida útil das jazidas de argila e calcário, almejam-se avanços tecnológicos e maiores economias (CABRAL e AZEVEDO, 2016). Diante disso, é de suma importância e urgência que novos materiais alternativos sejam investigados a fim de substituir porcentagens de cimento Portland (em argamassas ou concretos). Isso é importante para preservar recursos naturais utilizados na produção do cimento, diminuir custos, e também amenizar a poluição ambiental (LANA, 2017).

De acordo com Kanning (2013), o emprego de adições minerais e resíduos em argamassas e concretos vem sendo largamente estudada, e destacam-se os materiais pozolânicos, que se caracterizam por possuírem atividade reativa quando em contato com os compostos do cimento. Assim, a utilização de materiais com teores pozolânicos na pasta de cimento para a obtenção de concretos mais resistentes, com menores índices de cimento Portland, se enquadram nessas inovações, a fim de garantir maiores resistências mecânicas e melhoria das características no estado fresco e endurecido do concreto.

Conforme verificado nos estudos de Kanning (2013) e Sales (2014), uma forma muito convidativa de fazer essa relação entre economia e meio ambiente é o investimento em cimentos com adições de materiais de descarte, a partir de resíduos naturais como por exemplo o bagaço da cana-de-açúcar, cinza da bananeira, cinza da casca de arroz, entre outros. Isso ameniza os impactos ambientais e, além disso, proporciona um produto com menor custo e com propriedades mecânicas satisfatórias. (CABRAL e AZEVEDO, 2016)

Sendo assim, se expõe a necessidade de estudar a utilização da cinza de folha de bananeira como adição ao concreto, ou mesmo substituição por teores de cimento Portland, haja visto que o material mais consumido no mundo além da água é o concreto. Isso contribui não só para o surgimento de uma nova tecnologia, mas também um material voltado para a sustentabilidade. A utilização do resíduo da bananeira na constituição do concreto também soluciona outro efeito agravante da poluição ambiental, que está centrado na quantidade de materiais ou resíduos naturais depositados ou lançados de forma desordenada e a céu aberto por falta de reuso, propiciando a proliferação de insetos, contaminação do solo, ar, águas superficiais e subterrâneas, como é o caso do despejo das folhas da bananeira (BONATO, 2014).

De acordo com Simão (2017), no Brasil, para cada tonelada (t) de banana produzida são gerados aproximadamente 3 toneladas de pseudocaule e 480 Kg de folhas. Assim, percebe-se que a quantidade de resíduos gerados pelas bananeiras é bastante elevada, e muitas vezes são despejados no ambiente sem nenhum reaproveitamento, causando vários prejuízos à natureza.

Diante de tudo que foi exposto, a investigação da cinza desse resíduo, incrementado ao concreto como substituição de diferentes parcelas do cimento é bastante pertinente a fim de buscar resultados convincentes nas questões econômicas, ambientais, bem como nas próprias características do concreto, atendendo aos quesitos de qualidade e durabilidade.

1.1 OBJETIVO

1.1.1 Geral

Estudar o comportamento mecânico de concretos de cimento Portland com substituição parcial do cimento por cinzas das bananeiras.

1.1.2 Específico

- Caracterizar os agregados miúdos e graúdos, bem como o resíduo da bananeira;
- Dosar os concretos e estudar as propriedades nos estados fresco e endurecido;
- Verificar o teor ótimo de substituição da cinza pelo resíduo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONCRETO

Estima-se que o consumo de concreto no mundo é da ordem de 11 bilhões de toneladas métricas por ano (MEHTA & MONTEIRO, 2008). Há uma crescente necessidade de aprimorar certas características do concreto, como leveza, resistência, flexibilidade, custos, entre outras. Devido a isso, é que se verifica o desenvolvimento de aditivos e incentivos por materiais que, adicionados ao concreto, pudessem melhorar ainda mais seu desempenho. (CABRAL e AZEVEDO, 2016).

2.2 CIMENTO PORTALAND

A NBR16697/2018 define o cimento Portland como sendo um aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. A norma ainda define que o clínquer é constituído em sua maior parte por silicatos de cálcio hidráulicos. Para Bauer (2012), o clínquer é resultado da ação do calor à temperatura de fusão incipiente, da mistura da matéria-prima do cimento, quando finamente pulverizada e homogeneizada.

Conforme Neville (2016), as matérias-primas utilizadas na produção do cimento consistem essencialmente de calcário, sílica, alumina e óxido de ferro. Esses compostos interagem entre si e formam uma série de produtos mais complexos. Os constituintes fundamentais do cimento Portland são $\text{Ca}(\text{CaO})$, a sílica(SiO_2); a alumina(Al_2O_3), o óxido de ferro(Fe_2O_3), certa proporção de magnésia(MgO) e uma pequena porcentagem de anidrido sulfúrico(SO_3). Além desses, tem os constituintes menores como o óxido de sódio (Na_2O), óxido de potássio(K_2O), óxido de titânio(TiO_2) (BAUER, 2012).

De acordo com Cabral e Azevedo (2016), o cimento é o principal componente do concreto, e tem a função de unir os agregados e contribuir para alcançar a resistência final desejada. A Tabela 1 mostra os constituintes do cimento Portland, e percebe-se a notação abreviada, utilizada na química de cimento, de cada óxido por uma letra respectivamente: $\text{C}=\text{CaO}$; $\text{S}=\text{SiO}_2$; $\text{A}=\text{Al}_2\text{O}_3$; e $\text{F}=\text{Fe}_2\text{O}_3$, e $\text{H}=\text{H}_2\text{O}$ e $\text{SO}_3=\text{S}$.

Tabela 1: Constituintes do cimento Portland

Oxido	Abreviação	Compostos	Abreviação
CaO	C	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C3S
SiO ₂	S	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C2S
Al ₂ O ₃	A	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C3A
Fe ₂ O ₃	F	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C4AF
MgO	M	$4\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SO}_3$	C4A3S
SO ₃	$\bar{S}$	$3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	$\bar{S}2\text{H}_3$
H ₂ O	H	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	CSH ₂

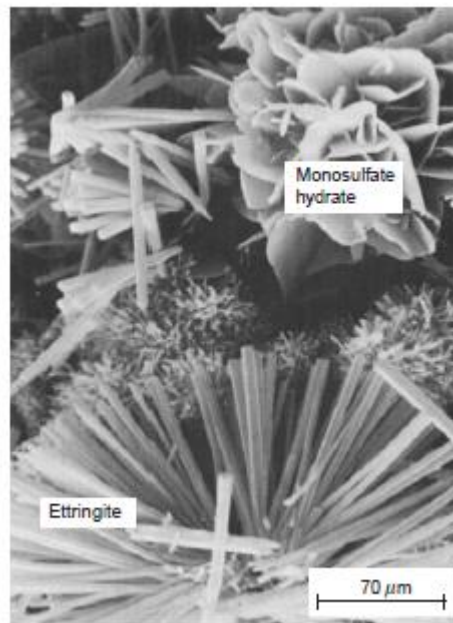
Fonte: MEHTA e MONTEIRO(2008)

2.2.1 Hidratação do cimento Portland

Quando o cimento entra em contato com a água (hidratação do cimento), as reações químicas geram produtos que possuem características de pega e endurecimento. Conforme descreve Junior (2015), “A perda de consistência (enrijecimento) e solidificação do cimento (pega) são características da hidratação dos aluminatos, enquanto os silicatos são responsáveis pela taxa de desenvolvimento da resistência (endurecimento)”.

De acordo com (MEHTA, 2008), “Quando o cimento portland é disperso em água, o sulfato de cálcio e os compostos de cálcio a alta temperatura começam a entrar em solução, e a fase líquida fica rapidamente saturada com várias espécies de íons”. A formação das agulhas de etringita (cristais aciculares de trissulfoaluminato de cálcio hidratado) de primeira fase são iniciadas logo após a hidratação do cimento, como resultado da interação entre cálcio, sulfato, aluminato e íons hidroxila. Essa fase é conhecida por de início da hidratação desenvolvendo a resistência inicial. (MEHTA, 2008; KANNING, 2013)

Já em relação à microestrutura da pasta de cimento, essa possui a forma de cristais hexagonais quando misturado com sulfatos de cálcio, conforme visto na Figura 1. A fase silicato de cálcio hidratado, abreviada como C-S-H, compõe 50 a 60% do volume de sólidos em uma pasta de cimento totalmente hidratado e é, portanto, a fase mais importante determinando as propriedades da pasta. (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Figura 1: Microestrutura da Pasta de cimento

Fonte: MEHTA e MONTEIRO, 2008

2.2.2 Sólidos na Pasta de cimento

Na Tabela 2 é descrito os tipos, quantidades e características das quatro principais fases sólidas na pasta de cimento hidratada que pode ser vista por um microscópio eletrônico, analisado por Mehta e Monteiro (2008).

Tabela 2: Componentes presentes na pasta de cimento

NOME DO COMPONENTE	PORCENTAGEM NA PASTA	FUNÇÃO
Silicato de cálcio hidratado (C-S-H)	50-60%	A fase mais importante e determinante das propriedades da pasta.
Hidróxido de cálcio (C-H)	20-25	Em contraste com o C-S-H, o hidróxido de cálcio é um composto com uma estequiometria, $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Ele tende a formar grandes cristais com um distintivo morfologia de prisma hexagonal

Sulfoaluminatos de cálcio -etringita	15-20%	Desempenham um papel nas propriedades da microestrutura. Favorece a formação de hidrato de trissulfato, forma cristais prismáticos em forma de agulha.
Grãos de clínquer não hidratados	Alguns Grãos	Dependendo da distribuição do tamanho de partícula do cimento anidro e o grau de hidratação, alguns grãos de clínquer não-hidratados pode ser encontrada na microestrutura das pastas de cimento hidratadas,

Fonte: MEHTA e MONTEIRO, 2008

2.2.3 Vazios na pasta de cimento

Além da composição do composto, a finura do cimento também afeta sua reatividade com a água e influencia nas propriedades físicas e químicas. “Quanto mais fino o cimento, mais rápido ele reagirá. Para uma dada composição, a taxa de reatividade e, portanto, de desenvolvimento da resistência, pode ser aumentada através de uma moagem mais fina do cimento” (JUNIOR, 2015). De acordo com estudos feitos por Mehta e Monteiro (2006), “É geralmente aceito que partículas de cimento maiores que 45 μm são lentas para hidratar e os maiores que 75 μm podem nunca se hidratar completamente”

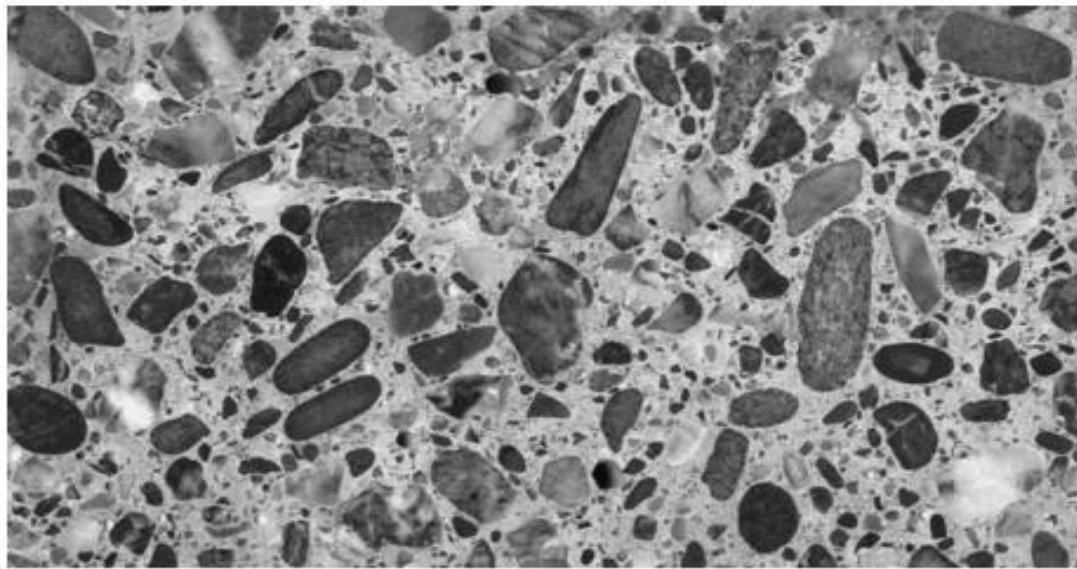
Mehta e Monteiro (2006) divide os tipos de vazios em espaço interlamelar no C-S-H; Vazios Capilares; e Ar incorporado, que influenciam diretamente nas propriedades da pasta de cimento. Na tabela 4, é detalhado cada um desses tipos de vazios.

Dentre eles, os principais tipos de vazios na pasta de cimento estão o espaço interlamelar no C-S-H, Contudo, a água nesses pequenos vazios pode ser mantida por pontes de hidrogênio, e sua remoção sob certas condições pode contribuir para a retração por secagem. Além desse, existe também os Vazios Capilares Vazios capilares que representam o espaço não preenchido pelos componentes sólidos da pasta de cimento hidratada. E por fim, o Ar incorporado que podem chegar a 3mm; e variam entre 50 e 200 μm , são maiores do que os vazios capilares, podendo afetar negativamente a resistência (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

2.3 AGREGADOS

A macroestrutura do concreto possui dois constituintes principais: a pasta de cimento endurecida, e partículas de agregado (Figura 2). Esses agregados miúdos e graúdos são obtidos diretamente da natureza como a areia, ou mesmo da britagem de rochas como a brita. Segundo Bauer (2000:104), “os agregados constituem um componente importante no concreto, contribuindo com cerca de 80% do peso e 20% do custo de concreto estrutural sem aditivos”.

