UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA
MESTRADO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA

ALLYSON LEANDRO BEZERRA SILVA

PRODUÇÃO DE CONCRETO UTILIZANDO CINZAS DAS INDÚSTRIAS DE CERÂMICA VERMELHA EM SUBSTITUIÇÃO AO AGREGADO MIÚDO

MOSSORÓ-RN
2017

ALLYSON LEANDRO BEZERRA SILVA

PRODUÇÃO DE CONCRETO UTILIZANDO CINZAS DAS INDÚSTRIAS DE CERÂMICA VERMELHA EM SUBSTITUIÇÃO AO AGREGADO MIÚDO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), como requisito para obtenção do título de "Mestre em Manejo de Solo e Água".

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Tavares Gurgel
Coorientador: Prof. Dr. Rafael Oliveira Batista

MOSSORÓ-RN
2017

© 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 n° 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei n° 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.

S586 SILVA, ALLYSON LEANDRO BEZERRA.
PRODUÇÃO DE CONCRETO UTILIZANDO CINZAS DAS INDÚSTRIAS DE CERÂMICA VERMELHA EM SUBSTITUIÇÃO AO AGREGADO MIÚDO / ALLYSON LEANDRO BEZERRA SILVA. - 2017.
83 f. : il.

Orientador: MARCELO TAVARES GURGEL.
Coorientador: RAFAEL OLIVEIRA BATISTA.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em Manejo de Solo e Água, 2017.

1. Areia. 2. Resistência à compressão. 3. Resíduo. 4. Impacto Ambiental. 5. Sustentabilidade. I. GURGEL, MARCELO TAVARES , orient. II. BATISTA, RAFAEL OLIVEIRA , co-orient. III. 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.

ALLYSON LEANDRO BEZERRA SILVA

PRODUÇÃO DE CONCRETO UTILIZANDO CINZAS DAS INDÚSTRIAS DE CERÂMICA VERMELHA EM SUBSTITUIÇÃO AO AGREGADO MIÚDO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), como requisito para obtenção do título de "Mestre em Manejo de Solo e Água".

Linha de Pesquisa: Impactos Ambientais pelo Uso do Solo e da Água.

Aprovada em: 11/05/2017

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcelo Tavares Gurgel – (UFERSA)
Presidente

Prof. Dr. Rafael Oliveira Batista – (UFERSA)
Membro Examinador

Profa. Dra. Marineide Jussara Diniz – (UFERSA)
Membro Examinador

Prof. Dr. Walney Gomes da Silva– (IFRN)
Membro Examinador Externo

A **Olivar Bezerra Lima de Maria** (In Memorian), tio e grande incentivador aos estudos, modelo de homem honesto e trabalhador. Deixou o exemplo de um bom filho e grande afeição à família.

A **Lino Bezerra Lima de Maria** (In Memorian), meu tio amado que deixou eternizado seu sorriso em meu coração. Grande motivador nessa árdua caminhada.

A **Deus**, pelas grandes bênçãos e vitórias alcançadas ao longo da vida.

A **José Américo da Silva**, meu pai, pelo cuidado e empenho em minha criação.

A **Maria das Neves Bezerra da Silva**, minha mãe e amiga, grande responsável pelas minhas conquistas e sonhos concretizados. A força que tanto contei para chegar até aqui.

Aos meus avós **Francisca Conceição e Francisco Américo da Silva** (In Memorian) e **Otacílio Bezerra** e **Dalzinha** que com muito esforço criaram com honestidade e princípios meus pais.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, sempre presente a cada passo e tomada de decisão que me fizeram crescer e ascender na vida. Pela saúde, fortalecendo minha vida quando o cansaço já não me deixava mais caminhar. Pela fé nas recompensas vindouras que todo meu esforço produzirá.

Aos meus pais, José Américo da Silva e Maria das Neves Bezerra da Silva, grandes motivadores e apoiadores dessa empreitada de altos e baixos, mas importante etapa de minha vida.

Aos meus irmãos Max Daniel e Anny Elise que são motivadores de minha busca diária por melhores condições de vida.

Ao orientador Professor Dr. Marcelo Tavares Gurgel, pela compreensão e disponibilidade empenhada para minha orientação.

Ao coorientador Professor Dr. Rafael Oliveira Batista, por ter incentivado minha entrada no mestrado contribuído desde o início para esse trabalho.

Aos professores Dra. Marineide Jussara Diniz e Dr. Walney Gomes da Silva, membros da banca, que engrandeceram esse trabalho com importantes sugestões.

Ao amigo Samuel Rodrigues que é um amigo mais chegado que irmão e é companheiro de todas as horas.

Aos amigos Marcello, Rudna, Adler e Daianni que são amigos do trabalho e da vida.

Aos amigos Flaviano Andrade, Samuel Marques e Gabriel Louiz que foram os companheiros das primeiras pesquisas científicas.

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido pela oportunidade para que eu realizasse este curso de pós-graduação.

Aos alunos de pesquisa, Iolanda, Ducéu, Jéssica e Taynon, que trabalharam comigo no laboratório durante os experimentos.

Ao amigo e técnico do Laboratório de Construção Civil do IFRN, Valteson da Silva Santos, pelo empenho e grande ajuda em todo o tempo da pesquisa experimental.

Ao Bolsista de Iniciação Tecnológica do CITED-UFERSA, Jairo Baraúna, pela contribuição nas discussões dos resultados do trabalho.

A meus amigos e familiares que sempre se mostraram interessados em minha formação profissional.

“Tudo quanto te vier à mão para fazer, faze-o conforme as tuas forças, porque na sepultura, para onde tu vais, não há obra nem projeto, nem conhecimento, nem sabedoria alguma.”

Eclesiastes 9:10a
Bíblia Sagrada

RESUMO

O crescimento da construção civil, setor de grande importância da economia brasileira, faz aumentar a extração de matérias-primas, entre as quais a extração de areia do leito dos rios e consequente dano ambiental. A utilização de cinzas em substituição parcial do agregado miúdo empregado em concretos, não é vista, somente, como o uso de um resíduo, mas como contribuição à economia e à minimização de impactos ambientais. Desta forma, o trabalho analisa o uso de cinzas residuais dos fornos da indústria de cerâmica vermelha da região do Vale do Assú na produção de concretos para construção civil. Nos testes foram empregados as porcentagens de 0%, 10%, 20%, 30% e 40% de cinza na substituição do agregado miúdo. Os resultados de resistência à compressão dos corpos-de-prova de concreto foram submetidosos a análise de variância e ao teste de média tukey a 5% de probabilidade. A análise estatística comprovou que com até a substituição de 40% da areia pela cinza o concreto não perdeu sua resistência característica aos 28 dias. A resistência não alterou, de acordo com a estatística, com o aumento das substituições. A resistência à compressão do concreto foi determinada aos 7 e 28 dias e com os ensaios de resistência à compressão foi comprovada a viabilidade técnica do concreto com cinza oriundas da queima de lenha das indústrias cerâmicas.

Palavras-chave: Areia. Resistência à compressão. Resíduo. Impacto Ambiental. Sustentabilidade.

ABSTRACT

The growth of civil construction, a sector of great importance for the Brazilian economy, increases the extraction of raw materials, among them the extraction of sand from the river bed and consequent environmental damage. The use of ashes in partial replacement of the small aggregate used in concretes is not only seen as the use of a waste, but as a contribution to the economy and to the minimization of environmental impacts. In this way, the work analyzes the use of residual ash from furnaces of the red ceramic industry of the Vale do Assú region in the production of concrete for civil construction. In the tests were used the percentages of 0%, 10%, 20%, 30% and 40% of gray in the replacement of the small aggregate. The results of compressive strength of concrete specimens were submitted to analysis of variance and to the Tukey test at 5% of probability. Statistical analysis showed that with the replacement of 40% of sand by ash, concrete did not lose its characteristic resistance at 28 days. The resistance did not change, according to the statistic, with the increase of the substitutions. The compressive strength of the concrete was determined at 7 and 28 days and with the compressive strength tests the technical feasibility of the concrete with ash from the firewood burning of the ceramic industries was confirmed.

Key words: Sand. Compressive strength. Residue. Environmental impact. Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Macroestrutura do concreto. 19
Figura 2. Mapa com a identificação do trecho monitorado durante o sobrevoo PEMFAA/IDEMA_RIO APODI – MOSSORÓ. 29
Figura 3. Perfil de distribuição dos combustíveis no setor de cerâmica vermelha (em 10^3 tep). 33
Figura 4. Distribuição das empresas cerâmicas no Rio Grande do Norte. 37
Figura 5. Cinza com resíduos coletada no empreendimento (A), cinza passante na peneira 4,75mm e resíduo retido na peneira de 1,2mm (B) e Cinza passante na peneira de 1,2mm (C). 46
Figura 6. Execução do ensaio de DRX. 47
Figura 7. Gráfico para a determinação da relação água/cimento (a/c) em função das resistências do concreto e do cimento aos 28 dias de idade. 52
Figura 8. Betoneira com capacidade para 145 litros. 58
Figura 9. Leitura do abatimento do tronco de cone. 58
Figura 10. Adensamento do concreto nos moldes. 59
Figura 11. Cura por 24 horas em moldes de corpos-de-prova (A) e cura final por imersão em água (B). 60
Figura 12. Retífica elétrica. 60
Figura 13. Prensa mecânica. 61
Figura 14. Curva granulométrica da areia. 63
Figura 15. Curva granulométrica da brita. 64
Figura 16. Curva granulométrica da cinza. 66
Figura 17. Difratograma de raios X da cinza. 67
Figura 18. Efeito da adição de cinza na resistência à compressão do concreto. 70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação do Cimento Portland. 20
Tabela 2. Influência dos tipos de cimento nas argamassas e concretos. 21
Tabela 3. Classificação do agregado graúdo quanto à dimensão. 23
Tabela 4. Desvio-padrão a ser adotado em função da condição de preparo do concreto. 25
Tabela 5. Métodos de lavra de areia e tipos de depósitos minerais. 26
Tabela 6. Distribuição dos combustíveis no setor de cerâmica vermelha (em %). 32
Tabela 7. Distribuição dos combustíveis no setor de cerâmica vermelha (em 10^3 tep). .32
Tabela 8. Impactos ambientais e medidas mitigadoras. 34
Tabela 9. Produtos produzidos pelas cerâmicas do Rio Grande do Norte. 37
Tabela 10. Perfil econômico das empresas cerâmicas do RN. 38
Tabela 11. Resumo dos ensaios e a metodologia utilizada. 44
Tabela 12. Propriedades físicas e mecânicas– CP V ARI RS. 48
Tabela 13. Propriedades químicas– CP V ARI RS. 49
Tabela 14. Dados técnicos do aditivo. 50
Tabela 15. Parâmetros utilizados na dosagem. 51
Tabela 16. Estimativa do consumo de água por metro cúbico de concreto em função do Diâmetro Máximo Característico do Agregado e do abatimento da mistura. 53
Tabela 17. Volume compactado seco (Vpc) de agregado graúdo por metro cúbico de concreto. 54
Tabela 18. Dosagens finais dos concretos obtidos em laboratório. 56
Tabela 19. Consumo de materiais em massa por traço de concreto. 57
Tabela 20. Composição granulométrica da areia. 62
Tabela 21. Caracterização física do agregado miúdo. 63
Tabela 22. Composição granulométrica da brita. 64
Tabela 23. Características físicas da brita granítica. 65
Tabela 24. Composição granulométrica da cinza. 65
Tabela 25. Caracterização física da cinza. 66
Tabela 26. Composição química das cinzas de forno da indústria cerâmica, empregando-se fluorescência de raios X. 69
Tabela 27. Resistências dos Corpos de prova 70

Tabela 28. Resumo da análise de variáveis para a variável resistência à compressão no esquema variável. 71
Tabela 29. Médias das resistências à compressão (RC em MPa) em relação ao tempo de cura 72
Tabela 30. Médias de resistências à compressão (RC em MPa) em relação às proporções de cinza. 72