Figura 2: Macroestrutura do Concreto



Fonte: Mehta e Monteiro (2008)

Agregados são materiais de grande importância para a durabilidade, resistência e desempenho estrutural do concreto, portanto sua qualidade é um fator determinante para condicionar o bom comportamento de suas propriedades e em toda sua vida útil. Além disso, os agregados correspondem a três quartos do volume do concreto e sua aplicação é de natureza econômica, tendo em vista tratarem-se de materiais de baixo custo unitário, comparado ao do cimento (JUNIOR, 2015). Contudo, é importante analisar a relação custo/benefício, e viabilizar com as propriedades desejadas do concreto no estado fresco e endurecido.

A qualidade dos agregados é de fundamental importância para a melhoria da propriedade mecânicas dos concretos, no seu estado fresco, bem como endurecido. Portanto, conforme Junior (2015), a fim de um concreto com melhores características, as principais caracterização dos agregados que devem ser feita são: massa específica, massa unitária, granulometria, resistência à compressão e abrasão, absorção de água, umidade.

De acordo com a NBR 7211/2009: Agregados para concreto - Especificação, agregados miúdos são os grãos que passam pela peneira com abertura de malha de 4,75mm, enquanto que agregados graúdos aqueles que passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm.

2.4 MICROESTRUTURA DO CONCRETO

Segundo Mehta e Monteiro (2006) o concreto possui uma microestrutura altamente heterogênea e complexa. De acordo com Fonseca (2010), as heterogeneidades na microestrutura da pasta de cimento hidratada, especialmente a existência de grandes poros e cristais na zona de transição, podem ser consideravelmente reduzidas com a introdução das partículas finas presentes nas adições minerais. Nos primeiros instantes de mistura dos componentes dos concretos a pozolana atua como material de preenchimento. Contudo, ao longo do processo de hidratação do cimento, as partículas de pozolana reagem removendo o excesso de hidróxido de cálcio da pasta de cimento, conferindo à mesma mais homogeneidade (KANNING, 2013).

Na utilização de materiais pozolanas no concreto, deve-se destacar que a sílica precisa ser amorfa, ou seja, vítria, já que a sílica cristalina tem baixíssima reatividade. Assim, o teor de sílica vítria deve ser determinada por espectroscopia de raios X (NEVILLE, 2016).

Nem sempre é fácil classificar uma pozolana natural devido aos materiais naturais dificilmente possui apenas um constituinte em sua composição, e suas propriedades variam muito. Devido a isso, é importante conhecer a microestrutura do material pozolânico, através de análises com Difração de Raio X(DRX), fluorescência de raios X(FRX), Microscópio eletrônico de varredura(MEV), dentre outros.

Outro fator que afeta a microestrutura do concreto com adições é a finura do material pozolânico, para garantir a eficiência das propriedades físicas e mecânicas do concreto. Para isso, MEHTA (1987) diz que a manifestação física da reação pozolânica que envolve o refinamento dos poros da pasta de cimento é um dos fatores mais importante para o aumento da durabilidade química e resistência mecânica do concreto.

2.5 ADIÇÕES MINERAIS EM CONCRETOS

De acordo com Silveira (1996) e Anjos et al. (2016), as adições minerais são usualmente empregadas na produção de materiais cimentícios, as quais consistem em sua maioria materiais silicosos finamente divididos. Além disso, para os autores, essas adições se

classificam como pozolânicas e/ou cimentantes e inertes, e podem ser adicionadas ao concreto, antes ou durante a mistura, em quantidades que variam entre 5 e 100% do peso do cimento. Os benefícios do uso das adições minerais incluem melhor resistência à fissuração térmica, aumento da resistência final e redução da permeabilidade, em razão do refinamento dos poros e fortalecimento da interface da matriz cimentícia, como também prolonga a vida útil por ter maior resistência ao ataque por sulfato (MEHTA & MONTEIRO, 2008)

Sendo assim, essas adições são normalmente utilizadas como complemento ou substituição ao cimento do concreto e ainda alteram a necessidade de água na mistura, e possuem classificação diversificada em sua composição química, mineralógica, morfológica, como também dependente da forma de atuação físico-química no concreto (material cimentante, pozolânico ou filler) (BOTASSI, et AL. , 2008).

É importante fazer uma distinção entre aditivos e adições que normalmente se confundem. Como já foi visto, as adições são utilizadas para somar à composição da pasta cimentícia ou mesmo substituir proporções de cimentos por essas novas matérias-primas, tendo em vista que possuem propriedades semelhantes às que são encontradas na composição do cimento. Já os aditivos são substâncias que são adicionadas à mistura com a finalidade de melhorar determinadas características de preparo e utilização do concreto (FONSECA, 2010)

Por questões econômica e de durabilidade, as adições minerais são empregadas como substituto parcial ou total do cimento Portland no concreto. Conforme mostra Silveira (1996) “a utilização dessas substâncias podem ser como adição em teores variáveis em relação à massa de cimento; ou também como substituição de parte do cimento, visando redução de custos”.

Alguns materiais naturais podem se comportar como adições no concreto por possuírem altos teores pozolânicos, como é o caso do bagaço da cana-de-açúcar, casca de arroz, entre outros (CABRAL, 2016). A folha da casca de bananeira por ser um material sustentável é descartado periodicamente, e pode apresentar atividade pozolânica quando calcinada e moída. (KANNING, 2010)

2.5.1 Histórico

A utilização de adições minerais na construção civil como descrevem teve início no ano 300 a.C. na cidade de Nápoles, Itália. A aplicação de adições na construção civil mais difundida pelo império romano no ano de 79 d.C. quando as cinzas vulcânicas oriundas do

monte Vesúvio foram utilizadas nas construções como um material com propriedades cimentantes (MEHTA, 1987).

As pozolanas aplicadas ao concreto não é algo recente. Mehta (1987) diz que a utilização de pozolanas aplicadas ao concreto vem bem antes da invenção do cimento Portland, em 1824. Já a adição da cinza pozolânica ao Cimento Portland, teve início na Europa na década de 50, como forma de dar um fim nobre às cinzas volantes de carvão mineral, produzidas nas usinas termoelétricas e, em contra partida, diminuir os custos na produção do cimento (SANTOS, 2006)

Com o elevado consumo de cimento Portlando, houve uma queda no uso de misturas de pozolana-cal para fins cimentícios devido às suas características relativamente lentas de endurecimento. Porém, por razões econômicas e para alcançar determinadas benefícios, misturas de cimento portland e pozolanas ainda são comumente usados na construção de concreto (MEHTA, 1987).

Nos dias atuais a era ecológica que visa atender aos quesitos de economia e de tecnologia amplia o consumo de adições minerais em concretos e argamassas, empregando materiais com propriedades pozolânicas (KANNING, 2013).

De acordo com MEHTA e MONTEIRO (2008), Com base numa estimativa de 2500 milhões de toneladas de consumo de cimento para o ano de 2020, foi prejetado uma estimativa de adições aplicada ao cimento Portland para reduzir o dióxido de carbono e outras emissões associadas à produção de cimento, como é mostrado na Tabela 3.

Tabela 3: Estimativa de adições para o ano de 2020

TIPO DE ADIÇÃO	ESTIMATIVA
Cinzas volantes	500 milhões de toneladas
Calcário	170 milhões de toneladas
Escória de Alto-forno	75 milhões de toneladas
Pozolana natural	50 milhões de toneladas

Outras cinzas	25 milhões de toneladas
TOTAL	820 milhões de toneladas

Fonte: MEHTA e MONTEIRO (2008)

2.5.2 Materiais Pozolânicos

Conforme a NBR 12653:2014, Materiais pozolânicos:

“São materiais silicosos ou silicoaluminosos que, sozinhos, possuem pouca ou nenhuma propriedade ligante, mas que, quando finamente divididos e em presença de água, reagem com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente, formando compostos com propriedades ligantes”.

A origem das pozolanas pode ser do tipo industrial como as sílicas ativas provenientes de siderúrgicas; as escórias de alto forno provenientes de usinas termoelétricas, bem como as agrícolas como a cinza de casca de arroz (MEHTA e RAMACHANDRAN, 1984 apud KANNING, 2013)

Segundo Mehta e Monteiro (2008), por razões ecológicas e econômicas, o uso de pozolânico e cimentício subprodutos como aditivos minerais no concreto está aumentando gradualmente. De acordo com Neville (2016),

“É essencial que a Pozolana esteja finamente moída, pois somente assim a sílica pode se combinar com o hidróxido de cálcio (produzido pelo cimento Portland em hidratação) na presença de água para formar silicatos de cálcio estáveis com propriedades cimentícias”.

Em relação à origem, a NBR 12653:2014 divide entre Pozolanas naturais e Pozolanas artificiais. As Pozolânicas naturais são aquelas de origem vulcânica, ou também origem sedimentar, sendo assim, não necessitam, para seu emprego, tratamentos que levem a modificações químicas e mineralógicas. Conforme Kanning (2010), as pozolânica artificiais são materiais provenientes de tratamento térmico ou subprodutos industriais com atividade pozolânica (cinzas volantes, cinzas de casca de arroz, sílica ativa, e também a cinza da bananeira. “Essas pozolanas naturais têm suas atividades melhoradas pela calcinação em temperaturas entre 550 e 1100°C, dependendo do material” (NEVILLE, 2016).

Segundo Mehta e Monteiro (2008), por razões ecológicas e econômicas, o uso de material pozolânico e cimentício como aditivos minerais no concreto está aumentando gradualmente.

A NBR 12653:2014 classifica os materiais pozolânicos em três classes, quanto aos tipos de materiais pozolânicos, conforme visto na Tabela 4.

Tabela 4: Classificação Materiais Pozolânicos

CLASSIFICAÇÃO	ATENDEM AOS REQUISITOS
Classe N	Pozolanas naturais, materiais vulcânicos, terras diatomáceas, argilas calcinadas.
Classe C	Cinza volante produzida pela queima de carvão mineral em usinas termoeletricas
Classe E	Qualquer pozolana cujos requisitos diferem das classes anteriores,

Fonte: NBR 12653:2014

A NBR 12653:2014, define as conformidades que os materiais pozolânicos devem estar, em relação as exigências químicas, a depender da classe que o Material pozolânico de enquadra, como pode ser visto na Tabela 5.

Tabela 5: Exigências Químicas

PROPRIEDADES	Classes de Material Pozolânico		
	N	C	E
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ % mín	70	70	50
SO ₃ , % máx.	4	5	5
Teor de umidade, % máx.	3	3	3
Perda ao fogo, % máx.	10	6	6
Alcalis disponíveis em Na ₂ O, % máx.	1,5	1,5	1,5

Fonte: NBR 12653:2014

De acordo com a NBR 12653:2014, os materiais pozolânicos devem estar em conformidade com alguns requisitos físicos estabelecidos conforme mostrados na Tabela 6. Nos ensaios de resistência mecânica e caracterização física realizados em um material a ser estudado, esses requisitos são exigências a serem satisfeitas.

Tabela 6: Exigências Físicas

PROPRIEDADES	Classes de Material Pozolânico
--------------	--------------------------------

	N	C	E
Material retido na peneira $45\mu m$ %máx	34%	34	34
Índice de atividade Pozolânica:			
-Com cimento aos 28 dias em relação ao controle, %mín	75	75	75
-Com o cal aos 7 dias, em Mpa	6	6	6
-água requerida, %máx	115	110	110

Fonte: NBR 12653:2014

2.5.2.1 Benefícios da Utilização de Materiais Pozolânicos

O uso de materiais pozolânicos além das vantagens econômicas, têm-se ainda as vantagens tecnológicas, de melhoria das propriedades, e a possibilidade de redução dos impactos ambientais com a reciclagem desses resíduos (LANA, 2017).

Segundo GUEDERT (1989) apud SANTOS(2006), o uso das pozolanas em adição ao cimento confere a concretos características como:

- Menor calor de hidratação, pela troca de reações exotérmicas (hidratação do cimento), por reações atérmicas (pozolânicas);
- Melhor resistência ao ataque ácido em função da estabilização do hidróxido de cálcio oriundo da hidratação do clínquer Portland e à formação um C-S-H com menor relação CaO/SiO_2 de menor basicidade;
- Maior durabilidade, contribuindo para a inibição da reação álcali-agregado e diminuição do diâmetro dos poros da pasta hidratada, reduzindo o ataque do material por substâncias externas como cloretos e sulfatos.

Mehta (1987) destaca ainda, entre outras vantagens da utilização de pozolanas em concretos com cimento Portland, o aumento da trabalhabilidade do material, aumento da resistência à fissuração devido à redução da reação álcali-agregado, e maior impermeabilidade.

A substituição do cimento por materiais pozolânicos promove a redução do calor de hidratação devido a menor quantidade de clínquer e à hidratação lenta da reação pozolânica,

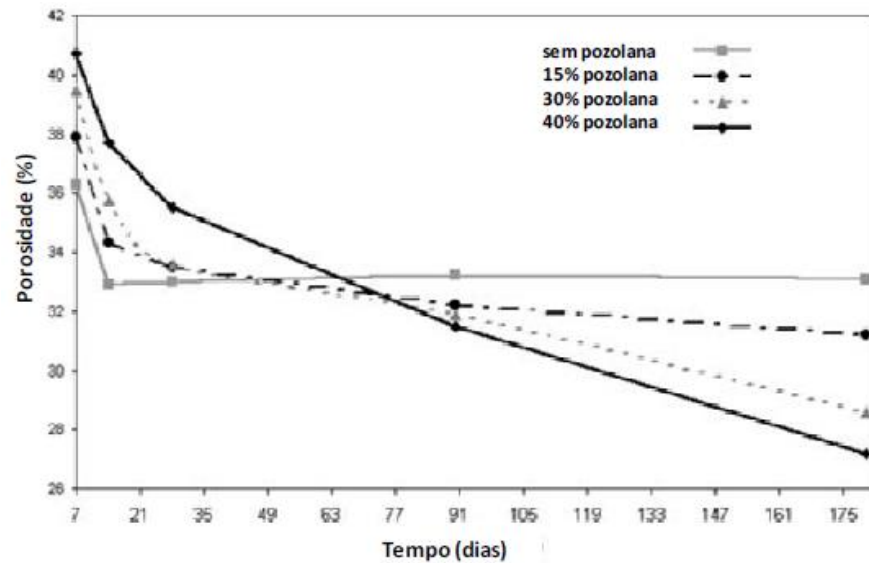
resultando em menor liberação de calor durante as reações químicas de hidratação e promovendo melhoria na resistência a fissuração térmica (LANA, 2017).

Dessa forma, ao se tornar menos permeável, sua durabilidade tende a aumentar. Além do efeito químico, promovido pela reação pozolânica, pode ocorrer o efeito ‘filler’, consequência da maior compacidade conferida à mistura pela inclusão de partículas finas e ultrafinas do aditivo mineral, e consequentemente a redução da porosidade (LANA, 2017). O refinamento dos poros através do incremento de pozolanas na pasta de cimento também está diretamente ligada a durabilidade do concreto, devido a redução da permeabilidade. Verifica-se que quanto maior a permeabilidade maior a facilidade de entrada de agentes agressivos como cloretos e sulfatos que causam danos principalmente ao aço dos concretos armados (DUART, 2008).

Fernandez (2004) apud DUART (2008) observou que pastas de cimento Portland adicionadas de pozolanas apresentam maior porosidade nas primeiras idades, do que pastas sem adição. Porém, foi analisado ainda que isso muda com o processo de hidratação do cimento aproximadamente após 60 dias ocorre uma inversão e as pastas com pozolanas apresentam porosidade menor.

Para Duart (2008), esse fenômeno é devido à reação pozolânica entre o hidróxido de cálcio produzido na hidratação dos Silicatos do cimento e a sílica presente na pozolana, que indetifica ao longo do tempo e causa refinamento do diâmetro dos poros e diminui a porosidade total. A Figura 2 mostra a relação do teor de pozolana com a porosidade ao longo do tempo (em dias).

Figura 3: Relação teor pozolana com porosidade

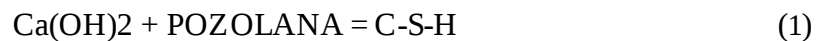


Fonte: DUART(2008)

2.5.2.2 Composição e Reações Químicas

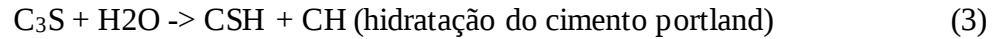
De acordo com Mehta e Monteiro (2008), a reação pozolânica entre o hidróxido de cálcio e a sílica, resulta em silicato de cálcio hidratado. Isso diminui as chances de ocorrer a reação álcali-agregado (que gera prejuízos ao concreto como fissuração), redução da lixiviação e refinamento da estrutura de poros do concreto, tornando-o menos permeável à água, que contribui para diminuir a durabilidade do concreto. GOBBI(2014),

A pozolana é composto principalmente por silicatos os quais, quando hidratados, produzem silicatos de cálcio hidratados (C-S-H), responsáveis pela resistência do concreto, e hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2), que não possui características cimentícias (NETTO, 2006). Pode-se verificar a partir da Equação 1 a formação desses compostos cimentícios:



Conforme descreve MEHTA(1987), Pozolanas naturais geralmente contêm 60% a 85% de SiO_2 , principal reação pozolânica envolve a formação de hidrato de silicato de cálcio (CSH), semelhante ao produzido pela hidratação do cálcio principal composto de silicato (isto é, C3S) do cimento portland:





Sendo que: C= CaO, S = SiO₂, A=Al₂O₃, F= Fe₂O₃, S = SO₃, H = H₂O.

A reação pozolânica é lenta, então a taxa de desenvolvimento de resistência e o calor de hidratação associado a essa reação é baixo. Por outro lado, a hidratação do C₃S no cimento portland é rápida, então o desenvolvimento da taxa de resistência e o calor de hidratação associado a ela são altos.

Segundo MEHTA (1987), a diferença essencial entre a reação pozolânica, e as reações que envolvem a hidratação do cimento Portland isoladamente, não está na composição de seus produtos da hidratação, mas na taxa na qual eles são formados.

2.5.2.3 Cinza Volante

De acordo com Neville (2016), a cinza volante, conhecida como cinza pulverizada, é a cinza a partir dos gases de combustão de usinas termoeletricas a carvão mineral. As partículas das cinzas possuem a característica esférica e com finura muito elevada (a maioria com partículas entre 1 e 100µm).

Conforme SANTOS (2006), dentre os tipos de pozolanas merece destaque a cinza volante, por ser a mais utilizada em compostos à base de cimento Portland. Sua composição química é variável, porém similar a dos grupos de minerais da argila, dependendo dos carvões que lhes deram origem, podendo ser razoavelmente constante dentro de uma mesma central termoeletrica, já que procedem de carvões análogos. As cinzas volantes constituem um tipo de adição ativa em que se destacam duas ações: química (pozolânica) e física (dispersante) além da ação complementar de finos em concretos, quando estes são carentes em finos (SANTOS, 1997).

Conforme a NBR 12653, a cinza volante produzida pela queima de carvão mineral em usinas termoeletricas está enquadrada na classe C, conforme mostrado na Tabela 1. De acordo com a descrição de Possan et al. (2011), o emprego da cinza volante na produção do concreto também traz vantagens ambientais bem como econômicas tendo em vista ser um subproduto industrial (usinas termoeletricas) e possui baixo custo de aquisição e ser empregada em substituição parcial na fabricação do cimento.

Possan et al. (2011) diz ainda que a utilização de pozolanas adicionadas ao concreto, como a cinza volante, é uma das alternativas que contribui para elevar a durabilidade no concreto, já que quanto maior o teor de adição dessa pozolana, menor será a penetração de cloretos para o interior do concreto.

2.5.2.4 *Sílica ativa*

Entre as pozolanas estudadas e empregadas atualmente, a sílica ativa (ou comumente chamada microssílica) representa um importante papel no desenvolvimento da tecnologia do concreto. A adição de sílica ativa ao concreto de elevado desempenho assegura um aumento da resistência à compressão a níveis mais elevados do que aqueles sem adição (SANTOS,2006). Para Neville (2016) “A sílica ativa contribui para o desenvolvimento da resistência do cimento. Essa contribuição é decorrente a extrema finura das partículas de sílica ativa que proporcionam pontos de nucleação para o hidróxido de cálcio”

A sílica ativa é um material pozolânico muito reativo devido a sua finura extrema e ao alto teor de óxido de silício amorfo. As vantagens do uso de sílica ativa consistem na alta resistência à compressão, no aumento da resistência à flexão e no módulo de elasticidade, e na baixa permeabilidade aumentando sua resistência aos ataques químicos (ANJOS EL AL., 2016).

A sílica na forma vítrea (amorfa) é altamente reativa, e as dimensões de suas partículas aceleram a reação com o hidróxido de cálcio produzido pela hidratação do cimento Portland. Essas partículas completam os espaços entre as partículas de cimento, diminuindo os vazios da pasta de cimento (NEVILLE, 2016).

Quando a sílica ativa é adicionada à mistura ocorre uma mudança na interface entre os agregados e a pasta, pois ao invés dos vazios e do hidróxido de cálcio, evidencia-se formações compactas de CSH, que é o produto de hidratação mais resistente da pasta endurecida. Esse fenômeno resulta em melhoras nas resistências mecânicas e na durabilidade (ANJOS ET AL.)

Conforme Naville (2016), “embora a sílica ativa seja normalmente incorporada à mistura na betoneira, em alguns países são produzidos cimentos compostos com sílica ativa, normalmente entre 6,5 e 8%”, em massa”. Fonseca (2010) diz ainda que é comum utilizar a sílica ativa em obras de grande porte, como pontes, barragens e altos edifícios, ou mesmo pisos industriais, pré-moldados, concreto projetado e em locais com meio-ambiente agressivo, para alcançar resistências mais altas e aumentar a durabilidade das estruturas.

2.5.2.5 Resíduos naturais

Alguns materiais naturais podem se comportar como adições no concreto por possuírem altos teores pozolânicos, como é o caso, como bagaço da cana-de-açúcar, casca de arroz, entre outros (CABRAL,2016). A folha da casca de bananeira por ser um material sustentável é descartado periodicamente, e pode apresentar atividade pozolânica quando calcinada e moída (KANNING, 2010).

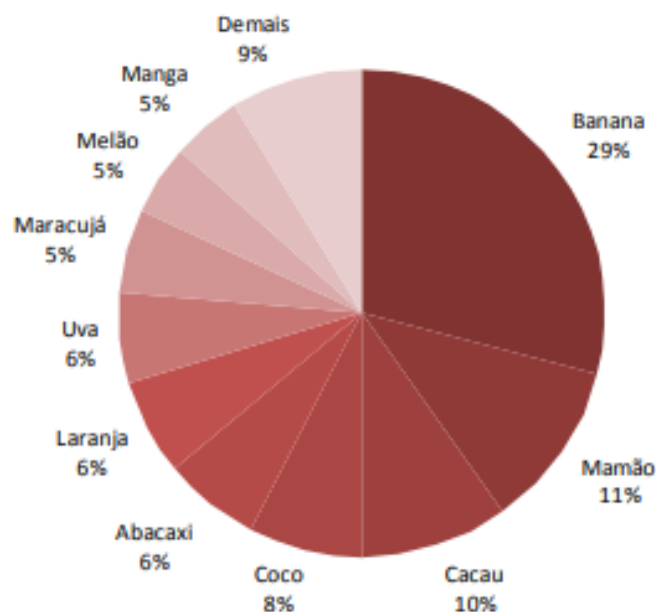
O uso de adições minerais, além de reduzir o consumo de cimento, propicia o refinamento de poros que irá dificultar o transporte de substâncias no interior do concreto, tornando um concreto menos poroso e possibilitando uma extensão da vida útil da estrutura, reduzindo os custos de manutenção ao longo da sua utilização (RAISDORFER, 2015).

2.6 LOCALIZAÇÃO E QUANTIDADES DE PRODUÇÃO BANANEIRAS

O Brasil se comporta como um dos maiores produtores de bananas, e consequentemente, possui também elevada geração de resíduos, conforme dados do IBGE, 2018. As bananas são cultivadas em 130 países e constituem o quarto produto alimentar mais produzido no mundo, sendo superado somente pelo arroz, trigo e milho. (KANNING, 2010).

Conforme Vidal (2018), no ano de 2016 o cultivo da banana se destacou entre a fruticultura do Brasil, correspondendo a 29,0% do valor de produção, conforme visto na Figura 4.

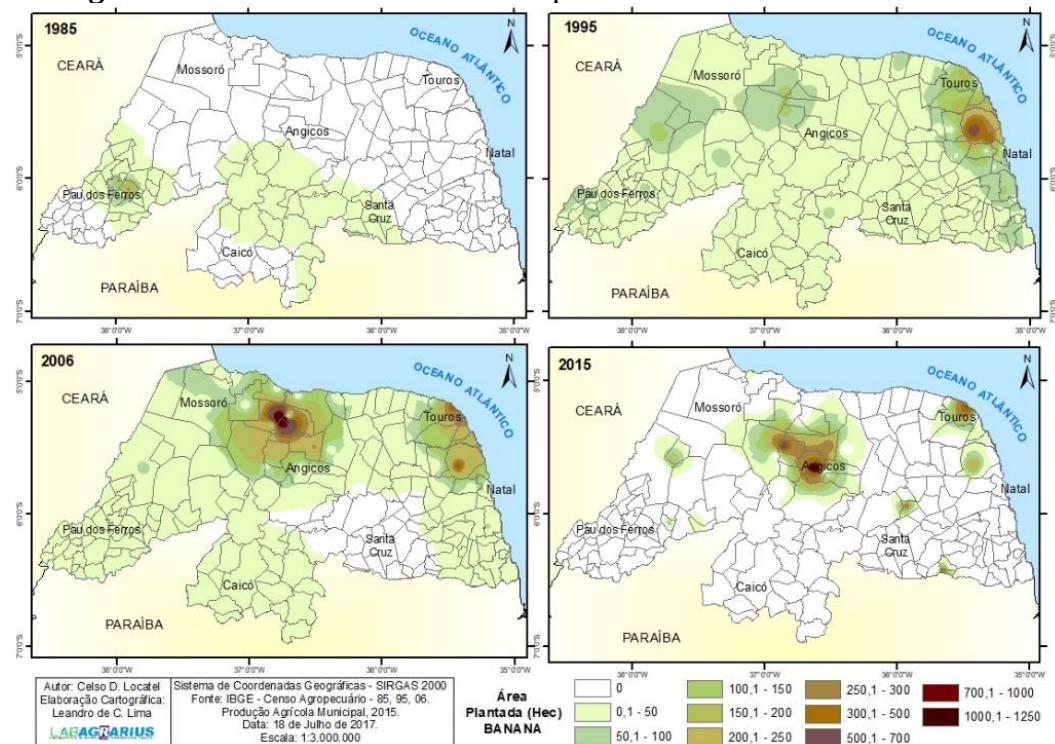
Figura 4: Produção da fruticultura em 2016



Fonte: Vidal (2018)

O Rio grande do Norte se destaca como um grande produtor de banana. De acordo com a pesquisa feita por Locatel (2018), entre os anos de 1985 a 1995, percebemos uma difusão do cultivo da banana por todo o território potiguar. A partir dessa pesquisa, percebe-se também que as bananeiras estão em maiores concentrações territoriais na região do Baixo Açu e no norte do Litoral Leste potiguar, como podem ser vistos na Figura 5.