LISTA DE SIGLAS

UFERSA - Universidade Federal Rural do Semi-Árido

IFRN - Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

IBRACON - Instituto Brasileiro do Concreto

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

MME – Ministério de Minas e Energia

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

BEM – Balanço Energético Nacional

ANEPAC – Associação Nacional de Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland

ACI - American Concrete Institute

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR - Norma Brasileira

CP - Cimento Portland

RS - Resistente a Sulfatos

a/c - Relação água/cimento

Sd - Desvio Padrão

Fck – Resistência característica do concreto

Fcj – Resistência de cálculo

C - Consumo teórico de cimento por m^3 de concreto

MPa – Megapascal

MF – Módulo de Finura

j – Número de dias da idade do concreto

TC – Tempo de cura

T – Tratamento dos percentuais de cinza

RC – Resistência à compressão

P – Proporção de cinza

DMS – Desvio médio simples

Sumário

1. INTRODUÇÃO 16

2. REVISÃO DE LITERATURA 18

2.1 CONCRETO CONVENCIONAL 18

2.2 MATERIAIS CONSTITUINTES 19

2.2.1 Cimento Portland 19

2.2.2 Agregados 21

2.2.2.1 Agregados miúdos 22

2.2.2.2 Agregados graúdos 22

2.2.3 Água de amassamento 23

2.3 DOSAGEM DE CONCRETO 24

2.4 EXTRAÇÃO DE AREIA E SEUS IMPACTOS 25

2.4.1 Impactos ambientais da extração em leitos de rios 27

2.4.2 Dados e produção no Brasil 27

2.4.3 Extração de areia no Rio Grande do Norte 28

2.5 INDÚSTRIA DA CERÂMICA VERMELHA NO BRASIL 30

2.5.1 Consumo energético e uso de lenha 31

2.5.2 Impactos ambientais e cinzas geradas 33

2.5.3 Produção de cerâmica vermelha no Rio Grande do Norte 36

2.6 RESÍDUOS SÓLIDOS E RECICLAGEM 38

2.7 O USO DAS CINZAS EM ARGAMASSAS E CONCRETOS 40

3. MATERIAL E MÉTODOS 43

3.1 PROGRAMA EXPERIMENTAL 43

3.1.1 Levantamento de dados e coleta das cinzas 44

3.1 MATERIAIS UTILIZADOS 44

3.2.1 Cinzas de lenha provenientes de indústrias cerâmicas 45

3.2.1.1 Peneiramento da cinza 45

3.2.1.2 Caracterização física 46

3.2.1.3 Caracterização mineralógica 47
3.2.1.4 Caracterização química 48
3.2.2 Cimento 48
3.2.3 Agregado miúdo 49
3.2.4 Agregados graúdos 49
3.2.5 Água de amassamento 50
3.2.6 Aditivo 50
3.3 DOSAGEM DOS CONCRETOS 51
3.3.1 Traço padrão 51
3.4 METODOLOGIA DO ESTUDO EXPERIMENTAL 57
3.4.1 Mistura dos materiais 57
3.4.2 Determinação da trabalhabilidade 58
3.4.3 Moldagem dos corpos-de-prova 59
3.4.4 Cura 59
3.4.5 Regularização de topos de corpos-de-prova 60
3.4.6 Ensaio de resistência à compressão 61
3.5. DELINEAMENTO E ANÁLISE ESTATÍSTICA 61
4. RESULTADOS E DISCUSÃO 62
4.1. CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS 62
4.1.1 Agregado miúdo 62
4.1.2 Agregado graúdo 64
4.2. CARACTERIZAÇÃO DA CINZA 65
4.2.1 Caracterização física 65
4.2.2 Análise da Difratometria de Raios X da cinza 67
4.2.3 Análise Química da cinza através da Fluorescência de Raios X 68
4.3 ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DOS CONCRETOS ENDURECIDOS 70
4.3.1 Análises da Resistência à Compressão 70
4.4 SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL 73

5. CONCLUSÃO 75

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....76

LITERATURA CITADA 77

1. INTRODUÇÃO

Os resíduos gerados pelos diversos processos produtivos acarretam problemas ambientais e sociais, que preocupam a sociedade nas últimas décadas. Diariamente milhares de toneladas de resíduos sólidos são descartados nos aterros sanitários, controlados e comuns. Dentre estes, encontram-se resíduos sólidos passíveis de reciclagem.

A construção civil é um setor com grande capacidade de absorver resíduos em seus processos. Lima (2011) substituiu parte do cimento Portland por cinza de casca de arroz em concreto e avaliou sua durabilidade e resistência. Wang et al. (2017) obteve melhorias significativas na durabilidade do concreto contendo cinzas volantes e sílica contra combinado congelamento-descongelamento e ataque de sulfato. Borja (2011) estudou o efeito da adição de argila expandida e adições minerais na formulação de concretos leves. Aksogan et al. (2016) utilizou as cinzas de caule de milho, palha de trigo e de talo de girassol na substituição parcial do agregado e do cimento para uma maior durabilidade do concreto. Esses estudos foram sendo realizados com o objetivo de substituir as matérias-primas da construção civil (cimento e agregados) por resíduos industriais e urbanos.

Fernandes (2015) trabalhando com cinza do bagaço de cana-de-açúcar como adição mineral em concretos para verificação da durabilidade concluiu que o concreto confeccionado com o teor de 20% de cinza obteve valores de resistência à compressão e de resistência à tração por compressão diametral semelhantes ao traço de referência e também melhor desempenho (menor desgaste superficial) quando comparado com o traço de referência.

A tecnologia do uso das cinzas na construção civil, investigada com êxito por vários autores, serviu de embasamento para o desenvolvimento da pesquisa com a cinza do bagaço da cana-de-açúcar, na busca da consolidação deste produto como atual e viável na produção de elementos para construção civil. Dessa forma, os resultados da pesquisa propicia evitar os problemas consequentes da sua má disposição, utilizando-a como matéria-prima no desenvolvimento de tecnologias alternativas para a construção civil e para a infraestrutura das cidades (Bessa, 2011). O autor ainda conclui que segundo os atributos físicos, a cinza pode ser equiparada a areia natural.

Considerando a quantidade e distribuição de cinza de lenha, aliada ao uso de outras cinzas já consagradas como adições minerais em concreto de cimento Portland como a cinza volante e a cinza de casca de arroz, torna-se importante a investigação deste resíduo de forma a verificar se o mesmo apresenta características pozolânicas, cimentícias e/ou de caráter inerte ao ser adicionado ao concreto, melhorando suas propriedades, seja do ponto de vista de resistência mecânica e, ou durabilidade, caracterizando-se como uma adição mineral ou agregado (Vaske, 2012).

O concreto produzido com cinza gerada nas indústrias cerâmicas em substituição parcial do agregado miúdo pode significar uma economia significativa da areia utilizada numa produção convencional de concreto.

O polo cerâmico possui grande importância para a economia do Estado do Rio Grande do Norte, sendo sua produção presente em quase todo o estado. A concentração de empresas está em três grandes regiões que são: Região do Seridó, Vale do Assú e Região de Natal. Dados do SEBRAE (2012) indicam que o pólo cerâmico estadual produza mais de 100 mil peças mensalmente, distribuídos nas 186.

As cinzas residuais dos fornos ficam na maioria dos casos expostas ao ar livre e, portanto prejudicando o ambiente. Com os resultados positivos dessa pesquisa esse resíduo será incorporado à construção civil e, portanto terá uma destinação adequada. Logo, o consumo de areia extraída dos leitos dos rios será menor em virtude de ter sido substituída em partes pelos resíduos da cinza.

Mesmo com várias pesquisas com incorporação de resíduos à construção civil o trabalho se destaca pela inovação no tocante ao tipo de resíduo utilizado que é abundante na região e pelo caráter ambiental que contrapõe a extração de areia nos leitos dos rios que é também predominante na região foco do estudo.

Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo geral avaliar a viabilidade técnica do uso das cinzas geradas em fornos de indústrias de cerâmica vermelha em substituição ao agregado miúdo na produção de concreto de cimento Portland. Como objetivos específicos apresentam-se: a) Caracterizar a cinza e os materiais utilizados no traço de concreto; b) Avaliar o desempenho de concretos com substituição parcial de areia pela cinza em relação à resistência à compressão; c) Determinar a resistência à compressão aos 28 dias de corpos-de-prova de concretos dosados a partir de traços finais obtidos por ensaios; e d) Analisar os principais benefícios ambientais da incorporação de cinzas dos fornos de indústrias cerâmicas no concreto convencional.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CONCRETO CONVENCIONAL

O concreto é um material que possui um meio contínuo aglomerante, onde estão mergulhados partículas ou fragmentos de agregados (Mehta & Monteiro, 2014). É a mistura simples de cimento, areia, pedra e água, onde o cimento é o aglomerante, já que possui a propriedade de ser ligante, pois permite que a areia e pedra, que são os agregados, formem uma mistura homogênea, e que quando seca se torna sólida.

Algumas razões justificam a utilização da mistura entre cimento Portland, areia, brita e água ao invés do uso exclusivo do cimento. Se fosse utilizada somente a mistura entre cimento e água, o custo empregado seria muito elevado. Há também problemas técnicos envolvidos, como a elevada retração da pasta, alto consumo de água, maior fissuração e, também, o alto calor de hidratação ocasionado pelo elevado consumo de cimento (Mehta & Monteiro, 2014).

Esse material construtivo é amplamente disseminado, podendo ser encontrado em todas as casas de alvenaria, em rodovias, em pontes, nos edifícios mais altos do mundo, em torres de resfriamento, em usinas hidrelétricas e nucleares, em obras de saneamento e até em plataformas de extração petrolífera móveis. É estimado que, anualmente, são consumidos 11 bilhões de toneladas de concreto, onde segundo a Iberoamericana de Hormigón Premesclado (FIHP), dá um consumo de 1,9 toneladas de concreto por habitante por ano (Pedroso, 2009).

O concreto é um material obtido por meio da mistura de agregado com areia para preencher os espaços porosos. O espaço, que ainda resta na areia, é então preenchido com uma “pasta” de cimento e água. O cimento passa por processo de hidratação e atua como agente ligante no concreto (Van Vlack, 1970).

Considerado como produto básico da indústria da construção civil, o concreto de cimento portland utiliza, em média, por metro cúbico, 42% de agregado graúdo (brita), 40% de agregado miúdo (areia), 10% de cimento, 7% de água e 1% de aditivos químicos. Como se observa, cerca de 80% do concreto é constituído de agregados. Decorre daí a importância do uso de agregados com especificações técnicas adequadas

(Valverde, 2001). Na Figura 1 é apresentada uma amostra de concreto, detalhando sua macroestrutura.

Figura 1. Macroestrutura do concreto.

Fonte: Autoria Própria (2015).

2.2 MATERIAIS CONSTITUINTES

2.2.1 Cimento Portland

O cimento Portland foi criado pelo construtor inglês, Joseph Aspdin, que o patenteou em 1824. Nessa época, era comum na Inglaterra construir com pedra de Portland, uma ilha situada no sul desse país. Como o resultado da invenção de Aspdin se assemelhasse na cor e na dureza a pedra de Portland, ele registrou esse nome em sua patente. Por isso que o cimento é chamado cimento Portland (ABCP, 2012).

Cimento Portland é um material obtido pela pulverização de clinker, o qual é composto de silicatos hidráulicos de cálcio havendo, também, certa quantidade de sulfato e adições de algumas substâncias que modificam suas propriedades ou facilitam seu emprego. O clinker possui natureza granulosa, o qual se origina da calcinação da mistura de materiais, conduzida até a temperatura adequada (Bauer, 2013). Nada mais é que um pó fino com propriedades aglomerantes hidráulicos aglutinantes que endurece sob ação da água.

Existem 11 tipos de cimento disponíveis no Brasil, todos eles especificados pela Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP e normatizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), com norma específica. Observa-se na Tabela 1 a classificação e tipos de Cimento Portland disponíveis no país. Na Tabela 2 encontra-se a influência desses tipos de cimento nas argamassas e em concretos.

Tabela 1. Classificação do Cimento Portland.