Figura 5: Rio Grande do Norte: Área plantada com banana – 1985 a 2015



Fonte: Locatel (2018)

O Brasil é um grande produtor de frutas, dentre elas, as bananeiras se destacam. De acordo com Vieira (2015) apud Marçal et al. (2017) “A banana destaca-se no ranking mundial das frutas, como a mais produzida, totalizando cerca de 106,5 milhões de toneladas anuais. O Brasil produz sete milhões de toneladas, sendo o quinto maior produtor, cerca de 6,9% da produção mundial”.

Assim, como as bananeiras são cortadas após o período de término da colheita, grande quantidade de resíduos são gerados e, dificilmente, ou quase nunca, são reaproveitados. Anualmente, os pés de bananeira produzem um potencial nacional de cerca de 11,45 milhões de toneladas de folhas secas, o que corresponde a 1,21 milhões de toneladas de cinza de folha de bananeira (CABRAL e AZEVEDO, 2016).

Conforme estudos feito por Kanning (2010), foi identificado que no Brasil, os pés de bananeira possuem uma geração média de cerca de 1343,30 gramas de folhas secas, o que representa, anualmente, um potencial nacional de geração anual de cerca de 895,3095 milhões de toneladas de folhas secas. Além disso, conforme Kanning(2010), foi verificado que a porcentagem de cinza de folha de bananeira é em torno dos 10,0%.

Ainda acerca do potencial de resíduos gerados pelas bananeiras, de acordo com Simão(2017), no Brasil, para cada tonelada (t) de banana produzida são gerados aproximadamente 3 toneladas de pseudocaule e 480 Kg de folhas. Diante disso, percebe-se que a quantidade de resíduos gerados pelas bananeiras é bastantes elevados, e muitas vezes são despejados no ambiente sem nenhum reaproveitamento, causado vários prejuízos à natureza.

Diante de tudo que foi mostrado acerca do potencial de produção de bananas, fica evidente que a quantidade de resíduos devido as folhas e caules das bananeiras também são bem expressivos. Sabe-se que após a colheita são cortados dando lugar a novos pés de bananeira, e ao longo do seu crescimento geram as folhas secas que são cortadas e depositadas ao longo do bananal (KANNING, 2010).

2.7 INFLUÊNCIA DAS ADIÇÕES MINERAIS NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO

O aumento da resistência mecânica dos concretos com adições minerais está diretamente relacionado com o aumento da resistência da matriz na zona de transição, devido ao processo de refinamento dos poros e dos cristais presentes na pasta de cimento (FONSECA, 2010).

Várias propriedades do concreto, tanto no estado fresco quanto endurecido, são afetadas positivamente com o uso das adições minerais. Conforme descreve Fonseca (2010), “A eficiência de uma adição mineral no comportamento do concreto pode variar em função da quantidade utilizada e das condições de cura, bem como em função da sua composição química, mineralógica e granulométrica”. Porém, para o autor, de uma maneira geral, os mecanismos pelos quais as adições minerais influenciam as propriedades do concreto fresco e endurecido dependem mais do tamanho e forma das partículas do que da sua composição química.

A partir da pesquisa de Kanning (2010), verificou-se que as cinzas oriundas das folhas de bananeira possuem atividade pozolânica superiores ao mínimo exigido pelas normas NBR 5751/1992 e NBR 5752/1992. Com isso, seu aproveitamento como material pozolânico na construção civil é de extrema importância, tanto econômica quanto ecologicamente, pois impede seu descarte em forma de aterro, que seria um fator gerador de problemas ambientais

de poluição do solo, do ar e de rios e córregos (FONSECA, 2010). Além disso, a substituição de porcentagens de cimento por pozolana implica ainda na economia de energia e na redução do custo de fabricação do cimento.

Devidos aos finos da cinza de bananeira, várias propriedades mecânicas do concreto são melhoradas no estado endurecido, principalmente devido o fato de ter menos vazios, e menor permeabilidade. Outra característica observada é no estado fresco, em que há um aumento da massa específica conforme o teor de folha de bananeira acrescido. (CABRAL e AZEVEDO, 2016).

Como efeitos físicos, Fonseca (2010) destaca o efeito microfiller (aumento da densidade da mistura em função do preenchimento dos vazios); o refinamento da estrutura de poros e dos produtos de hidratação do cimento; redução da exsudação, bem como o aumento de desempenho do concreto em termos de resistência mecânica e durabilidade.

2.7.1 Propriedades do Concreto Fresco

2.7.1.1 Consistência (Abatimento)

A consistência é um dos principais fatores que influenciam na trabalhabilidade do concreto, por isso também é importante. Segundo Malhotra e Mehta (1996) apud Gobbi(2014), normalmente há um aumento no consumo de água em concretos com adições naturais. Assim, uma medida que deve ser levada em conta na produção dos concretos é o uso de aditivos plastificantes.

Para determinar a consistência do concreto, há um procedimento simples conhecido como Slump Test, conforme descrito pela NBR NM 67/1998: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, e possui valores admissíveis conforme a Figura 6.

Figura 6: Classe aceitáveis de Abatimento

Classe	Abatimento em mm	Aplicações típicas
S10	$10 < A < 50$	Concreto extrusado, vibroprensado ou centrifugado
S50	$50 < A < 100$	Alguns tipos de pavimentos e de elementos de fundações
S100	$100 < A < 160$	Elementos estruturais, com lançamento convencional do concreto
S160	$160 < A < 220$	Elementos estruturais com lançamento bombeado do concreto
S220	> 220	Elementos estruturais esbeltos ou com alta densidade de armaduras

Fonte: NBR NM 67/1998

2.7.2 Concreto Endurecido

2.7.2.1 Resistência a compressão

Segundo Mehta (1987), aos 7 dias, a resistência à compressão nos concretos sem adição de pozolanas ainda é superior, se comparado ao concreto com adição, uma vez que a reação de hidratação das pozolanas ainda não foi suficiente para afetar a resistência. Porém, aos 28 dias, misturas contendo 10% de pozolanas já apresentam resistências superiores.

De acordo com estudos feito por Fonseca (2010), vários fatores exercem influência sobre a resistência final do concreto com adições minerais, como: condições de cura, quantidade da adição mineral, tamanho das partículas, relação água/cimento, presença de super plastificantes, etc. Para o autor, ainda, a adição de super plastificantes é essencial para se alcançar uma dispersão eficiente das adições minerais no concreto, pois age no sentido de compensar a maior demanda de água pelas partículas menores, potencializando o efeito físico-químico da adição pozolânica. A resistência à compressão do concreto é avaliada por meio de corpos de prova padronizados, regidos pela NBR 5738/2016.

2.7.2.2 Absorção de água

É importante avaliar a absorção de água e a porosidade dos concretos, tendo em vista que esse é um fator que pode acelerar problemas patológicos ou mesmo diminuição de resistências. A NBR 9778/2009 estabelece a prescrição para os ensaios de índices de vazios, porosidade e massa específica do concreto endurecido. Conforme Veras (2012), uma alta absorção no concreto pode ser um fator limitante em sua aplicação e pode afetar diretamente

sua durabilidade, para isto é válido um estudo detalhado da capacidade de absorção do concreto reciclado no estado endurecido para seu adequado uso.

De acordo com Aguiar (2006), “a permeabilidade e absorção são dois dos mais importantes mecanismos de transporte dos agentes agressivos, sendo determinantes na vulnerabilidade do concreto aos agentes externos”. Contudo, vale salientar que o volume ocupado pelos poros do concreto não deve ser confundido com a permeabilidade, pois é medido pela absorção, secando-se as amostras até a constância de massa, e imergindo-as em água para determinar o acréscimo de massa.

2.8 DOSAGEM DO CONCRETO

Um dos métodos mais utilizados para a dosagem do concreto é o método do ABCP, adaptado do método do ACI (American Concrete Institute), para agregados brasileiros. O cálculo de dosagem do concreto, depende inicialmente de algumas variáveis relacionadas à características pretendidas para concreto no estado endurecido, estado fresco, bem como no preparo, tais como: Resistência aos 28 dias, abatimento, e condições de preparo.

Assim, com relação às condições de preparo do concreto, a NBR 12655/2006: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento estabelece três condições de preparo:

a) condição A (aplicável às classes C10 até C80): o cimento e os agregados são medidos em massa, a água de amassamento é medida em massa ou volume com dispositivo dosador e corrigida em função da umidade dos agregados;

b) condição B:

- Aplicável às classes C10 até C25: o cimento é medido em massa, a água de amassamento é medida em volume mediante dispositivo dosador e os agregados medidos em massa combinada com volume;
- Aplicável às classes C10 até C20: o cimento é medido em massa, a água de amassamento é medida em volume mediante dispositivo dosador e os agregados medidos em volume. A umidade do agregado miúdo é determinada pelo menos três vezes durante o serviço do mesmo turno de concretagem. O volume de agregado miúdo é corrigido através da curva de inchamento estabelecida especificamente para o material utilizado;

c) condição C (aplicável apenas aos concretos de classe C10 e C15): o cimento é medido em massa, os agregados são medidos em volume, a água de amassamento é medida em

volume e a sua quantidade é corrigida em função da estimativa da umidade dos agregados e da determinação da consistência do concreto.

Para se determinar a resistência de dosagem do concreto (f_{cd}), é necessário determinar uma resistência média dos corpos-de-prova, na qual garante, estaticamente o valor do f_{ck} em função do S_d , é verificado através da equação 4.

$$f_{cmj} = f_{ckj} + 1,65 \cdot S_d \quad (4)$$

Nesse caso, que para concretos com desvio-padrão desconhecido, é utilizado um S_d a partir das condições de preparo do concreto, conforme a Tabela 7.

Tabela 7: Desvio padrão conforme as condições de preparo

CONDIÇÃO	S_d – Desvio-Padrão (MPa)	TIPO DE CONCRETO
A	4	Quando todos os materiais forem medidos em peso e houver medidor e água.
B	5,5	Quando o cimento for medido em peso e os agregados em volume.
C	7	Quando o cimento for medido em peso e os agregados em volume, e houver medidor de água.

Fonte: NBR 12655:2006

Já em relação à variável do abatimento requerido, esta é relacionada com o diâmetro máximo do agregado graúdo, sendo possível determinar o consumo de água em L por m^3 de concreto, obtido a partir da Tabela 8.

Tabela 8: Consumo de Água

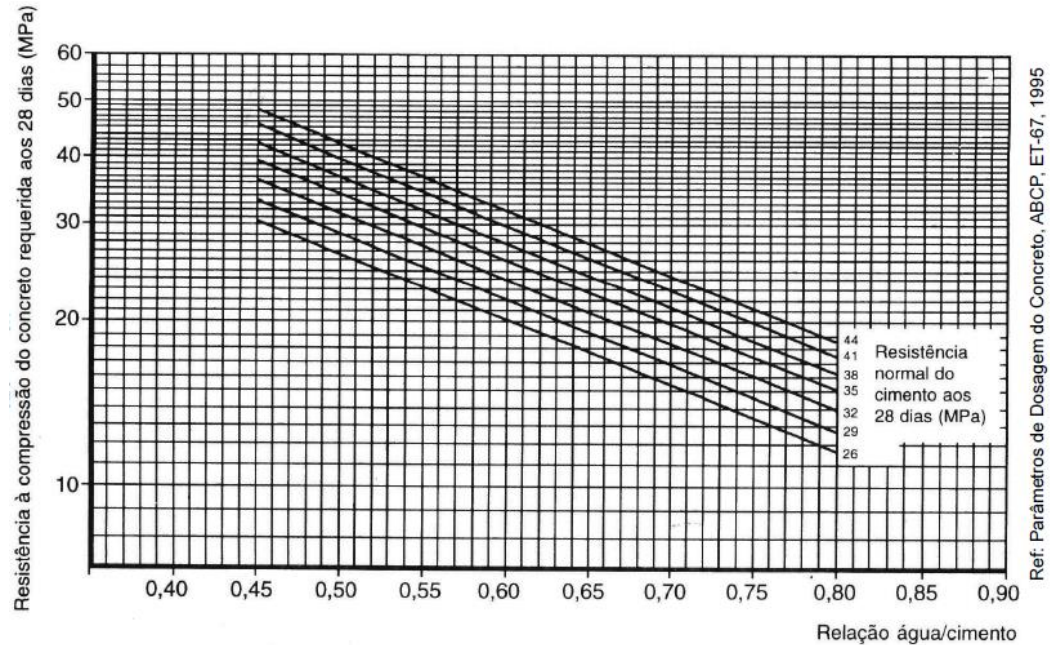
Consumo de água aproximado (l/m^3)					
ABATIMENTO (mm)	Dmax agregado graúdo (mm)				
	9,5	19	25	32	38
40 – 60	220	195	190	185	180
60 – 80	225	200	195	190	185
80 – 100	230	205	200	195	190

Fonte: Rodrigues, 1998

Com relação à variável obtida a partir da característica desejada da resistência aos 28 dias, é obtida informações necessárias a partir do ábaco mostrado na Figura 7, que relaciona a resistência à compressão requerida aos 28 dias e a resistência normal do cimento aos 28 dias,

que informa a relação máxima de água cimento que pode ser utilizada na dosagem do concreto.