Tipo de Cimento Portland		Sigla	Classe
Cimento Portland Comum (NBR 5732)	Cimento Portland Comum	CP I	25
			32
			40
	Cimento Portland com adição	CP I-S	25
			32
			40
Cimento Portland Composto (NBR 5732)	Cimento Portland composto com escória	CP II-E	25
			32
			40
	Cimento Portland composto com pozolana	CP II-Z	25
			32
			40
	Cimento Portland composto com Filer	CP II-F	25
			32
			40
Cimento Portland de alto forno (NBR 5735)		CP III	25
			32
			40
Cimento Portland pozolânico (NBR 5736)		CP IV	25
			32
Cimento Portland de alta resistência inicial (NBR 5733)		CP V-ARI	-
Cimento Portland Resistente a sulfatos (NBR 5737)		-	25
			32
			40

Continuação da Tabela 1…

Cimento Portland com baixo calor de hidratação (NBR 13116)		-	25
			32
			40
Cimento Portland branco estrutural (NBR 12989)		CPB	25
			32

Fonte: ABCP (2012).

Tabela 2. Influência dos tipos de cimento nas argamassas e concretos.

Propriedade	Tipo de cimento Portland						
	Comum e Composto	Alto-forno	Pozolânico	Alta Resistência Inicial	Resistente aos Sulfatos	Branco Estrutural	Baixo Calor de Hidratação
Resistência à compressão	Padrão	Menor nos primeiros dias e maior no final da cura	Menor nos primeiros dias e maior no final da cura	Muito mais nos primeiros dias	Padrão	Padrão	Menor nos primeiros dias e padrão no final da cura
Calor gerado na reação do cimento com a água	Padrão	Menor	Menor	Maior	Padrão	Maior	Menor
Impermeabilidade	Padrão	Maior	Maior	Padrão	Padrão	Padrão	Padrão
Resistência aos agentes agressivos (água do mar e de esgotos)	Padrão	Maior	Maior	Menor	Maior	Menor	Maior
Durabilidade	Padrão	Maior	Maior	Padrão	Maior	Padrão	Maior

Fonte: ABCP (2012).

2.2.2 Agregados

Segundo a NBR 9935 (ABNT, 2011), agregado é definido como material granular, geralmente inerte, com dimensões e propriedades adequadas para a preparação de argamassa ou concreto.

Os agregados podem ser classificados levando-se em conta a origem, a densidade e o tamanho dos fragmentos (Iervolino, 2010).

Quanto à origem, os agregados podem ser classificados como natural ou artificial. Os de origem natural são encontrados na natureza, os quais podem ser prontamente utilizados ou necessitados de pequeno processamento. Dois exemplos de agregado comuns são a areia lavada e o seixo rolado extraído de rios. O agregado que é extraído da natureza e em seguida processado industrialmente com o objetivo de atingir propriedades específicas são classificados como artificial. Pode-se citar como agregados artificiais a pedra britada (calcária ou granítica), pó de pedra (areia artificial), vermiculita e outros (Rodrigues, 1998).

De acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009), os agregados podem ser classificados quanto ao tamanho, como agregado graúdo, dimensão mínima superior a 4,8 mm, e agregado miúdo, dimensão máxima inferior a 4,8 mm.

Considerando a densidade, existem agregados pesados (barita, magnetita); agregados normais (brita, areia, cascalho); agregados leves (pedra-pomes, vermiculita) (Iervolino, 2010).

Uma forma de mensurar a importância socioeconômica dos agregados é o fato destes representarem entre 70% e 80% do volume do concreto, sendo este material de importância para humanidade (Bauer, 2013).

2.2.2.1 Agregados miúdos

Através da granulometria, o areia pode ser classificada em areia grossa, média ou fina. A mesma deve ser isenta de sais, óleos, graxas, materiais orgânicos, barro, detritos e outros. As areias da praia contém um alto teor de sais e por isso devem ser evitadas, bem como areias com matéria orgânica, as quais provocam trincas nas argamassas e prejudicam a ação química do cimento (Bueno, 2000).

As areias mais utilizadas para a produção do concreto são originárias de rios e são comumente conhecidas como areia lavada. Essas areias devem possuir grãos grandes e angulosos (areia grossa) e deve ser limpa sem muitos materiais finos (Bueno, 2000).

De acordo com a NM 248 (ABNT, 2003), que trata da determinação da composição granulométrica dos agregados, os tipos de areia mais comumente encontrados no mercado são: a) Areia grossa (2,0 mm – 4,8 mm); b) Areia média (0,42 mm – 2,0 mm); e c) Areia fina (0,05 mm – 0,42 mm).

Segundo Bauer (2013), os agregados miúdos recebem classificação quanto ao módulo de finura (MF), sendo grossa para $2,90 < MF < 3,50$, média para $2,20 < MF < 2,90$ e fina para $1,55 < MF < 2,20$.

2.2.2.2 Agregados graúdos

A brita para construção civil se origina do processo de britagem de vários tipos de rochas. Esse termo é utilizado para denominar fragmentos de rochas duras, obtidas a partir de processos de beneficiamento de blocos maiores, extraídos de maciços rochosos com auxílio de explosivos. É um material que possui ampla e diversificada aplicação na indústria da construção civil. São empregadas na produção do concreto, pavimentação,

edificações, ferrovias, túneis, barragens, saneamento básico e outros (Tanno & Sintoni, 2003).

As rochas utilizadas para produção de brita são, fundamentalmente, granitos e gnaisses, seguidos por calcários, dolomitos, basaltos e diabásios, normalmente utilizados em regiões em que os primeiros não são abundantes (Serna et al., 2007). A classificação presente na Tabela 3 se refere às dimensões normativas e comerciais, aplicando-se a todos os tipos de britas produzidos no país.

Tabela 3. Classificação do agregado graúdo quanto à dimensão.

Pedra britada numerada	**NBR-7211/NBR7225**		**Comercial**	
	Malha da Peneira (mm)			
Número	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
Brita 0	-	-	4,75	9,5
Brita 1	4,75	12,5	9,5	19,0
Brita 2	12,5	25,0	19,0	38,0
Brita 3	25,0	50,0	38,0	50,0
Brita 4	50,0	76,0	50,0	76,0
Brita 5	76,0	100,0	-	-

Fonte: Bauer (2013).

2.2.3 Água de amassamento

A água é um ingrediente fundamental para a produção de concretos. Contudo, é preciso que haja dosagem para que a mesma não venha a ser usada em quantidade maior que o necessário, podendo assim haver influência negativa na resistência à compressão.

Gomes & Barros (2009) afirmam que a quantidade de água de uma mistura é dividida basicamente em quatro partes: uma para hidratação do cimento, outra para a absorção e adsorção dos agregados e materiais finos, uma para preencher a porosidade do esqueleto granular e outra para garantir a fluidez do concreto.

A água destinada a mistura do concreto deve obedecer a prescrições normativas da NBR 15900 (ABNT, 2009), e deve obrigatoriamente ser isenta de teores prejudiciais e de substâncias estranhas, que possam prejudicar as reações químicas, necessárias para que o concreto adquira e desenvolva as propriedades desejadas.

2.3 DOSAGEM DE CONCRETO

O proporcionamento de materiais do concreto, também conhecido por dosagem do concreto, conforme relata Metha & Monteiro (1994), é um processo através do qual é obtida a melhor proporção entre cimento, agregados, água e aditivos para a produção de concretos que atendam a certas especificações prévias. A consistência (trabalhabilidade) do concreto fresco e a resistência do concreto endurecido normalmente são os requisitos mais importantes. Outro propósito do proporcionamento dos concretos é a redução de custos, com escolha de materiais que satisfaçam os requisitos de desempenho mínimo e que estejam disponíveis no mercado a preços razoáveis.

A NBR 12655 (ABNT, 2015), no seu item 5.6.1, diz que o estudo de dosagem de concreto deve ser realizado com os mesmos materiais e condições semelhantes àquelas da obra, tendo em vista as prescrições do projeto e as condições de execução. O cálculo da dosagem do concreto deve ser refeito cada vez que for prevista uma mudança de marca, tipo ou classe do cimento, na procedência e qualidade dos agregados e demais materiais.

A dosagem do concreto é realizada utilizando-se a resistência de dosagem determinada por meio do controle estatístico do concreto ensaiado em corpos-de-prova padronizados. A NBR 6118 (ABNT, 2014) estabelece que o limite máximo de corpos-de-prova com resistência inferior ao fck (exigência especificada no projeto estrutural) é 5%. Quando não se tem conhecimento destes ensaios prévios e utilizando-se a tabela de Gauss e métodos estatísticos, tem-se a resistência de dosagem aos j dias, aplicando-se a Equação 1, com Sd determinado pelo sistema de controle adotado na produção do concreto.

$$f_{cj} = f_{ck} + 1{,}65 S_d \qquad (1)$$

Onde:

f_{cj}- é a resistência média do concreto à compressão, prevista para a idade de j dias, em MPa;

f_{ck}- é a resistência característica do concreto à compressão, em MPa;

S_d- é o desvio-padrão da dosagem, em MPa.

O cálculo da resistência de dosagem do concreto depende, entre outras variáveis, da condição de preparo do concreto, que estão normatizadas na NBR 12655 (ABNT, 2015) no seu item 5.6.3.1 e definidas a seguir:

a) condição A (aplicável a todas as classes de concreto): 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 C20): 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;
c) condição C (pode ser aplicada 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, conforme disposto na NBR NM 67 ou outro método normalizado.

Deve se adotar para o cálculo da resistência de dosagem o valor do desvio-padrão a ser adotado em função da condição de preparo do concreto apresentado na Tabela 4.

Tabela 4. Desvio-padrão a ser adotado em função da condição de preparo do concreto.

Condição de preparo do concreto	**Desvio-Padrão (MPa)**
A	4
B	5,5
C	7,0

Fonte: NBR 12655 (ABNT, 2015).

2.4 EXTRAÇÃO DE AREIA E SEUS IMPACTOS

O crescente aumento do consumo de areia leva a intensificação da extração das jazidas existentes e a proliferação de novas mineradoras que na maioria das vezes trabalham na ilegalidade (Pfaltzgraff, 1994).

A atividade de extração de areia pode ser dividida em três fases: 1ª fase: de implantação, da qual fazem parte os processos de registro da extração de areia, aquisição de fatores de produção, contratação de mão de obra, abertura da rede viária, remoção da vegetação e instalação de estruturas para a extração de areia; 2ª fase: de operação, a qual abarca os processos de retirada do material mineral, estocagem, drenagem, peneiramento, carregamento e transporte; e 3ª fase: de desativação, a qual

compreende os processos de retirada das estruturas de extração de areia e recuperação e reabilitação da área (Lelles, 2005)

Na Tabela 5 estão apresentados os métodos de lavra de areia e os tipos de depósitos minerais.

Tabela 5. Métodos de lavra de areia e tipos de depósitos minerais.

MÉTODO	DEPÓSITOS MINERAIS	SITUAÇÃO
Dragagem	Sedimentos inconsolidados quaternários	Leito de rio
		Cava submersa (Leito desviado de rio)
Desmonte Hidráulico	Planícies fluviais, coberturas e sedimentos inconsolidados quaternários	Cava seca (Leito desviado de rio)
	Rochas sedimentares cenozóicas	Cava seca
	Manto de alteração de rochas pré-cambrianas	

Fonte: ANEPAC (2017).

A extração em leito de rio consiste na dragagem dos sedimentos ativos existentes nos leitos dos rios, em profundidades não muito elevadas. A dragagem é feita através de bombas de sucção instaladas sobre barcaças ou flutuadores. As bombas de sucção são acopladas às tubulações que efetuam o transporte da areia na forma de polpa até os silos. O processo da extração por este método é semelhante ao método de cava submersa (ANEPAC, 2017).

O registro da extração de areia é feito pelo regime de licenciamento. Este regime é disciplinado pela Lei Federal no 6.567, de 24 de setembro de 1978, que dispõe sobre o aproveitamento das substâncias minerais da classe II. A licença deve ser expedida pela autoridade administrativa local, com validade somente após o seu registro no Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) e sua publicação no Diário Oficial da União. Além do regime de licenciamento, a extração também deve obter sua licença ambiental, para regularizar o empreendimento minerário (Lelles, 2005).

2.4.1 Impactos ambientais da extração em leitos de rios

A extração de areia tem sido, com cada vez mais frequência, alvo de matérias jornalísticas e denúncias nos meios de comunicação, por causa dos transtornos que vem causando, às comunidades e ao meio ambiente nas áreas onde se instala.

O grande volume de material que deve ser extraído para tornar a atividade lucrativa e a utilização de métodos de extração inadequados criam problemas irreversíveis, que provocam alterações no modelado do relevo, pela destruição da vegetação que recobre as superfícies arenosas, eliminação da fauna local, alterações na geometria dos cursos de água e alterações climáticas (Pfaltzgraff, 1994).

Lelles (2005) identificou 49 impactos ambientais para o empreendimento de extração de areia em cursos d'água através do Método da Listagem de Controle ("Check-List"). Do total de impactos, apenas 13 (26,53%) se mostraram positivos, sendo dois para a etapa de implantação, três para a etapa de operação, seis para a etapa de desativação e dois em mais de uma etapa. Portanto, foram listados 36 (73,47%) impactos ambientais negativos, sendo 3 exclusivos para as fases de implantação, operação e desativação, respectivamente, restando 13 impactos que ocorrem em mais de uma etapa (Lelles, 2005).

A mineração de areia é uma prática necessária, porém altera a paisagem do lugar minerado e degrada o meio ambiente, logo é imprescindível a busca de aperfeiçoamentos para extração desses materiais, cuja importância econômica e social é indiscutível, de forma a se conseguir uma integração, sem ferir a paisagem e o meio ambiente (Vieira, 2015).

2.4.2 Dados e produção no Brasil

Com relação às reservas, como a areia natural advém de processos intempéricos, seguidos ou não de outros processos do ciclo das rochas, como erosão, transporte e deposição, que se estabelecem de maneira constante, em todo o planeta, é recurso abundante (DNPM, 2014).

No Brasil, 70% da areia são produzidos em leito de rios. No Estado de São Paulo, a relação é diferente. 45% da areia produzida são provenientes de várzeas, 35%, de leito de rios, e o restante, de outras fontes (MME, 2009).

Dessa forma, a areia é matéria-prima utilizada em larga escala na construção civil. Os preços médios praticados "variam entre R$ 30,37t e R$ 33,49t, sendo os maiores preços cotados para os materiais de maior granulometria, oriundos dos areais localizados mais a montante do rio", conforme dados apurados pelo Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM (2014).

O uso da areia para construção acha-se dividido entre os subsetores de revenda (lojas de materiais de construção), concreto pré-misturado, fabrico de pré-moldados de concreto, argamassa, concreto asfáltico e material para compor a base/sub-base de rodovias. Segundo o site da Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil (ANEPAC), o consumo de areia está dividido em 35% para argamassa, 20% concreteiras, 15% construtoras, 10% pré-fabricados, 10% revendedores/lojas, 5% pavimentadoras/usinas de asfalto, 3% órgãos públicos e 2% outros.

2.4.3 Extração de areia no Rio Grande do Norte

As informações e dados oficiais sobre a extração de areia praticamente inexistem no estado do Rio Grande do Norte. Mesmo nas publicações por parte do governo federal e seus ministérios o estado é pouco citado em escassos levantamentos. O que existem são matérias jornalísticas que na maioria das vezes só trazem denúncias sobre impactos ambientais provocados pela extração em determinados rios ou jazidas. Existem alguns poucos artigos sobre o tema, porém voltados para regiões específicas ou de análises das areias extraídas.

O IDEMA publicou no ano de 2009 um Relatório de Sobrevoo Sobre o Rio Apodi-Mossoró (Figura 2) que fica na região oeste do estado, onde através de imagens aéreas traz constatações sobre a extração de areia ao longo do rio.

Figura 2. Mapa com a identificação do trecho monitorado durante o sobrevoo PEMFAA/IDEMA_RIO APODI – MOSSORÓ.

Fonte: IDEMA (2009).

O relatório conclui afirmando que há presença de extração de areia no leito do rio em muitos pontos do trecho estudado.

Outro documento localizado é o Levantamento da Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Norte realizado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) e publicado em 2010. O livro possui 231 páginas, sendo que em apenas 8 vezes aparece menção ao uso da areia para construção civil e somente duas dessas que cita a extração de areia. Logo, não traz informações sobre jazidas, rios em que essa atividade é explorada ou tipos de extração.

Vieira et al. (2015) faz uma avaliação da exploração de areia no município de Ipanguaçu-RN, onde a jazida de areia avaliada está localizada na Zona Rural do município. O depósito mineral é classificado como aluvionar, proveniente da deposição

de sedimentos do Rio Piranhas-Açu. Segundo os autores não foram obtidas informações sobre o processo de licenciamento anterior a fase de extração da areia. Segundo estes mesmos autores a areia lavada oriunda do processo final de exploração é comercializado pelos estados vizinhos como Paraíba e Ceará, sendo que a maior demanda da mercadoria é do Rio Grande do Norte.

2.5 INDÚSTRIA DA CERÂMICA VERMELHA NO BRASIL

A cerâmica vermelha engloba materiais que são frequentemente utilizados na construção civil, como blocos, telhas, tijolos maciços e vazados. Possui a nomenclatura "vermelha" devido à presença de compostos ferrosos que desenvolvem coloração avermelhada. No Brasil, a maior parte da cerâmica vermelha é produzida por empresas de pequeno e médio porte (SEBRAE, 2015).

A localização geográfica das fábricas é determinada principalmente por dois fatores: a localização da jazida, onde há maior disponibilidade de matéria-prima e a proximidade dos centros consumidores (MME, 2011).

Existe divergência nos dados sobre o setor de cerâmica no Brasil. O motivo dessa diferença nos dados deve-se ao alto índice de informalidade existente em toda cadeia de construção civil do país, o que dificulta maior precisão nos dados do setor.

Segundo o SEBRAE (2015), a indústria já registra 300 mil empregados diretos e 1,5 milhão de empregos indiretos. O número de empresas já é de 9.071 pequenas empresas e olarias que compõem o setor.

Segundo dados do Ministério de Minas e Energia (MME, 2011), estimou-se que em 2011 a produção de cerâmica vermelha foi de 84,8 bilhões de peças, sendo que 70% dessa produção correspondem a blocos e tijolos, e 30% a telhas. Estimando-se, em 2011, a produtividade média de 25 mil peças / operário / mês, com variações regionais, e faturamento de R$ 18,5 bilhões e a representatividade em torno de 4,8% da construção civil (MME, 2011). De acordo com a Associação Nacional da Indústria Cerâmica - ANICER (2015) a indústria cerâmica é responsável por mais de 90% das alvenarias e coberturas construídas no Brasil.

2.5.1 Consumo energético e uso de lenha

A indústria de cerâmica vermelha consome combustível em veículos e máquinas e, principalmente, nos processos de secagem e queima do produto. O processo de queima é considerado a principal etapa da fabricação de produtos cerâmicos, envolvendo, no geral, mais de 95% de toda a energia consumida. Os outros 5% estão associadas à secagem dos produtos (ANICER & SEBRAE, 2014).

A queima de lenha e biomassa, ainda, é o combustível mais utilizado pelas indústrias cerâmicas e olarias no Brasil, essa fonte energética gera em torno de 3% de cinzas (Borlini et al., 2005). Os milhões de toneladas de cinzas produzidas são, geralmente, descartadas sem um mínimo de controle ambiental. A cinza gerada nesse processo é um resíduo sólido de classe II-B, segundo a NBR 10.004 (ABNT, 2004) e oferece risco de contaminação ao solo, aos cursos de água, ao ar pela parte dispersa na atmosfera, além de riscos à saúde humana, devido a sua toxidade.

Considerando dados do último Balanço Energético Nacional (EPE, 2016), ano base de 2015 do Ministério de Minas e Energia, o consumo nacional de lenha foi de 79,10 milhões de toneladas, e para uma geração de cinzas de 3%, tem-se 2,37 milhões de toneladas de cinzas, representando uma quantidade considerável de resíduo gerado. A produção de cerâmica consome 7,46 milhões de toneladas desse valor total, assim o equivalente a quase 10% de toda lenha consumida no país. A indústria da cerâmica vermelha é um grande consumidor de energia, sendo de uso intensivo de lenha. Os principais tipos de lenha usados são a lenha nativa e os resíduos de madeira (cavaco, serragem, briquetes e outros resíduos) (MME, 2011).

Os dados do Balanço Energético Nacional - BEN 2016 (Tabela 6), realizado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) tendo por base o ano de 2015 para o setor de cerâmica, a lenha foi responsável por 50,1% da energia utilizada, seguida pelo gás natural, com 28,7%. Na Tabela 7 está apresentada a distribuição dos combustíveis no setor de cerâmica vermelha, onde se verifica que a proporção de utilização das principais fontes de energia permanece relativamente constante. Ademais, pode ser percebida uma tendência de diminuição da utilização de óleo combustível e o aumento da utilização do gás natural. Na Figura 3 está apresentado o perfil de distribuição dos combustíveis no setor de cerâmica vermelha.

Tabela 6. Distribuição dos combustíveis no setor de cerâmica vermelha (em %).

Fonte	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**
Lenha	49,9	49,1	50,6	50,4	50,7	50,5	51,2	51,9	52,3	50,1
Gás Natural	25,5	25,0	24,0	23,7	25,4	27,3	27,4	26,7	26,4	28,7
Óleo Combustível	8,1	8,1	7,7	7,8	6,6	2,6	2,3	2,5	2,0	1,3
Eletricidade	7,8	7,4	7,1	7,3	7,1	7,2	7,5	7,5	7,4	7,3
Outras	8,7	10,4	10,6	10,8	10,1	12,3	11,6	11,4	11,9	12,6
TOTAL	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**

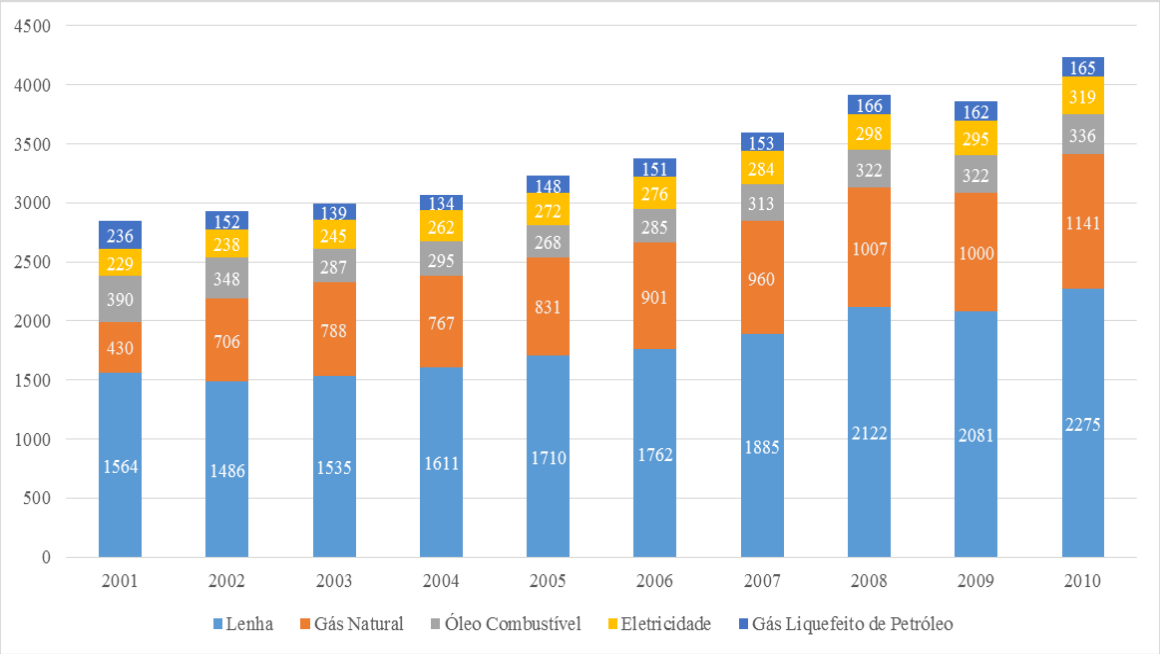
Fonte: EPE (2016).