Figura 7: Relação água cimento



Fonte: Rodrigues, 1998

Sendo que a relação água/cimento deve respeitar a relação máxima de água/cimento entre classe de agressividade e qualidade definida pela NBR 12655/2006: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento, conforme o Figura 8 e Figura 9.

Figura 8: Classe de agressividade

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{1), 2)}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹⁾	Grande
		Industrial ^{1), 2)}	
IV	Muito forte	Industrial ^{1), 3)}	Elevado
		Respingos de maré	

¹⁾ Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

²⁾ Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

³⁾ Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes e indústrias químicas.

Fonte: NBR 12655/2006

Figura 9: Classe de agressividade x Relação água/cimento

Concreto	Tipo	Classe de agressividade (Tabela 1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$
Consumo de cimento por metro cúbico de concreto kg/m^3	CA e CP	≥ 260	≥ 280	≥ 320	≥ 360
NOTA CA Componentes e elementos estruturais de concreto armado; CP Componentes e elementos estruturais de concreto protendido.					

Fonte: NBR 12655/2006

Conhecido o consumo de água (Ca) pela Tabela 8, e a relação água cimento (a/c), visto no Ábaco 01, é possível calcular o consumo de cimento através da Equação 5:

$$Cc = \frac{Ca}{a/c} \quad (5)$$

A determinação do consumo do agregado graúdo é dado pela Equação 6

$$Cb = Vb \cdot Mu \quad (6)$$

Em que o termo Mu é a massa unitária do agregado graúdo, e Vb é dado através de uma relação entre o módulo de finura do agregado miúdo, e a dimensão máxima do agregado graúdo, verificado através da Tabela 9.

Tabela 9: Volume de agregado graúdo

MÓDULO DE FINURA DA AREIA	DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA DO AGREGADO GRAÚDO ($\Phi_{\max}$)				
	9,5mm	19mm	25mm	32mm	38mm
1,8	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
2,0	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
3,0	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685
3,6	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665

Fonte: Rodrigues, 1998

Conhecido o consumo de agregado graúdo, é possível agora verificar o consumo do agregado miúdo, através da Equação 7:

$$Cm = Vb \cdot \gamma_m \quad (7)$$

Sendo que:

$$Vm = 1 - \left(\frac{Cc}{\gamma_c} - \frac{Cb}{\gamma_b} - \frac{Ca}{\gamma_a} \right) \quad (8)$$

Onde:

Cc – Consumo de cimento

Cb – Consumo de brita

Ca – Consumo de água

γ_a – Massa específica da água

γ_m – Massa Específica do agregado miúdo

γ_b – Massa Específica do agregado graúdo

γ_c – Massa Específica do cimento

Encontrado os consumos de todos os materiais, é possível então, por fim, calcular o traço em massa, dividindo-se cada um dos consumos pelo consumo do cimento, conforme mostra a expressão:

$$\frac{Cc}{Cc} : \frac{Cm}{Cc} : \frac{Cb}{Cc} : \frac{Ca}{Cc}$$

Assim, o traço final em massa é:

$$1:m:b:a$$

Em que :

m – Proporção de areia

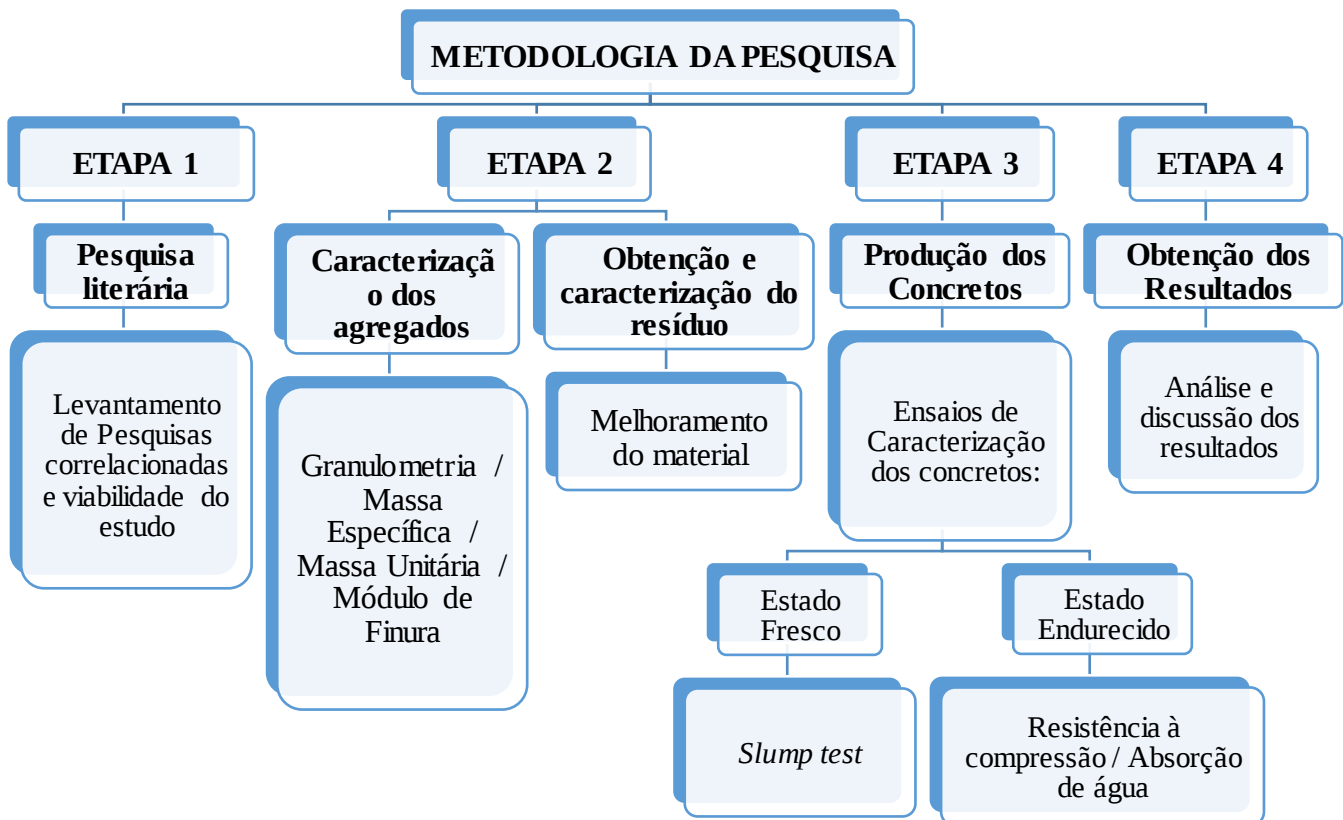
b – Proporção em brita

a – Proporção em água

3 METODOLOGIA

Esse estudo baseou-se em analisar as propriedades mecânicas de concretos com a substituição do cimento pela substituição natural de cinza de bananeira. Inicialmente foi feita uma pesquisa de caráter exploratório sobre o assunto, a fim de verificar também a viabilidade da presença do resíduo na região de estudo. Tendo visto a exequibilidade do estudo, foi realizado a coleta do resíduo, e feito o beneficiamento do mesmo, após ser incinerado. Depois disso, foi realizada a caracterização dos agregados, em busca de um controle de qualidade para os concretos, e em seguida a dosagem utilizada na pesquisa. Na etapa final foram produzidos os concretos, e obtido os resultados em diferentes teores de cinza da bananeira em substituição do teor de cimento. Por fim, a obtenção dos resultados foi fundamental para se chegar à conclusão de todo o estudo. O fluxograma da pesquisa que mostra as etapas da metodologia está representado na Figura 10.

Figura 10: Metodologia da Pesquisa

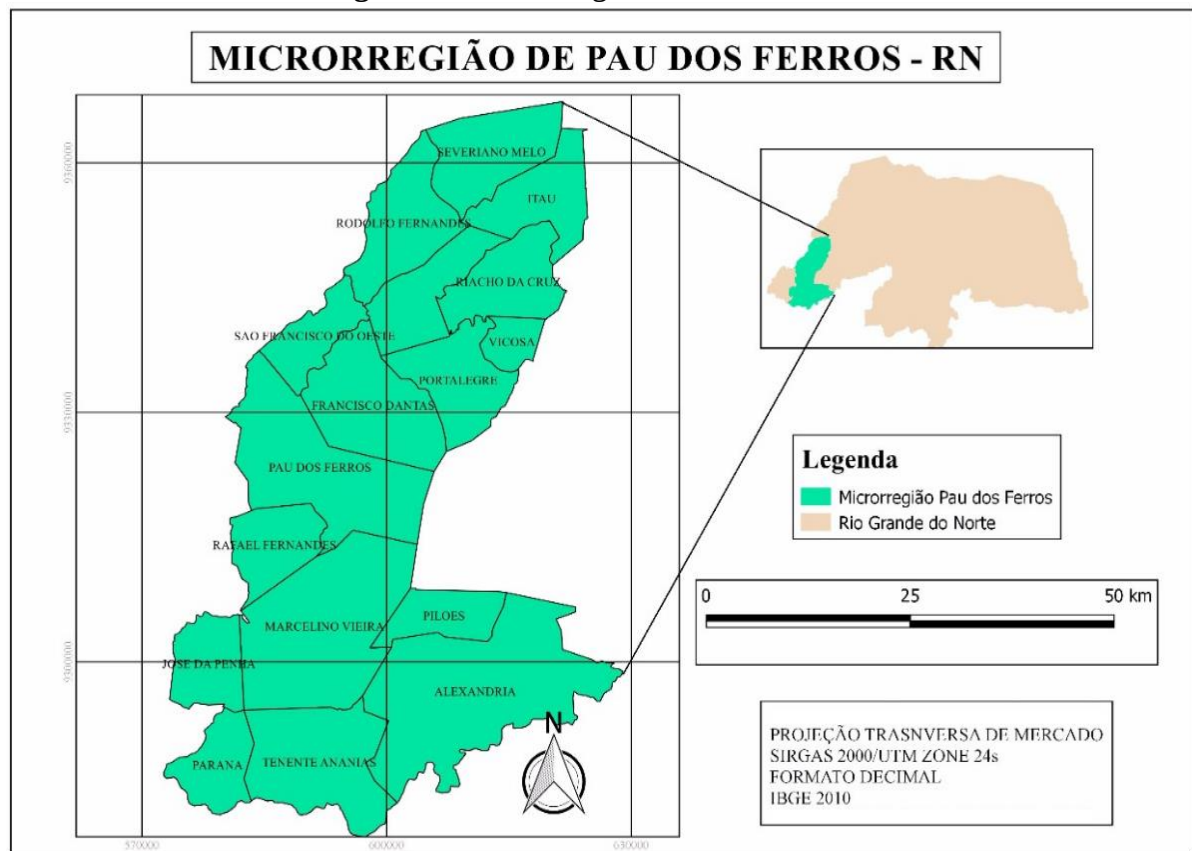


Fonte: Autor, 2019

3.1 LOCAIS DE ESTUDO E COLETA DAS FOLHAS DE BANANEIRAS

As bananeiras utilizadas na pesquisa foram coletadas na cidade de Apodi/RN, localizado no Oeste Potiguar. O local escolhido foi estratégico, devido a um dos papéis que a universidade tem de inovação e desenvolvimento regional na qual essa está inserida. Devido a isso, foi escolhido coletar os resíduos dessa localidade por ser uma das regiões com maior potencial de bananeiras no Semi Árido Potiguar mais próximo à cidade de Pau dos Ferros/RN (Figura 11).

Figura 11: Microrregião de Pau dos Ferros



Fonte: Autor, 2019

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS

Para a confecção dos concretos da pesquisa, foram utilizados os seguintes materiais: Cimento; Areia, Brita, Água, Aditivo plastificante, e o material pozolânico cinza da bananeira. Nos próximos tópicos será mostrado a caracterização e especificação dos materiais utilizados.

3.2.1 Cimento

O cimento utilizado foi o cimento Portland CP – II 32 F. Esse tipo de cimento, com adição de filer que foi escolhido por não conter pozolana na sua constituição. Em toda a pesquisa foi adquirido três sacos de cimento de 50kg, adquiridos em uma loja de material de construção na cidade de Pau dos Ferros/ RN.

Ao longo da pesquisa, foi necessário peneirar o cimento e utilizar somente o cimento passante na peneira 0,75mm, a fim de garantir a finura do material, e consequentemente a eficiência de sua função no concreto.

3.2.2 Agregado Miúdo

Os agregados (Areia e Brita) utilizados na execução da pesquisa foram obtidos em uma obra, na cidade de Pau dos Ferros/RN, e armazenados em Tambores de 200 Litros.

A areia foi o agregado miúdo utilizada na produção dos concretos. Esse material foi obtido jazida na própria cidade de Pau dos Ferros/RN, em uma quantidade suficiente para preencher um Tambor de 200Litros (Figura 12).

Figura 12: Recipientes que armazenaram os agregados



Fonte: Autor, 2019

Para a caracterização do agregado miúdo, inicialmente realizou-se a composição granulométrica, seguindo a série de peneira normal estabelecido pela NBR NM 248/2003: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Para o ensaio de granulometria foi utilizado 500g do agregado, conforme regulamentado na Tabela 2 da NBR NM 248/200, e foi considerado a areia passante na peneira com abertura de 4,75mm até os grãos retidos na peneira de 0,75mm.