Tabela 7. Distribuição dos combustíveis no setor de cerâmica vermelha (em 10^3 tep).

Fonte	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**
Gás Natural	901	960	1.007	977	1.141	1.288	1.314	1.354	1.339	1.324
Carvão Vapor	42	33	44	31	30	52	35	39	50	62
Lenha	1.762	1.885	2.122	2.081	2.275	2.387	2.458	2.631	2.657	2.312
Outras Recuperações	32	35	53	53	58	61	62	65	66	59
Óleo Diesel	8	7	8	8	6	31	28	24	26	24
Óleo Combustível	285	313	322	322	295	125	113	125	102	59
Gás Liquefeito de Petróleo	151	153	166	176	165	169	161	163	171	173
Outras de Petróleo	76	170	173	178	195	270	275	289	292	262
Gás Canalizado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Eletricidade	276	284	298	301	319	342	359	380	376	339
Outras não Especificadas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	**3.533**	**3.841**	**4.1193**	**4.128**	**4.485**	**4.724**	**4.803**	**5.069**	**5.079**	**4.614**

Fonte: EPE (2016).

Figura 3. Perfil de distribuição dos combustíveis no setor de cerâmica vermelha (em 10^3 tep).



*tep = toneladas equivalentes de petróleo, onde 01 tep = 41,87 x 1 bilhão J = 10 x 10 bilhões cal = 11,63 MWh

Fonte: EPE (2016).

Para o Sebrae (2008), a lenha apresenta baixo rendimento energético, o que afeta a qualidade e os padrões técnicos dos produtos, resultando em até 30% de perda. Segundo Relatório da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) de 2016 sobre a cadeia produtiva da cerâmica vermelha a alternativa para uma mudança desses dados seria a análise por parte dos produtores para o uso de outras fontes de energia que não a lenha, minimizando aspectos ambientais e proporcionando menor perda produtiva pelo fato de outras fontes apresentarem maior poder energético.

2.5.2 Impactos ambientais e cinzas geradas

Os principais impactos ambientais relacionados à indústria de cerâmica vermelha podem ser verificados nas diferentes etapas do sistema produtivo e estão geralmente associados a fatores como: degradação das áreas de extração da argila, consumo de energia, geração de resíduos sólidos decorrentes de perdas por falhas na qualidade do produto, emissão de poluentes atmosféricos e geração de cinzas da combustão da lenha (FIEMG, 2013).

A Tabela 8 a seguir é apresentada na Cartilha Ambiental Cerâmica Vermelha da ANICER & SEBRAE (2014) e relaciona os principais resíduos gerados pela fabricação de produtos cerâmicos, apontando quais são seus possíveis impactos no meio ambiente, a sua classificação (de acordo com as normas) e sugestões de mitigação levando em consideração a priorização de destinações:

Tabela 8. Impactos ambientais e medidas mitigadoras.

Resíduo	Perdas/ impactos	Classificação	Priorização	Medidas mitigadoras (boas práticas)
Massa cerâmica (Argila crua com adição deágua e outros componentes)	- Desperdício de matéria-prima e hora/homem; - Desperdício de energia elétrica (uso dos equipamentos); - Desgaste das máquinas utilizadas.	Resíduo Industrial Não perigosos Classe II B Não Inerte	Não geração ou redução	- Regulagem e manutenção dos equipamentos; - Treinamento de pessoal; - Implementação de controle da qualidade.
			Reutilização	- Dosagem e reinserção do material na massa cerâmica e reincorporação no processo.
Óleo lubrificante usado 57 (Legislação específica: Resolução CONAMA n° 362/05)	- Contaminação do solo de cursos de água superficiais e subterrâneos; - Risco de acidentes e incêndios decorrentes da inflamabilidade do material; - Riscos à saúde humana devido à toxidade inerente; - Emissão de gases residuais nocivos ao meio ambiente e à saúde pública, em caso de combustão.	Resíduo industrial Resíduo perigoso	Redução *Não há formas de não geração	- Manutenção e reparação dos vazamentos de óleo na maromba, nas esteiras e em máquinas no geral; - Implementar sistema de controle do uso.
			Reciclagem (obrigatória)59 *Não pode ser destinado a aterros	- Armazenamento em local seguro, com cobertura, impermeabilização e bandeja de contenção; - Recolhimento em recipientes adequados e resistentes a vazamentos; - Envio do resíduo usado para rerrefino a empresas devidamente autorizadas; - Reaproveitamento como aditivo no processo de queima.
Cinzas (queima de combustível no forno) Não possui legislação específica	- Poluição do solo e de cursos de água; - Riscos à saúde humana devido à toxidade inerente. (As cinzas provenientes da queima de carvão mineral produzem impactos diferentes das geradas pela queima de biomassas no geral)	Resíduo industrial Não perigoso Classe II B Não Inerte	Redução Não há formas de não geração	- Optar por combustíveis que gerem menos cinzas; - Implementar sistema de controle da queima; - Investir em fornos com melhor aproveitamento do combustível.
			Reutilização	- Reaproveitamento na agricultura, como fertilizante, ou em compostagens.
			Reciclagem	- Adição na massa, após realização dos ensaios devidos, para fabricação de produtos cerâmicos; - Adição na fabricação de outros produtos, inclusive da construção civil, como argamassas; - Direcionamento a companhias siderúrgicas para fabricação de isolantes térmicos.
			Disposição final ambientalmente adequada	- Instalar baias de armazenamento delimitadas, cobertas e isoladas, para acúmulo; - Destinar a aterros industriais, autorizados para o recebimento do material.

Continuação da Tabela 8…

Material cerâmico queimado (produto final não conforme ou quebrado)	- Desperdício de matériaprima e hora/homem - Desgaste das máquinas utilizadas; - Se armazenado a céu aberto, facilita o acúmulo de água e lixo;	Resíduo industrial Não perigoso Classe II A Inerte	Não geração ou redução Reutilização	- Implementar sistema de controle de processos e gestão da qualidade; - Treinamento de pessoal; - Regulagem e manutenção dos equipamentos; - Trituração do material para transformá-lo em chamote e reincorporá-lo na massa cerâmica; - Assentamento nas dependências da fábrica; - Nivelamento das cavas nas áreas de extração esgotadas auxiliando na recuperação; - Pavimentação de ruas e estradas de acesso às áreas de extração; - Aterramento em áreas para construção civil; - Reforma das irregularidades dos fornos em operação.
Resíduos comuns (Resíduos não orgânicos: papel, vidro, plásticos etc.)	- Poluição do solo e de cursos de água; - Desperdício de recursos naturais; - Contaminação de materiais reaproveitáveis; - Superlotação dos aterros sanitários.	Resíduo sólido urbano Não perigoso Classe II A Inerte	Não geração ou redução	- Estímulo ao consumo consistente pelos colaboradores; - Substituição dos utensílios descartáveis por duráveis; - Utilização de folhas frente e verso e de rascunho e impressões somente quando necessárias.
			Reciclagem *podem ser transformados em diversos novos produtos	- Coleta seletiva interna para separação dos materiais recicláveis em lixeiras identificadas para cada tipo de material; - Destinação através de veículo coletor ou diretamente em postos de entrega voluntária e em cooperativas de catadores ou outras associações.
Sucatas (peças metálicas e materiais ferrosos de equipamentos e máquinas em desuso)	- Contaminação do solo e de cursos de água superficiais e subterrâneos; - Riscos à saúde humana devido à corrosividade.	Resíduo industrial Não perigoso Classe II B Não Inerte (ou perigoso, se contaminado)	Redução *Não há formas de não geração	- Manutenção sistemática dos equipamentos; - Treinamento de pessoal; - Redução de umidade nos equipamentos.
			Reutilização	- Acomodação das sucatas em desuso em local apropriado, com cobertura e isolamento; - Realização de serviços de soldagem internamente e reforma de metais; - Aproveitamento para reforço da estrutura do galpão, ampliação das sustentações de secagem, reparação de outras máquinas, entre outros.
			Reciclagem *podem ser transformados em diversos novos produtos	- Comercialização ou disponibilização para empresas de coleta e reciclagem para processamento do material, de acordo com legislação ambiental.

Fonte: ANICER & SEBRAE (2014).

Por causa da representatividade dos volumes de consumo de lenha, a atividade cerâmica deve também dar atenção especial aos problemas ambientais causados por sua queima, devido à produção de cinzas, óxidos de enxofre, dióxido de carbono e óxidos de nitrogênio, que causam a chuva ácida e danos à camada de ozônio (ABDI, 2016).

Geradas durante a queima de combustível nos fornos. A quantidade gerada depende do tipo de combustível utilizado e da tecnologia do forno cerâmico. As cinzas

provenientes da queima de biomassa (lenha, serragem, cavaco, entre outros) podem ser dispostas diretamente sob o solo e não possuem especificação de armazenagem, todavia recomenda-se que seja feita em caçambas também (FIEMG, 2013).

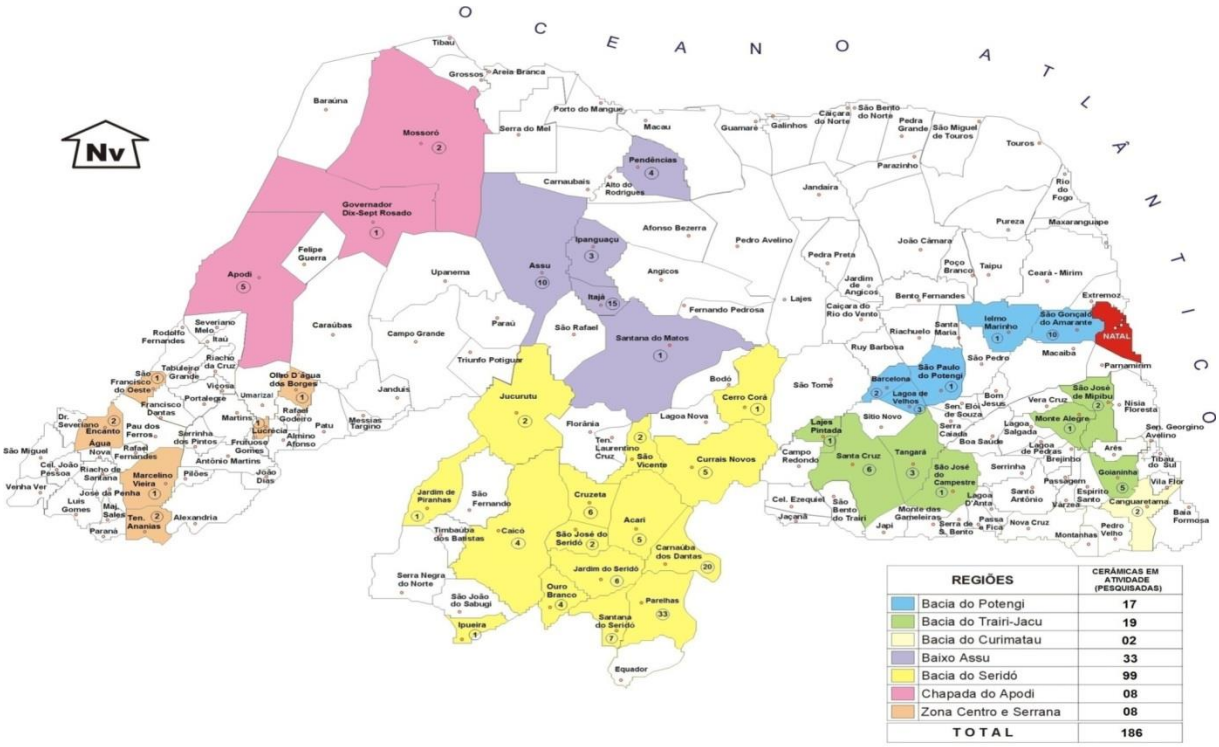
Essas cinzas costumam ser misturada a argila e utilizadas para vedação da porta dos fornos para uma nova queima, cedidas para prefeituras locais que utilizam em obras de tapas buracos e outras ficam em amontoadas na própria cerâmica.

A geração desses resíduos nas indústrias de cerâmica tem provocado preocupação, visto que seu descarte pode desencadear diversos problemas ambientais, como a poluição do solo, de mananciais e do ar. O setor da construção civil é um destino para aplicação desses resíduos, em concretos e argamassas tornando possível, através de estudos, a destinação final adequada (Bezerra et al., 2011).

2.5.3 Produção de cerâmica vermelha no Rio Grande do Norte

A produção de cerâmica vermelha no Rio Grande do Norte é uma atividade econômica antiga que é presente em quase todo o território potiguar, com forte concentração em três polos de produção, o localizado próximo à cidade de Natal, um na região do Seridó e outro na Bacia do Rio – Assú (Vale do Assú), sendo mais intensiva no Vale do Açu e na região do Seridó. É possível dividir, também, as empresas em 7 regiões de abrangência (Figura 4).

Figura 4. Distribuição das empresas cerâmicas no Rio Grande do Norte.



Fonte: SEBRAE (2012).

Alguns autores costumam dividir os polos de produção pelos munícipios que se destacam na produção, logo é comum a divisão entre: polo Parelhas- Carnaúbas dos Dantas, polo de Assú e polo São Gonçalo. Outros autores dividem o polo do Vale do Assú e acrescenta o polo de produção Apodi/Região Oeste. Seguindo essa divisão em quatro polos de produção o SEBRAE (2012) apresenta um diagnóstico das indústrias cerâmicas do Rio Grande do Norte com tipos de produtos produzidos (Tabela 9) e perfil das empresas (Tabela 10).

Tabela 9. Produtos produzidos pelas cerâmicas do Rio Grande do Norte.

Produtos Cerâmicos	Grande Natal	Região Seridó	Baixo Assú	Região Oeste	RN
Bloco de Vedação	15.780	10.840	14.950	5.281	46.481
Telhas	680	51.535	6.821	445	59.481
Lajotas	310	1.236	2.085	260	3.891
Blocos Estruturais	430	0	250	130	810
Outros Produtos	80	0	0	50	130
TOTAIS	**17.280**	**63.611**	**24.106**	**6.166**	**111.163**

Fonte: SEBRAE (2012).

Tabela 10. Perfil econômico das empresas cerâmicas do RN.

Região Produtora	Número de Municípios	Números de Cerâmicas	Empregos Diretos	Rendimento Anual
Cerâmica da Grande Natal	13	38	1.226	R$ 33.615.000,00
Cerâmica da Reg. Seridó	15	99	3.277	R$ 106.923.320,00
Cerâmica do Baixo Assú	5	33	1.412	R$ 51.536.000,00
Cerâmica da Re. Oeste	9	16	480	R$ 16.085.000,00
TOTAL	**42**	**186**	**6.395**	**R$ 208.159.320,00**

Fonte: SEBRAE (2012).

De acordo com estudos realizados pelo SEBRAE/RN (2012), o Rio Grande do Norte possui cerca de 186 cerâmicas em atividade. Juntas as fábricas produzem mensalmente 111.163.000 peças, sendo 54% telhas, 42% blocos de vedação e 4% outros produtos. A região Seridó é responsável por 87% de toda telha produzida no estado e por 57% de tudo que é produzido nas empresas do estado. Para esta produção as cerâmicas do consomem mensalmente 239.561 toneladas de argila e 102.844 metros cúbicos de lenha.

2.6 RESÍDUOS SÓLIDOS E RECICLAGEM

A Norma Brasileira NBR 10004/2004 define resíduos sólidos aqueles resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face de melhor tecnologia disponível.

Reciclagem é o conjunto de atividades que torna possível o reaproveitamento ou reutilização dos resíduos sólidos que são considerados “lixo” (Freitas, 2007). É um processo industrial que modifica o material rejeitado, tornando-o outro produto útil.

As politicas ambientais enfatizam a necessidade da implantação da “Gestão 3Rs: Redução, Reutilização e Reciclagem”. Neste sentido, Melo (2009) relata que reciclar

consiste na economia de energia e recursos naturais, bem como trazer de volta ao ciclo produtivo o que é jogado fora.

A ciência e a engenharia dos materiais desempenha um papel importante na reciclagem e no descarte que são estágios importantes do ciclo dos materiais. As questões de reciclabilidade e de descarte são importantes quando novos materiais estão sendo projetados e sintetizados. Além disso, durante o processo de seleção dos materiais, o descarte final dos materiais empregados deve ser um critério importante. (Callister, 2008).

Callister (2008) também ressalta a relação de um material ideal com a questão ambiental que para ele esse material deveria ser totalmente reciclável ou completamente biodegradável. O termo reciclável significa que um material, após ter completado o seu ciclo de vida em um componente, poderia ser reprocessado, reentrar no ciclo dos materiais a ser reutilizado em outro componente.

Desde a década de 80 que a palavra reciclagem foi incorporada ao vocabulário internacional quando ficou constatado que matérias-primas não renováveis como o petróleo, estavam e continua esgotando-se. As políticas ambientais falam correntemente na “Política dos 3R’s: Redução, Reutilização e Reciclagem”.

Os resíduos industriais constituem um problema ambiental e social que vem preocupando a sociedade nas últimas décadas. Todos os dias, milhares de toneladas de resíduos são descartados em aterros sanitários. Dentre esses, encontram-se resíduos passíveis de reciclagem como plásticos, papel e vidro.

A busca de materiais renováveis e a reciclagem dos resíduos produzidos pela urbanização são preocupações constantes inerentes à preservação do meio ambiente e a utilização de produtos naturais.

A destinação, tratamento e disposição final de resíduos sólidos devem seguir a Norma NBR 10004 (ABNT, 2004a), que classifica os resíduos quanto à sua periculosidade para o ambiente e a saúde pública.

Os resíduos podem ser classificados em perigosos (classe I) e não perigosos (classe II), sendo estes subdivididos em não-inertes (classe IIA) e inertes (classes IIB). Os resíduos perigosos são aqueles que apresentam periculosidade ou uma das características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. Os resíduos não-inertes são aqueles que não se enquadram na classificação de resíduos perigosos nem na de inertes, nos termos da referida norma. Os

resíduos não-inertes podem ter propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água (ABNT NBR 10004, 2004).

2.7 O USO DAS CINZAS EM ARGAMASSAS E CONCRETOS

As cinzas são resíduos que podem ser de origem industrial ou agroindustrial e têm sido estudadas como substituição dos agregados miúdos e cimentos em argamassas e concretos. Algumas cinzas industriais são, ainda, utilizadas como adições minerais em concretos. Os concretos que contém adições ou substituições de seus constituintes convencionais são chamados de concretos especiais (Bessa, 2011).

Uma das formas de minimizar o impacto da deposição da grande quantidade de cinzas é o seu aproveitamento na construção civil como, por exemplo, adição mineral na fabricação de concretos e argamassas (Campos et al., 2014). Dessa forma, poder-se- a evitar os problemas consequentes da sua má disposição, utilizando-a como matéria-prima no desenvolvimento de tecnologias alternativas para a construção civil e para a infraestrutura das cidades (Bessa, 2011).

Sendo um resíduo com baixo valor agregado e grande quantidade de sílica, as cinzas são uma alternativa atraente e viável para substituição da areia em construção civil. O uso de cinzas para atividade pozolânica diminui o impacto ambiental e o custo da preparação de materiais cimentícios, pois substitui compostos de maior custo, evitando, ao mesmo tempo, a disposição das cinzas no ambiente, tornando o processo de fabricação de materiais cimentícios mais sustentável (Cacuro et al., 2015).

Carvão e cinzas volantes de biomassa utilizadas individualmente ou misturadas têm capacidade de reduzir os impactos ambientais do uso do concreto, quando comparado com o concreto convencional. A incorporação de biomassa permite uma melhor solução para a eliminação de cinzas (minimização de sua deposição em aterro), contribuindo simultaneamente para os concretos com melhor desempenho ambiental. É possível verificar que a incorporação de cinzas volantes é uma opção sustentável para a substituição de cimento e um possível caminho para melhorar o desempenho ambiental da indústria de concreto (Teixeira et al., 2016).

Do ponto de vista técnico, as adições minerais podem melhorar a qualidade do concreto, além de terem custos e preços menores quando comparadas ao cimento Portland ou ao clínquer Portland (Silva, 2007).

Dal Molin (2005) e Silva (2007) dividiram as adições minerais, de acordo com sua ação físico-química, em três grupos materiais pozolânicos, material cimentante e material não reativo (filler).

O material pozolânico, de acordo com a norma NBR 12653 (ABNT, 2014), é definido como um material silicoso ou sílico-aluminoso que em si mesmo possui pouca ou nenhuma propriedade cimentante, mas, numa forma finamente dividida e na presença de umidade, reage quimicamente com o hidróxido de cálcio liberado na hidratação do cimento, a temperaturas ambientes, para formar compostos com propriedades cimentantes.

Cinzas da folha de bananeira podem ser utilizadas como material pozolânico em estruturas de concreto. A resistência mecânica das amostras de concreto com 10% e 20% de cinzas da folha de bananeira foram (38 ± 2) MPa e (47 ± 2) MPa aos 28 dias, respectivamente. Estes valores foram 25% e 40% mais elevados do que 0% dessa cinza (Kanning et al., 2016).

O material cimentante é aquele capaz de formar produtos cimentantes, como o C-S-H, sem a necessidade do hidróxido de cálcio presente no cimento Portland. Sua autohidratação é lenta, porém quando usado como adição ou substituição em cimento Portland, sua hidratação é acelerada na presença de hidróxido de cálcio e gipsita, como é o caso da escória granulada de alto-forno (Fonseca, 2010).

O material não reativo que é o caso do fíler é uma adição mineral finamente dividida sem atividade química, ou seja, sua ação resume ao efeito físico de empacotamento granulométrico e ação como pontos de nucleação para a hidratação dos grãos de cimento. Como exemplo pode-se se citar o fíler calcário e quartzo moído (Dal Molin, 2005).

Um problema que pode ser reportado na utilização das cinzas como adição mineral pozolânica é a pouca reatividade da maior parte delas, o que permite a utilização apenas como material não-reativo. As pesquisas nessa área também recaem no problema do consumo de energia fornecido ao resíduo para torná-lo reativo ou pozolânico, o que pode tornar o material inviável economicamente (BESSA, 2011).

Bessa (2011) utilizando os parâmetros físicos de cinzas do bagaço da cana-de-açúcar chegou a conclusão que esse tipo de cinza podia ser equiparada a areia natural. Logo, as amostras analisadas podiam ser utilizadas como material substituto da areia,

por não apresentarem pozolanicidade. O teor de substituição que proporcionou melhores valores aos ensaios mecânicos foi o de 30%, em massa.

Pesquisa com esse mesmo tipo de cinza conduzida por Sales (2010) mostrou que substituição de 30% a 50% em massa da areia natural pelas cinzas não apenas preserva as características físicas e mecânicas de um concreto de boa qualidade, mas também traz benefícios. “Nessa faixa de substituição, o concreto feito com cinzas pode ter um ganho de resistência 20% superior ao concreto convencional”, afirma Sales (2010).

A tecnologia do uso de cinzas como adição e/ou substituição de cimento e agregado miúdo, investigada por vários autores serve de embasamento para o desenvolvimento da pesquisa com as cinza oriundas da queima de lenha em indústrias cerâmicas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Conforme os objetivos do presente trabalho, e em acordo com a revisão da bibliografia, apresenta-se o programa experimental. Para contemplar os objetivos propostos, a metodologia empregada foi dividida em quatro etapas:

- 1ª. Etapa – Levantamento de dados e coleta das cinzas;
- 2ª. Etapa – Beneficiamento das cinzas;
- 3ª. Etapa – Caracterização dos materiais;
- 4ª. Etapa – Avaliação de concretos produzidos com a cinza.

A aplicação dessa metodologia pretendeu atender as etapas de caracterização física e química da cinza e a análise das propriedades dos concretos. Definidas as propriedades do material que foi empregado, a etapa final abrangeu a análise ambiental da cinza e a análise econômica do resíduo utilizado e do produto gerado ao final da pesquisa.