Na caracterização desse material, foram realizados os ensaios de massa unitária, massa específica e de granulometria. O ensaio de massa específica foi realizado conforme descrito na NBR 9776/1987: Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Nesse ensaio foi utilizado o frasco de vidro e composto de dois bulbos e de um gargalo graduado. O ensaio de massa unitária foi verificado conforme a NBR NM 45/2006: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios.

3.2.3 Agregado Graúdo

O agregado graúdo utilizado foi a Brita, e a quantidade foi suficiente para preencher um Tambor de 200Litros, semelhante ao recipiente que armazenou a areia. Assim também como nas areias, os ensaios com o agregado graúdo também foram os mesmo que utilizados para o agregado miúdo: Massa Específica; Massa unitária; Granulometria.

Para obter a massa específica da brita no estado seco e também na condição saturada, foi seguido o procedimento descrito na NBR NM 53/2009: Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. A massa ao ar da amostra seca (M) foi de 3000,1g; enquanto que a massa de brita saturada com a superfície seca (Ms) foi de 1862,5g, e a massa de brita em água da amostra (Ma) foi 3005,8g.

Já a massa unitária da brita descrito na NBR NM 45/2006: Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Semelhante ao método obtido para o agregado miúdo e com os mesmos equipamentos, foi realizado a caracterização da massa unitária do agregado graúdo. O ensaio de granulometria do agregado graúdo conforme a NBR NM 248/2003: Agregados - Determinação da composição granulométrica e realizou-se a caracterização a partir da massa retida e acumulada da brita da sequência de peneiras de 25mm até 4mm. A quantidade de amostra utilizada foi de 5kg, conforme recomendado na Tabela 2 da NBR NM 248/2003.

3.2.4 Água

A água de amassamento bem como a água utilizada na cura dos concretos foi da rede de abastecimento da cidade de Pau dos Ferros/RN.

3.2.5 Cinza da bananeira

Depois de coletada, as bananeiras foram levadas para serem incineradas na cerâmica “São Francisco” localizada no município de São Francisco do Oeste/RN, que faz parte da região do alto oeste potiguar, na microrregião de Pau dos Ferros. Apesar de as cinzas terem sido incineradas inicialmente em uma cerâmica, para se obter um maior controle de qualidade da queima, à uma temperatura controlada, foi necessário levar o material para a Universidade Federal do Rio Grande do Norte, campus Natal/RN, para ser calcinado em uma mufla, conforme a Figura 13, em busca de obter um maior controle no processo de queima, na temperatura ideal em torno de 800 à 1000°C.

Figura 13: Mufla utilizada para calcinação do resíduo



Fonte: Autor, 2019

Depois de calcinada na temperatura correta, foi realizado ainda um beneficiamento de peneiração no material, na peneira de 75µm, a fim de garantir que a cinza tenha finura adequada, semelhante ao do cimento, para realizar a produção dos concretos. A Figura 14 mostra o resíduo depois que foi passado por um beneficiamento.

Figura 14: Resíduo Cinza de Bananeira

Fonte: Autor, 2019

3.3 DOSAGEM E CONSUMO DOS MATERIAIS

O método escolhido para a dosagem dos concretos utilizado na pesquisa foi o da ABCP, já exposto anteriormente, na seção 2.8. Assim, os parâmetros utilizados na pesquisa que foram possíveis para chegar ao traço final estão expostos na Tabela 10

Tabela 10: Características desejadas para a dosagem

PARAMETROS DO CONCRETO	
fck	25 MPa
ABATIMENTO DESEJADO	80 mm
CONDIÇÃO DE PREPARO DO CONCRETO	A
RESISTÊNCIA MÉDIA DO CONCRETO À COMPRESSÃO (f_{cmj})	31,6 MPa
Relação água/cimento (a/c)	0,5

Fonte: Autor, 2019

Já os consumos dos materiais foram calculados em quilograma, para cada metro cúbico de concreto. Para isso, depois de conhecer o traço do concreto inicialmente foi calculado o consumo de cimento por metro cúbico de concreto, através da Equação 9.

$$Cc_{im} = \frac{1000}{\frac{1}{\gamma_c} + \frac{m}{\gamma_m} + \frac{b}{\gamma_b} + \frac{a}{\gamma_a}} \quad (9)$$

Feito isso, fica possível conhecer também os consumos de areia, brita e água, fazendo a proporção a partir do traço calculado. Dessa forma, o consumo dos demais materiais (em Kg) para cada metro cúbico de concreto é dado pela mesma expressão, mudando apenas a proporção de cada material, dado pela Equação 10:

$$Cx = Cim \cdot x \quad (10)$$

3.3.1 TRAÇO CONCRETO E CONSUMOS DOS MATERIAIS

Feito a caracterização dos materiais, e somado aos parâmetros desejados do concreto, foi possível calcular o traço e os consumos de cada material pelo método do ABCP, conforme mostrado na Tabela 11.

Tabela 11: Dosagem e Consumos dos materiais para cada metro cúbico de concreto

	MATERIAIS			
	Cimento	Areia	Brita	Água
Proporção de Dosagem	1	1,89	2,45	0,5
Consumo (kg/m ³)	399,64	755,31	979,11	199,82

Fonte: Autor, 2019

Na Tabela 12 é mostrado o resumo da aplicação dos corpos de provas e suas respectivas quantidades. Foi calculado que seriam utilizados 13 corpos de provas para cada teor de cinza de bananeira. Assim, esse montante de 13 corpos de provas totalizou um volume de 20,54L, porém com uma margem de erro de 10%, foi produzido 22,39L de concreto para cada teor de substituição do cimento pela cinza. Sabendo disso, foi possível calcular a quantidade de cada material, em massa, que estão mostrados na Tabela 13.

Tabela 12: Quantidade e volumes dos corpos de provas para cada teor

APLICAÇÃO	CP's
Resistência a compressão aos 7 dias	3
Resistência a compressão aos 28 dias	3
Resistência a compressão aos 49 dias	3
Índice de vazios e absorção de água	3
Reserva	1

TOTAL DE CP's	13
Volume Total de Concreto para os 13 CPS (L)	20,54
Volume de Concreto por Teor (L) – (Margem de 10%)	22,59

Fonte: Autor, 2019

Assim, a Tabela 13 mostra a quantidade de material utilizado na produção dos concretos utilizados na pesquisa.

Tabela 13: Quantidades de Materiais utilizados em cada teor

TEOR DE CONCRETO	PESO MATERIAL (KG)					
	Cimento	Areia	Brita	Água	Cinza Bananeira	Aditivo
0%	8,95	16,91	21,92	4,47	0	0,0895
5%	8,51	16,91	21,92	4,47	0,438	0,0895
10%	8,05	16,91	21,92	4,47	0,890	0,0895
TOTAL DE MATERIAIS PARA OS CP's	25,51	50,73	65,76	13,42	1,33	0,2685

Fonte: Autor, 2019

3.4 PRODUÇÃO DOS CONCRETOS

A pesquisa baseou-se em estudar as propriedades mecânicas dos concretos com a substituição do cimento por teores de 0%, 5% e 10% de cinza de bananeira. Sendo assim, foi produzido os concretos contendo 0% e 5% e 10% de substituição do cimento pela adição da cinza da folha da bananeira.

A produção dos concretos foi realizada em uma betoneira de 400 Litros (Figura 15), de uma obra que estava em execução na UFERSA Pau dos Ferros. Na produção dos concretos, primeiramente foi colocado a brita, metade da água. Após alguns segundos com a betoneira ligada, foi colocado parte do cimento. Esperou-se alguns segundos mais e foi adicionado a areia, o restante do cimento e a cinza, e por fim foi colocado o restante da água misturado com o aditivo plastificante.

Figura 15: Betoneira utilizada na produção dos concretos



Fonte: Autor, 2019

Os ensaios no estado fresco: *Slump Test*, Massa específica; e no estado endurecido: Resistência a compressão, absorção e porosidade, e Massa específica foram realizados no laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA Pau dos Ferros/RN. Os corpos de provas utilizados foram cilíndricos, de material metálico, e com diâmetro de 10cm e altura de 20cm (Figura 16), e foram moldados conforme a NBR 5738/2016: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. A cura do concreto foi realizada no próprio laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal Rural do Semi Árido -UFERSA Pau dos Ferros/RN, conforme descrito pela NBR 5738/2016.

Figura 16: Corpos de provas



Fonte: Autor, 2019

Após a produção dos concretos, foi realizado as análises de concreto no estado fresco: Slump Teste, e Massa Específica. Depois disso, 24h depois de moldados, os corpos de provas foram colocados para realizar a cura. Após isso, foi realizado as análises mecânicas do concreto no estado endurecido.

3.5 ENSAIO NO CONCRETO NO ESTADO FRESCO

3.5.1 Ensaio de Consistência (Abatimento do Tronco de Cone)

O ensaio de tronco de cone (Figura 17), conhecido por *Slump Test* segue os procedimentos descritos na NBR NM 67/1998: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, e tem por objetivo determinar a consistência do concreto fresco que influencia diretamente na trabalhabilidade do concreto. Esse mesmo procedimento foi realizado para os concretos 0, 5 e 10% de substituição do cimento pela cinza da bananeira.

Figura 17: Ensaio tronco de cone



Fonte: Autor, 2019

3.6 ANÁLISES PROPRIEDADES MECÂNICAS NO ESTADO ENDURECIDO

3.6.1 Resistência à compressão

Após a produção dos concretos, foi realizado as análises de resistência à compressão aos 7 dias, 28 dias. Isso aconteceu para os concretos com 0%, 5% e 10% de cinza de bananeira. Para as análises foi utilizado uma prensa conforme visto na Figura 18.

A resistência a compressão foi determinada nas idades de 7 e 28, utilizando 3 corpos-de-prova cilíndricos com diâmetro de 10cm e altura de 20cm, para os concretos com 0%, 5% e 10% de cinza de bananeira. Os procedimentos utilizados seguiram as especificações descritas na NBR 5739/2018: Concretos – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.

Figura 18: Prensa utilizada para ensaio de compressão



Fonte: Autor, 2019

Aos 28 dias de cada um dos concretos dos diferentes teores de substituição produzidos, foi utilizado a mesma prensa para verificar a resistência à compressão dos corpos de prova.

3.6.2 Absorção de água

Aos 28 dias também foi realizado a análise de absorção de água do concreto para os teores de 0%, 5% e 10%, seguindo a NBR 9778/ 2009: Argamassa e concreto endurecido – Determinação da absorção de água, índices de vazios e massa específica. Foi possível obter a intensidade de absorção por meio da variação de massa seca em estufa (Figura 19) e massa do concreto saturada.

Figura 19: Estufa



Fonte: Autor, 2019

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico será apresentado os resultados da pesquisa experimental, fazendo a análise dos materiais utilizados, bem como das propriedades dos concretos com as características mecânicas em análises regidas conforme às normas regulamentadoras brasileiras vigentes.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

4.1.1 Areia

A Tabela 14 mostra o resultado da análise granulométrica do agregado miúdo.

Tabela 14: Análise Granulométrica do Agregado Miúdo

Abertura	Massa retida (g)	% Retida	% Acumulada
4,8mm	14,22	2,85	2,85
2,36mm	22,94	4,59	7,44
1,18mm	72,92	14,60	22,05
600 µm	111,78	22,39	44,44
300 µm	141,30	28,30	72,74
150 µm	116,25	23,28	96,02
FUNDO	19,86	3,98	100
TOTAL	499,269	100	-

Fonte: Autor, 2019

Ainda conforme especificação da NBR 7211/2009: Agregados para concreto – Especificação, foi possível conhecer a dimensão máxima do agregado, bem como o módulo de finura, que estão expostos na Tabela 15.

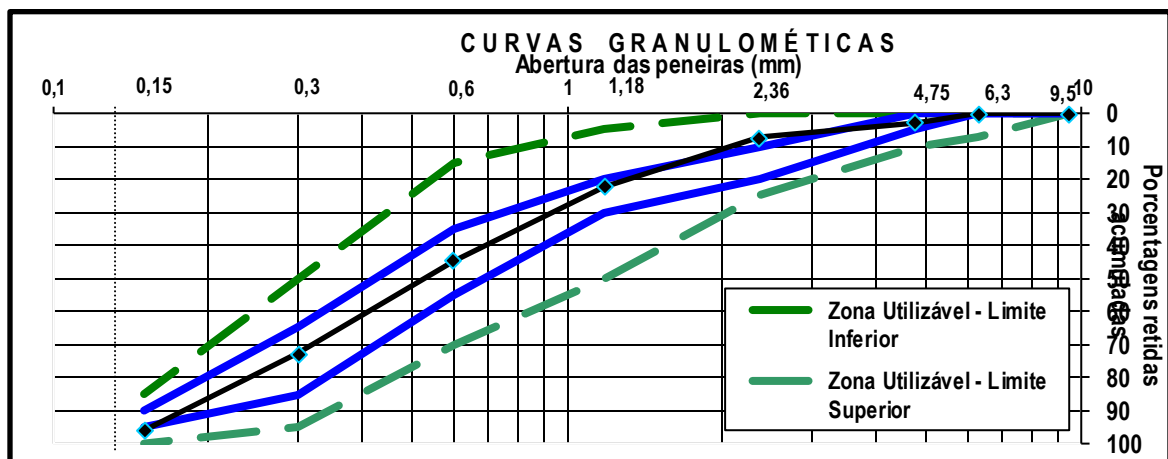
A massa específica e a massa unitária também estão sendo mostrado na Tabela 15.