O programa experimental compreende a caracterização dos materiais utilizados no concreto, equipamentos e procedimentos utilizados nos experimentos.

A caracterização física dos materiais, a dosagem, o preparo dos corpos-de-prova e ensaios mecânicos foram realizados no Laboratório de Construção Civil do Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN) – Campus Mossoró-RN, sob as coordenadas geográficas 5º12’49,62” S e 37º19’9,49” O e altitude de 35m.

A caracterização química da cinza foi realizada no Laboratório de Análises Magnéticas e Ópticas (LAMO) da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN) - Campus Mossoró - RN, sob as coordenadas geográficas 5º12’18,82” S e 37º18’55,33” O e altitude de 19m.

As análises com Difratometria de Raios - X foram realizadas no Centro Integrado de Inovação Tecnológica do Semiárido da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), sob as coordenadas geográficas 5º12’16,97” S e 37º19’29,18” O e altitude de 18m.

Os ensaios e metodologias empregadas em cada etapa dos estudos são observados na Tabela 11.

Tabela 11. Resumo dos ensaios e a metodologia utilizada.

Material	Ensaios	Metodologia/ Equipamentos
Cinza de indústrias cerâmicas	Massa específica	NM 23/ 2001
	Massa unitária	NM 45/ 2006
	Área superficial específica	NBR 16372/2015
	Granulometria	NM 248/ 2003
	Difratometria de raios X	Uso do DRX
	Análise química	Fluorescência de raios X
Agregado miúdo	Massa específica	NM 52/ 2009
	Massa unitária	NM 45/ 2006
	Granulometria	NM 248/ 2003
Agregado graúdo	Massa específica	NM 53/ 2009
	Massa unitária compactada	NM 45/ 2006
	Massa unitária solta	NM 53/ 2009
	Granulometria	NM 248/ 2003
Concretos	Resistência à compressão axial	NBR 5739/ 2007

Fonte: Autoria própria (2017).

3.1.1 Levantamento de dados e coleta das cinzas

Paralelamente à coleta de cinzas, foi verificado junto aos responsáveis técnicos pelas cerâmicas, de modo a obter informações sobre: produção de peças cerâmicas; produtos e subprodutos; queima de lenha; forno utilizado; cinzas geradas e destinação; e sobre parcerias com universidades e empresas. Em boa parte das cerâmicas, depois de retiradas dos fornos, as cinzas ficam dispostas ao ar livre em montes à espera de uma destinação.

As amostras utilizadas nesta pesquisa foram coletadas diretamente das olarias, durante a etapa de limpeza destas. A cinza foi retirada a temperaturas um pouco elevadas e foi necessário esperar para que a mesma esfriasse ao ar livre.

Observou-se, também, que na cinza havia resíduos cerâmicos e de lenha com combustão incompleta, o que pode ser devido à queima em temperatura abaixo de 900 °C.

3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Para a realização dos experimentos foi utilizada a cinza de indústria cerâmica, a qual foi coletada na Cerâmica Nossa Senhora de Fátima, sob as coordenadas geográficas 5º39’15,26” S e 36º48’54,14O e altitude de 68m. A empresa é considerada

de pequeno porte situada as margens do Km 118 da BR 304 no município de Itajá, Rio Grande do Norte.

Conforme relatos da própria empresa, essa cinza é produzida a partir da queima de lenha em forno tipo paulistinha, sendo que o propósito desta combustão é a geração de calor para queima dos produtos cerâmicos.

O material é queimado no forno, com temperatura que varia entre 700 a 900 ºC, durante 24 horas. As amostras coletadas na cerâmica foram transportadas dentro de sacos de polipropileno até o Laboratório de Construção Civil do IFRN, onde foram armazenadas em local protegido de precipitação pluviométrica e umidade, até que fossem utilizadas.

3.2.1 Cinzas de lenha provenientes de indústrias cerâmicas

3.2.1.1 Peneiramento da cinza

O peneiramento ocorreu em duas etapas, na primeira todo o material foi passado na peneira com malha de 4,75mm para eliminar resíduos cerâmicos e de lenha que não foram queimadas de forma homogênea. Na segunda e última etapa realizou-se peneiramento utilizando malha de peneira de 1,2mm até que se verificou a homogeneidade do material passante. A escolha da peneira de 1,2mm foi a mesma do estudo de Kieling (2009), integrante do projeto de cinza de casca de arroz, que utilizou esta peneira como abertura de corte através de uma análise visual, e comprovou a eliminação de material mais grosseiro, o que tornou o material com maior homogeneidade.

Pode-se realizar comparação visual com a Figura 5A, que apresenta a cinza natural coletada na cerâmica e contendo diversos resíduos, enquanto que na Figura 5B a aparência já é de homogeneidade da amostra. Na Figura 5C, visualiza-se o material passante na peneira 1,2mm que é o material utilizado nesse trabalho.

Figura 5. Cinza com resíduos coletada no empreendimento (A), cinza passante na peneira 4,75mm e resíduo retido na peneira de 1,2mm (B) e Cinza passante na peneira de 1,2mm (C).

A. B. C.

Fonte: Autoria própria (2017).

3.2.1.2 Caracterização física

A caracterização física da cinza foi realizada por meio dos ensaios de composição granulométrica, massa específica, massa unitária e absorção. As composições granulométricas da cinza foram determinadas segundo a NM 248 (MERCOSUR, 2003). A amostra de cinza, peneirada na malha de 1,2mm, foi seca em estufa a 100 °C, por 12h. A amostra de cinza foi peneirada por 10 minutos no peneirador automático de agregados miúdos, com a seguinte série de peneiras de malha quadrada: 1,2 mm; 0,6 mm; 0,3 mm e 0,15 mm. As porções retidas nas peneiras foram medidas e, a seguir, calculadas as porcentagens retidas e acumuladas.

O ensaio para se determinar a absorção da cinza foi realizado de acordo com a NM 30 (MERCOSUR, 2001).

O ensaio de massa unitária das amostras de cinza foi executado segundo os procedimentos da NM 45 (MERCOSUR, 2006). A única alteração deu-se em relação ao recipiente, que nesta pesquisa foi alterado para 405 ml, diferentemente do que a norma exige. Essa mudança foi necessária devido à característica da cinza, já que não se trata de um agregado, e sim, de um material pulverulento.

O ensaio de massa específica da amostra de cinza foi realizado seguindo as recomendações da norma NM 23 (MERCOSUR, 2000), utilizando como líquido o querosene e 50g de material seco.

A superfície específica foi realizada pelo método Blaine segundo a NBR 16372 (ABNT, 2015).

3.2.1.3 Caracterização mineralógica

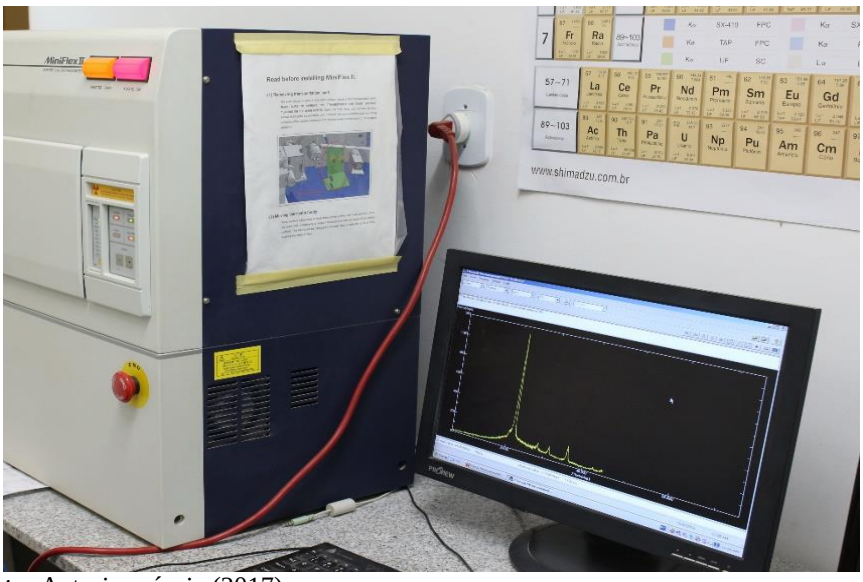
Para a caracterização mineralógica da cinza e identificação das fases cristalinas das amostras, foi obtida pela difração de raios X (DRX).

Vale salientar que o estudo dos picos presentes no difratograma, por comparação com bancos de dados específicos, permite a avaliação sobre o quanto uma amostra é amorfa ou cristalina, como também sua análise, de forma qualitativa, em relação a outros materiais de mesma natureza (Bessa, 2011).

As análises foram realizadas no Centro Integrado de Inovação Tecnológica do Semiárido (CITED) da UFERSA. O difratômetro utilizado era da marca SHIMADZU, modelo 6000, Radiação CUKα, o qual possui um sistema que permite correlacionar o ângulo em tempo real e, também, foi adaptado com uma fonte monocromática de raios X.

Com a finalidade de determinar as fases presentes na amostra em seu estado natural, foram feitas varreduras com velocidade de 0,01° por segundo e intervalo de medida na faixa de 10 a 80° no Ângulo de Beragg. As condições para realização das análises foram: i) radiação: Cu Kα; ii) tensão: 40Kv; iii) corrente: 300mA; iv) varredura com passo de 0,02° 2θ; v) tempo de coleta: 0,6°min^{-1}; e vi) intervalo de varredura de 10 a 800° (2θ). O equipamento do ensaio de DRX está apresentado na Figura 6.

Figura 6. Execução do ensaio de DRX.



Fonte: Autoria própria (2017).

3.2.1.4 Caracterização química

A caracterização química da cinza foi realizada por meio da técnica de espectrometria de fluorescência de raios-X por energia dispersiva (FRX).

Para esse ensaio utilizou-se o equipamento espectrômetro por fluorescência de raios X, da marca SHIMADZU modelo EDX-700, empregando um tubo de raios-X com alvo de ródio. A tensão utilizada 4 kV a 50 kV e a corrente de filamento 1µA a 1000mA. A faixa de medição foi do Sódio ao Urânio (11Na a 92U). O equipamento é alocado nas instalações do Laboratório de Análises Magnéticas e Ópticas (LAMO) da UERN. Os resultados obtidos são apresentados na forma dos óxidos estáveis dos elementos químicos presentes. Por limitação do método, somente elementos entre Na (12) e U (92), na tabela periódica, são detectados.

3.2.2 Cimento

Utilizou-se o Cimento Portland de Alta Resistência Inicial Resistente a Sulfatos (CP V – ARI RS) por ser um cimento que não apresenta pozolana em sua constituição, logo não interferia nos resultados tendo em vista que se trabalhou com uma cinza que podia conter material pozolânico. O cimento é comercializado na região pelo fabricante MIZU. As especificações foram fornecidas pelo fabricante e encontram-se nas Tabela 12 e 13.

Tabela 12. Propriedades físicas e mecânicas– CP V ARI RS.

Exigências Físicas e Mecânicas		**Faixas de aceitação (%)**	**Especificações ABNT**
Resíduo na peneira 75 mm (%)		0,26	NBR 11579/2012
Área especifica ($m^2\ kg^{-1}$)		452,98	NBR NM 76/1998
Tempo de Inicio de pega (minutos)		111,82	NBR NM 65/2003
Resistência à compressão (Mpa)	1 dia	19,34	NBR 7215/1996
	3 dias	29,31	NBR 7215/1996
	7 dias	38,15	NBR 7215/1996
	28 dias	48,58	NBR 7215/1996
Massa específica ($kg\ m^{-3}$)		3,02	NBR NM 23/2001

Fonte: Fabricante (2017).

Tabela 13. Propriedades químicas– CP V ARI RS.

Elementos	(%)
Resíduo insolúvel (RI)	0,85
Perda ao fogo (PF)	4,28
Anidrido carbônico (CO_2)	1,33
Trióxido de enxofre (SO_3)	2,64

Fonte: Fabricante (2017).