Tabela 15: Resumo da caracterização do agregado miúdo

ENS AIO	RESULTADO CARACTERIZAÇÃO	NORMA REGULAMENTADORA
Massa específica	2,56 g/cm ³	NBR NM 52/2009
Massa Unitária	1,64g/cm ³	NBR NM 45/2006
Módulo de finura	2,46	NBR NM 248/2003
Dimensão máxima do agregado(mm)	4,8mm	NBR NM 248/2003

Fonte: Autor, 2019

Diante dos resultados expostos, é possível caracterizar a areia em análise como areia média e que faz parte da zona ótima, a partir dos resultados obtidos do módulo de finura que está no intervalo de 2,20 e 2,90, e conforme especificações descritas NBR 7211/2009, conforme visto na Figura 20.

Figura 20: Curva granulométrica – Agregado Miúdo

Fonte: Autor, 2019

4.1.2 Agregado graúdo

A caracterização do agregado graúdo iniciou-se pela composição granulométrica, mostrado na Tabela 16.

Tabela 16: Análise granulométrica agregado graúdo

Peneira (mm)	Massa retida (g)	% Retida	% acumulada
19	148	2,96	2,96
9,5	3849,4	77,02	79,97
6,3	787,9	15,76	95,74
4,75	123,2	2,46	98,205
4	55,4	1,10	99,31
FUNDO	34,3	0,68	100
TOTAL	4998,2	100	

Fonte: Autor, 2009

De acordo com o especificado na NBR NM 248/2003, a partir da composição granulométrica pode-se conhecer a dimensão máxima do agregado graúdo, que está mostrada na Tabela 17.

Além disso, conforme a NBR NM 53/2009 foi obtido como resultado da caracterização do agregado graúdo a massa específica e a massa unitária. A massa ao ar da amostra seca (M) foi de 3000,1g; enquanto que a massa de brita saturada com a superfície seca (Ms) foi de 1862,5g, e a massa de brita em água da amostra (Ma) foi 3005,8g.

Com isso, é possível obter a massa específica nas condições secas e saturada, bem como a massa específica aparente do agregado graúdo, conforme mostra a Tabela 17.

Tabela 17: Resumo da caracterização do agregado graúdo

ENSAIO	RESULTADO CARACTERIZAÇÃO	NORMA REGULAMENTADORA
Dimensão máxima do agregado (mm)	19mm	NBR NM 248/2003
Massa Específica estado seco	$2,62g/cm^3$	NBR NM 53/2009
Massa Específica saturada	$2,63g/cm^3$	NBR NM 53/2009
Massa Específica Aparente	$2,64g/cm^3$	NBR NM 53/2009
Massa Unitária	$1,639g/cm^3$	NBR NM 45/2006

Fonte: Autor, 2019

4.3 CONCRETO ESTADO FRESCO

4.3.1 Ensaio de consistência

A partir do ensaio de tronco de cone (*slump test*), obteve-se as informações referentes ao comportamento plástico do concreto que são apresentadas na Tabela 18.

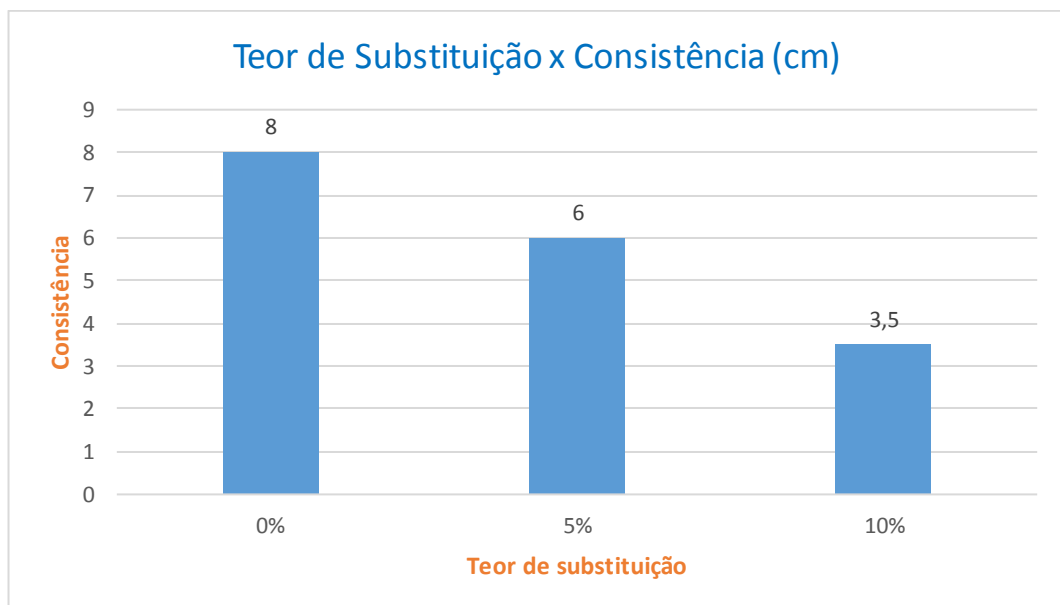
Tabela 18: Ensaio de *Slump Test*

TEOR DE SUBSTITUIÇÃO	ABATIMENTO
0%	8
5%	6
10%	3,5

Fonte: Autor, 2019

De acordo com a Figura 21, verifica-se que a medida que a quantidade de cinza era aumentada na mistura notava-se à redução de sua consistência.

Figura 21: Ensaio de *Slump Test*



Fonte: Autor, 2019

Diante dos resultados, percebe-se que à medida que o teor de cinza de bananeira foi elevado, os concretos tiveram menores índices de consistências. Isso pode ter sido também devido ao fato que a cinza da bananeira era bastante fina, e isso implica numa maior necessidade de água de amassamento na mistura (MEHTA & MONTEIRO, 2008), apesar de todos os teores terem sido utilizados a mesma quantidade de aditivos.

4.4 CONCRETO ESTADO ENDURECIDO

4.4.1 Resistência à compressão

A Tabela 20 mostra os valores da resistência à compressão em relação às diferentes idades para cada teor de substituição de cimento pela cinza da bananeira, em cada idade.

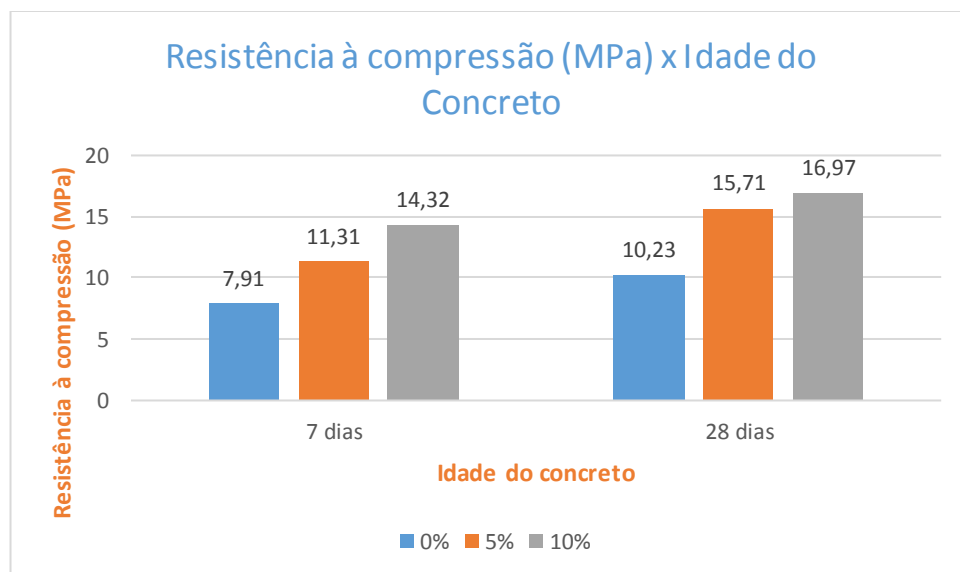
Tabela 19: Resistência à compressão

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (Mpa)		
TEORES DE SUBSTITUIÇÃO	IDADE	
	7 dias	28 dias
0%	7,91	10,23
5%	11,31	15,71
10%	14,32	16,97

Fonte: Autor, 2019

A Figura 23 representa o crescimento da resistência à compressão em cada idade e para os diferentes teores de substituição do cimento pela cinza da bananeira.

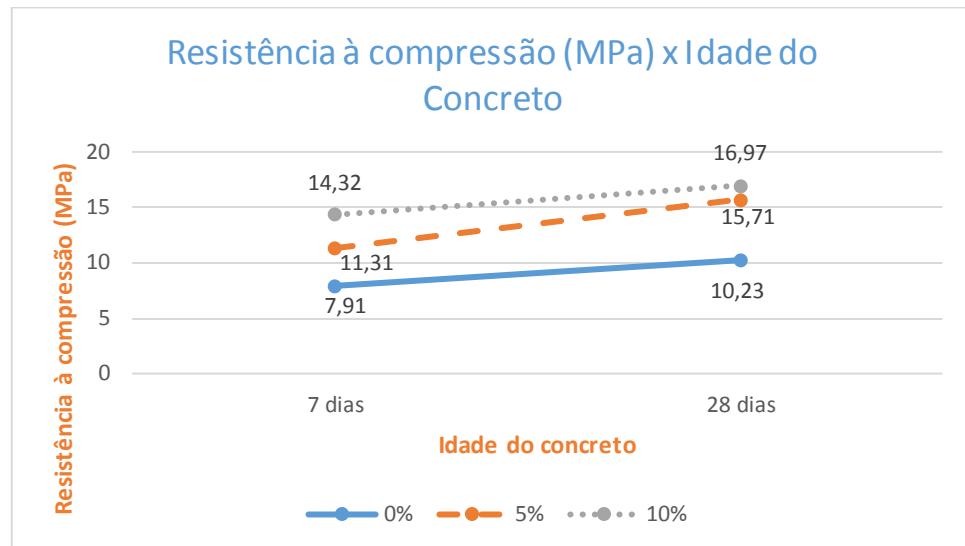
Figura 22: Resistência à compressão



Fonte: Autor, 2019

De acordo com os resultados expostos, pode-se verificar que a resistência à compressão aumentou em todas as idades à medida que o aumentava o teor de substituição do cimento pela cinza da bananeira, como também ao longo do tempo de cura do concreto, conforme Figura 24.

Figura 23: Relação Resistência com a Idade do concreto



Fonte: Autor, 2019

Para a idade de 7 dias, analisando os resultados, verifica-se que a substituição de 5% e 10% do teor de cimento por cinza de bananeira apresentaram resistências maiores do que o concreto com 0% de cinza de bananeira nas proporções de 42,98% e 81,04%, respectivamente.

Aos 28 dias, analisa-se também que a resistência do concreto aumentou gradativamente ao longo do tempo, com aumento do teor de cinza de bananeira. Ao verificar as análises feita por Kannig(2013), o comportamento da cinza da bananeira também se mostrou eficiente no quesito de resistência à compressão em argamassas, à medida que se elevou o teor de adição do resíduo. Percebe-se que a resistência com 5% e 10% aumentou cerca de 53,57% e 65,88%, respectivamente. Apesar de ter ocorrido um aumento de resistência no teor de 10% em relação ao concreto de referência para a idade de 28 dias, percebe-se que houve uma queda na proporção do ganho de resistência em relação à proporção da resistência analisado aos 7 dias, que foi de 81,04%, comparado com o concreto de 0% para a mesma data. Esse ganho de resistência até os primeiros 28 dias pode ter ocorrido devido ao efeito *filler*, que é definido como sendo “o preenchimento dos vazios entre as partículas do cimento por grãos, aumentando assim a compacidade do material e a sua resistência” (NASCIMENTO JUNIOR, 2011).

4.4.2 Absorção de água

A Tabela 21 mostra as análises de absorção de água para cada teor de substituição do cimento pela cinza da bananeira. Percebe-se que para os concretos com teores do resíduo apresentaram menores absorção de água. Verifica-se que para 5% de substituição, houve um decréscimo de 16,79%, enquanto que para o concreto com 10% de resíduo houve a absorção de água foi 22,98% menor.

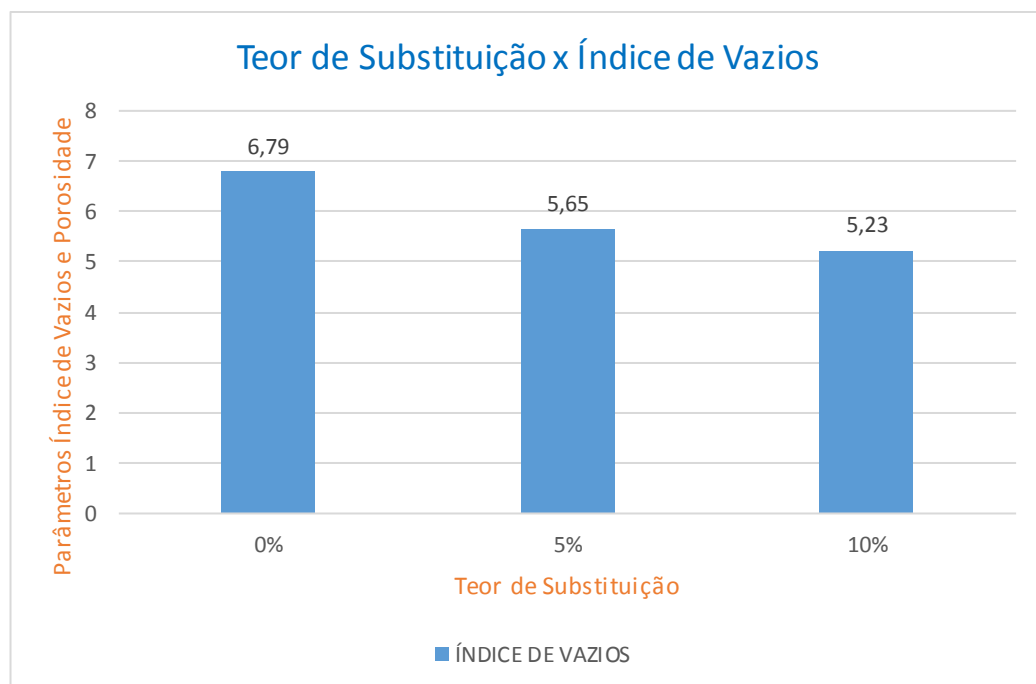
Tabela 20: Absorção de Água

TEOR DE SUBSTITUIÇÃO	ABSORÇÃO DE ÁGUA
0%	6,79
5%	5,65
10%	5,23

Fonte: Autor, 2019

A Figura 25 mostra a representação gráfica dos resultados obtidos do índice de vazios com os diferentes teores analisados.

Figura 24: Ensaio Absorção de Água



Fonte: Autor, 2019

Com os resultados apresentados, verificou-se que a propriedade de absorção de água do concreto apresentou bons desempenhos. Uma das possibilidades da melhoria dessa propriedade é em virtude dos finos da cinza preencherem os vazios do concreto e o teor de ar incorporado é menor e a absorção de água também é reduzida, apresentando melhor desempenho em relação à impermeabilidade (CABRAL e AZEVEDO, 2016).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo foi impulsionado para investigar possíveis melhorias nas propriedades mecânicas dos concretos, atendendo a quesitos econômicos e ambientais. Diante disso, verificou-se a possibilidade e viabilidade da substituição parcial do cimento Portland por resíduos de bananeiras calcinados, tendo em vista que através de pesquisas literárias, observou-se grande potencial pozolânicos nesse resíduo. Dessa forma, a produção de concretos com a utilização da cinza da bananeira em substituição à teores de cimento Portland geraram resultados convincentes, e tiveram várias conclusões, dentre elas destacam-se:

- As caracterizações dos materiais utilizados na pesquisa foram pertinentes para se chegar na dosagem requerida, e garantir a eficiência dos concretos em estudo. Além disso, o beneficiamento da cinza da bananeira também foi imprescindível para garantir a finura do material, tendo em vista que isso colaborou para a eficácia de algumas propriedades dos concretos tais como: Diminuição da porosidade, e diminuição da absorção de água;
- Analisando a consistência dos concretos, foi verificado que à medida que aumentava o teor de substituição do cimento pela cinza da bananeira, houve uma diminuição nos valores de consistência. Esse é um fator que precisa ser corrigido com o aumento da proporção de aditivos plastificantes, a fim de não prejudicar a trabalhabilidade dos concretos. Apesar disso, os resultados obtidos enquadram-se nos limites aceitáveis conforme descrito na NBR NM 67/1998;
- Com as análises da resistência à compressão, verificou-se que à medida que se eleva o teor de substituição do cimento pela cinza da bananeira, a resistência em cada idade analisada para cada teor em estudo, cresce junto também, em um aumento quase linear para as idades analisadas. Ainda acerca disso, pode-se inferir ainda que o teor ótimo para o estudo foi a substituição de 10% do cimento Portland pela cinza da bananeira, em que houve resultados mais expressivos do que os concretos com 0%, e até mesmo com 5%. Além disso, verifica-se ainda que às resistências à compressão foram mais significativas ao longo do tempo. Isso significa que a cinza de bananeira continua reagindo com o Hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2), e formando silicatos de cálcio hidratados (C-S-H), que é responsável por garantir a resistência ao concreto;

Portanto, vale salientar, diante de tudo que foi exposto e com os resultados apresentados, que a substituição do cimento Portland por teores de 5% e 10% de cinza de

bananeira se mostrou bastante eficiente, garantindo melhorias de suas propriedades mecânicas, e bom desempenho diante do que foi analisado, em comparação com concretos sem teor de cinza de bananeira.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Buscando uma melhoria contínua, a fim de aprimorar a pesquisa, sugere-se:

- Realizar a caracterização química e da microestrutura do resíduo da bananeira, como por exemplo: DRX, FRX, MEV.
- Realizar novas formulações com diferentes teores de substituição do cimento Portland pela cinza da bananeira;
- Realizar novos ensaios tecnológicos, físicos e mecânicos além de novas caracterizações químicas e microestrutural nos concretos, no estado fresco e endurecido, a fim de buscar o teor ótimo para as propriedades mecânicas do concreto, a partir de estudos comparativos com os dados já obtidos nesse estudo, e os futuros resultados;

REFERÊNCIAS

AGUIAR, JOSÉ EDUARDO DE. **Avaliação dos ensaios de durabilidade do concreto armado a partir de estruturas duráveis**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2006.

ANJOS, M. A. S.; FONSECA, T. V.; PEDERNEIRAS, L. K. M. Mendonça E C. M.. Avaliação da atividade pozolânica de microssílica cinza densificada e não densificada. **Holos**, [S.L.], v. 7, n. 32, p. 88-99, set. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653/2014**: Materiais pozolânicos - Requisitos. Rio de Janeiro, 2014

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53/2009**. Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5736/2016**. Cimento Portland pozolânico. Rio de Janeiro, 2016.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9833/2009**. Concreto Fresco: Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778/2005**. Argamassa e concreto endurecido – Determinação da absorção de água, índices de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211/2011** Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52/2009**. Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953/2015**. Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2015.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653/2014**. Materiais pozolânicos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5751/1992**. Materiais pozolânicos - Determinação da atividade pozolânica com cal aos sete dias. Rio de Janeiro, 1992.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655/2015**. Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

BAUER, L.a. Falcão. **MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO**. 5. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2012.

BONATO, Marcelle Maia. **DESEMPENHO MECÂNICO E AMBIENTAL DE CONCRETOS E ARGAMASSAS DE CIMENTO PORTLAND COM SUBSTÂNCIAS MINERAIS, ORGÂNICAS E FOTOCATALÍTICAS**. 2014. 189 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais - Pipe, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

BOTASSI, S. S.; CALMON, J. L.; SILVA FILHO, L. C. P.; GAMBALE, E. A., 2008, Salvador/ba. **EFEITO DAS ADIÇÕES NA FLUÊNCIA DO CONCRETO: UMA**

REVISÃO CRÍTICA: ANAIS DO 50º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO. Salvador/ba: Ibracon, 2008. 16 p.

CABRAL, Stênio Cavalier; AZEVEDO, Marina Álvares De; **Materiais alternativos para adição ao cimento Portland.** Revista Vozes dos Vales: Publicações Acadêmicas, Minas Gerais, v. 5, n. 10, out. 2016.

COSSICH, Felipe et al. CONSTRUÇÃO CIVIL E A CERTIFICAÇÃO AMBIENTAL: ESTUDO DA IMPORTÂNCIA DA SUSTENTABILIDADE EM CONSTRUÇÕES CIVIS BASEADO NA CERTIFICAÇÃO LEED. **Enciclopédia Biosfera**, [s.l.], v. 14, n. 25, p.1842-1851, 20 jun. 2017. Centro Científico Conhecer. http://dx.doi.org/10.18677/encibio_2017a152.

DUART, Marcelo Adriano. **Estudo da Microestrutura do Concreto com Adição de Cinza de Casca de Arroz Residual sem Beneficiamento.** 2008. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria - Ufsm, Santa Maria - Rs, 2008.

FONSECA, Gustavo Celso da. **ADIÇÕES MINERAIS E AS DISPOSIÇÕES NORMATIVAS RELATIVAS À PRODUÇÃO DE CONCRETO NO BRASIL: UMA ABORDAGEM EPISTÊMICA.** 2010. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Gustavo Celso da Fonseca, 2010.

GOBBI, Andressa. **ATIVIDADE POZOLÂNICA DE ADIÇÕES MINERAIS PELAS NBR 5751/2012 E NBR 5752/2012: UMA ANÁLISE CRÍTICA A PARTIR DE MÉTODOS COMPLEMENTARES.** 2014. 146 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

KANNING, Rodrigo César. **CARACTERIZAÇÃO DA CINZA DE FOLHA DE BANANEIRA (Musa spp) - AVALIAÇÃO DO POTENCIAL POZOLÂNICO.** 2010. 71 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

KANNING, Rodrigo César. **UTILIZAÇÃO DA CINZA DE FOLHA DE BANANEIRA COMO ADIÇÃO EM ARGAMASSAS DE CIMENTO PORTLAND.** 2013. 172 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais – Pipe, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

LANA, Sâmyla Cotta. **AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE POZOLÂNICA DO RESÍDUO DE CORTE DE ARDÓSIA**. 2017. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

Locatel, Celso Donizete. **Uso do território e agricultura no Rio Grande do Norte: materialidades e estruturas**, *Confins* [En ligne], 34 | 2018, mis en ligne le 07 abril 2018, consulté le 29 octobre 2018. URL : <http://journals.openedition.org/confins/12942> ; DOI : 10.4000/confins.12942

MARÇAL, V. M. et al. Uso da folha de bananeira na alimentação de *piaractus mesopotamicus* na fase de cria. **Enciclopédia biosfera, centro científico conhecer**, Goiânia, v. 14, n. 26, p. 705, 2017.

MEHTA, P. Kumar.; MONTEIRO, Paulo J.M. Concrete: **Microstructure, Properties and Materials. Departamento of Civil and Environmental Engineering**. 3 ed. University of California at Berkeley. California., 2008.

MEHTA, P.k.. NATURAL POZZOLANS. In: **Supplementary Cementing Materials: FOR CONCRETE**. Canada, 1987. p. 3-31.

NASCIMENTO JUNIOR, Agnaldo do. **AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE CONCRETO UTILIZANDO ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE CERÂMICA VERMELHA**. 2011. 65 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Avaliação da Resistência À Compressão de Concreto Utilizando Adição de Resíduos de Cerâmica Vermelha, Feira de Santana-ba, 2011.

NETTO, Rafael Mantuano. **"MATERIAIS POZOLÂNICOS"**. 2006. 149 f. Monografia (Especialização) - Curso de Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2006.

NEVILLE, A.m.. **PROPRIEDADES DO CONCRETO**. 5. ed. Brasil: Bookmen, 2016.

RAISDORFER, Janderson William. **INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO OU SUBSTITUIÇÃO DE ADIÇÕES MINERAIS AO CIMENTO PORTLAND: EFEITOS NA CARBONATAÇÃO, ABSORÇÃO CAPILAR E RESISTIVIDADE DE CONCRETOS**. 2015. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015

POSSAN, Edna et al. ESTUDO DA DURABILIDADE DE CONCRETOS COM ADIÇÃO DE CINZA VOLANTE VIA METODOLOGIA DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA. **Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia**, Medianeira, v. 1, n. 4, p.9-21, 2011.

SIMÃO, Luana Machado. **Utilização do pseudocaule e das folhas de bananeiras na alimentação de ruminantes**. 2017. Disponível em: <<http://www.esalq.usp.br/cprural/noticias/mostra/4694/utilizacao-do-pseudocaule-e-das-folhas-de-bananeiras-na-alimentacao-de-ruminantes.html>>. Acesso em: 16 out. 2018.

SANTOS, S. **Produção e Avaliação do uso de pozolana com baixo teor de carbono obtida da cinza de casca de arroz residual para concreto de alto desempenho**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006, 267p.

SANTOS, Sílvia. **PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO DO USO DE POZOLANA COM BAIXO TEOR DE CARBONO OBTIDA DA CINZA DE CASCA DE ARROZ RESIDUAL PARA CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO**. 2006. 288 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis (sc), 2006

SANTOS, Sílvia. **ESTUDO DA VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ RESIDUAL EM ARGAMASSAS E CONCRETOS**. 1997. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

SALES, Fernando Augusto. **ESTUDO DA ATIVIDADE POZOLÂNICA DE MICROPARTÍCULAS DE VIDRO SODA-CAL, INCOLOR E ÂMBAR, E SUA INFLUÊNCIA NO DESEMPENHO DE COMPOSTOS DE CIMENTO PORTLAND**. 2014. 161 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

SILVA, Keoma Defáveri do Carmo e. **AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE POZOLÂNICA DOS RESÍDUOS DE LÃ DE ROCHA, FIBRA DE VIDRO E LÃ DE VIDRO**. 2016. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016.

SILVEIRA, Adriana Augustin. **A Utilização de cinza de Casca de Arroz com Vista a Durabilidade de Concretos: Estudo do Ataque por Sulfatos**. 1996. 155 f. Dissertação

(Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

RODRIGUES, Publio Penna Firme. **Parâmetros de Dosagem do Concreto. ET-67. 3 ed.** São Paulo: IBRACON - Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998.

RIBEIRO JÚNIOR, Enio. Propriedades dos materiais constituintes do concreto. **Revista Especialize On-line Ipog**, Goiania, v. 1, n. 10, p.1-15, 2015.

VERAS, Luciana Meira. **ESTUDO DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO COM DIFERENTES PROPORÇÕES DE AGREGADOS DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL COM E SEM SATURAÇÃO PRÉVIA.** 2012. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco Pró-reitoria Acadêmica, Recife, 2012.

VIDAL, Maria de Fátima. FRUTICULTURA NA ÁREA DE ATUAÇÃO DO BNB. **Caderno Setorial Etene.** Brasil, p. 1-13. jul. 2018.