O cimento Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI) embora contemplado pela ABNT como norma separada do cimento Portland comum, é na verdade um tipo particular deste, que tem a peculiaridade de atingir altas resistências já nos primeiros dias da aplicação. O desenvolvimento da alta resistência inicial é conseguido pela utilização de uma dosagem diferente de calcário e argila na produção do clínquer, bem como pela moagem mais fina do cimento, de modo que, ao reagir com a água, ele adquira elevadas resistências, com maior velocidade (ABCP, 2012). Esse tipo de cimento atende às normas NBR 5733 (ABNT, 1991) e 5737 (ABNT, 1992).

3.2.3 Agregado miúdo

Como agregado miúdo foi selecionado uma areia natural muito limpa, sem torrões de argila nem materiais friáveis. Conforme informações levantadas com o fornecedor, a areia foi dragada do rio Açu.

A determinação da composição granulométrica do agregado miúdo foi realizada conforme NM 248 (MERCOSUR, 2003). A massa específica do agregado miúdo foi determinada conforme ensaio definido pela NM 52 (MERCOSUR, 2009). A massa unitária do agregado miúdo foi definida conforme ensaio descrito pela NM 45 (MERCOSUR, 2006). Na caracterização e combinação dos agregados, trabalhou-se sempre com os materiais secos.

3.2.4 Agregados graúdos

Como agregado graúdo foi escolhido um material de natureza granítica, britado, da cor cinza escura, com forma não muito lamelar e com pouco ou nenhum material pulverulento, proveniente de britador no município de Governador Dix-Sept Rosado. As

características físicas e composições granulométricas deste tipo de brita são de uso frequente na região de Mossoró.

A determinação da composição granulométrica do agregado graúdo foi realizada conforme NM 248 (MERCOSUR, 2003). A massa específica do agregado graúdo foi determinada conforme ensaio definido pela NM 53 (MERCOSUR, 2003). A massa unitária do agregado miúdo foi definida conforme ensaio descrito pela NM 45 (MERCOSUR, 2006). Na caracterização e combinação dos agregados, trabalhou-se sempre com os materiais secos.

3.2.5 Água de amassamento

A água de amassamento utilizada na confecção do concreto foi a fornecida pela CAERN – Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte, obtida diretamente da rede de abastecimento. A mesma é caracterizada como potável e se enquadra na norma NBR 15900-1 (ABNT, 2009), que especifica os requisitos para a água ser considerada adequada ao preparo de concreto.

3.2.6 Aditivo

O aditivo utilizado foi um superplastificante retardador com alto poder de redução de água para concreto do fabricante Sika com nome comercial de Sikament PF 171R. O aditivo atende à NBR 11768 (ABNT, 2011). As características, fornecidas pelo fabricante, do aditivo são observadas na Tabela 14.

Tabela 14. Dados técnicos do aditivo.

Propriedade	**Características do aditivo**
Composição básica	Sais sulfonados e carboidratos em meio aquoso
Densidade (g cm^{-3})	1,24 g cm^{-3}
pH	9,0
Estado físico/cor	Líquido/marrom
Dosagem recomendada pelo fabricante	0,6 a 1% sobre a massa de aglomerantes

Fonte: Autoria própria (2017).

3.3 DOSAGEM DOS CONCRETOS

A dosagem de concretos com a cinza foi feita de forma experimental e baseou-se no Método de Dosagem da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), que foi adaptado do ACI (American Concrete Institute). Este método fornece uma primeira aproximação da quantidade dos materiais, devendo-se realizar uma mistura experimental em laboratório para ajustar alguns parâmetros (TORRES, 1993). Os parâmetros mais importantes deste método, a serem corrigidos, são:

- Excesso de argamassa: deve-se acrescentar brita, mantendo constante a relação a/c;
- Falta de argamassa: deve-se acrescentar areia, mantendo constante a relação a/c;
- Agregados com alta absorção de água: deve-se alterar o consumo de água inicial.

Para este estudo, foram determinados os seguintes parâmetros iniciais de dosagem (Tabela 15):

Tabela 15. Parâmetros utilizados na dosagem.

Resistência característica (f_{ck})	25 MPa
Desvio padrão (Sd)	4 Mpa (Condição A)
Medidas dos agregados	Massa
Medida da água	Massa ou volume
Umidade dos agregados	0 %
Tipo de cimento	CP IV ARI RS
Agregado graúdo	Brita granítica ($D_{máx}$=19mm)
Adensamento	Vibratório
Relação água/cimento (em massa)	≤ 0,60
Aditivo	Superplastificante
Substituição de areia por cinza	10% a 50%, em massa
Abatimento	80mm a 100mm

Fonte: Autoria própria (2017).

3.3.1 Traço padrão

Antes de começar as etapas de cálculo propostas por Rodrigues (1998), foi preciso determinar a resistência de dosagem através da equação (1) especificada pela NBR 12655 (ABNT, 2015).

$$f_{cj} = f_{ck} + 1{,}65\ S_d \qquad 1$$

$$f_{cj} = 25 + 1{,}65\ 4$$

$$f_{cj} = 25 + 6{,}6$$

$$\mathbf{f_{cj} = 31{,}6\ Mpa}$$

Em que:

f_{cj}= é a resistência média do concreto à compressão, prevista para a idade de j dias, em megapascals (MPa);

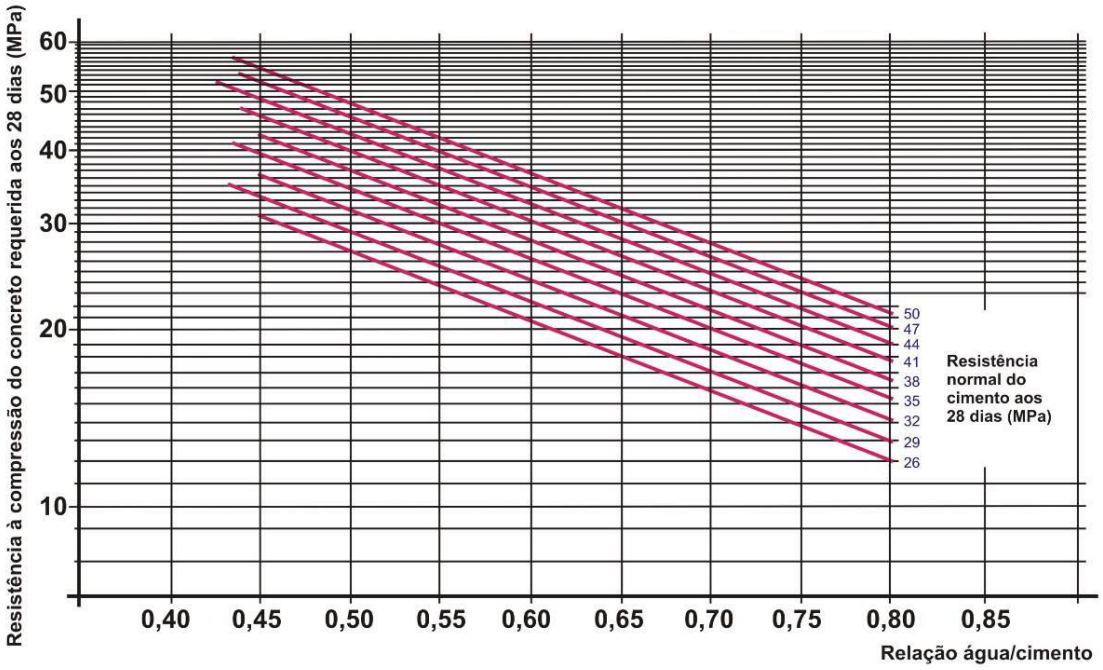
f_{ck}= é a resistência característica do concreto à compressão, em megapascals (MPa);

S_d= é o desvio-padrão da dosagem, em megapascals (MPa).

1ª Etapa: Determinação do fator água-cimento (a/c):

A relação água-cimento é dada em função da Curva de Walz (Figura 7), que apresenta valores de a/c em função das resistências do concreto e do cimento aos 28 dias de idade. O concreto obteve um Fcj de 31,6 Mpa nos cálculos e o cimento foi considerado nos cálculos como sendo de resistência de 32,00 MPa aos 28 dias. Logo, foi obtido fator a/c de 0,50.

Figura 7. Gráfico para a determinação da relação água/cimento (a/c) em função das resistências do concreto e do cimento aos 28 dias de idade.



Fonte: Adaptado de Torres (1998).

2ª Etapa: Estimativa do consumo de água do concreto (C_{ag})

A estimativa do consumo de água por metro cúbico de concreto se dá em função do Diâmetro Máximo Característico do Agregado e do abatimento da mistura, por meio da Tabela 16.

Tabela 16. Estimativa do consumo de água por metro cúbico de concreto em função do Diâmetro Máximo Característico do Agregado e do abatimento da mistura.

Abatimento do tronco do cone	**Dimensão máxima característica do agregado graúdo (L m^{-3})**				
	9,5 mm	**19 mm**	**25 mm**	**32 mm**	**38 mm**
40 a 60 mm	220	195	190	185	180
60 a 80 mm	225	200	195	190	185
80 a 100 mm	230	205	200	200	190

Fonte: Rodrigues (1998).

Considerando que o diâmetro máximo do agregado graúdo é de 19mm e o abatimento requerido está entre 80mm a 100mm o consumo de água é de 205 L m^{-3}.

3ª Etapa: Consumo de cimento (C)

A estimativa do consumo de cimento foi obtida pela equação (2):

$$C = \frac{C_{ag}}{\frac{a}{c}} = \frac{205 \frac{litros}{m^3}}{0,50} \therefore \quad (2)$$

$$C = 410,00\ kg\ m^{-3}$$

Em que:

C= consumo de cimento, em kg m^{-3};

Cag= consumo de água, em litros m^{-3};

a/c= fator água/cimento.

O consumo de cimento foi de 410 kg m^{-3} de cimento para todos os traços.

4ª Etapa: Estimativa de consumo de agregados

Na Tabela 17, cujos valores foram determinados experimentalmente pela ABCP, verificam-se os volumes compactados a seco de agregado graúdo, por metro cúbico de concreto, em função do Diâmetro Máximo Característico do agregado graúdo (DMC) e do Módulo de Finura (MF) do agregado miúdo.

Tabela 17. Volume compactado seco (Vpc) de agregado graúdo por metro cúbico de concreto.

Módulo de finura da areia (MF)	Dimensão máxima característica do agregado graúdo (DMC)				
	9,5 mm	19 mm	25 mm	32 mm	38 mm
1,8	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
2	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	0,525	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).

MF= 2,52 (considera-se 2,4 para utilizar a tabela)

DMC do agregado= 19mm

MU_c= 1450 kg m^{-3}

Obtido os dados acima, pode ser calculada a estimativa do consumo do agregado graúdo por metro cúbico de concreto através da equação (3).

$$C_p = V_{pc} MU_c \therefore C_p = 0{,}670\ 1450 \therefore C_p = 972\ \text{kg}\ m^{-3} \quad (3)$$

Em que:

C_p = Consumo do agregado graúdo por metro cúbico de Concreto (kg m^{-3})

V_{pc} = Volume compactado seco do agregado graúdo por m³ de concreto

MU_c = Massa unitária compactada do agregado graúdo por m³ de concreto (kg m^{-3})

A estimativa do consumo do agregado miúdo (Ca) é imediata, quando já determinados os consumos do cimento, água e agregado graúdo. Isso se deve ao fato que por princípio, o volume de concreto é formado pela soma dos volumes absolutos dos materiais que o constituem. Assim, para 1,0 metro cúbico de concreto, o volume do agregado miúdo é dado pela equação (4).

$$V_a = 1 - \left(\frac{C}{\Upsilon_c} + \frac{C_p}{\Upsilon_p} + \frac{C_{ag}}{\Upsilon_{ag}}\right) =\therefore V_a = 1 - \left(\frac{410{,}00}{3100} + \frac{972}{2500} + \frac{205}{1000}\right) \therefore \quad (4)$$

$$\mathbf{V_a = 0{,}274\ m^3}$$

Em que:

V_a = Volume do agregado miúdo por metro cúbico de concreto (m^3)

Υ_c, Υ_p, Υ_{ag} = Massa específica do cimento, agregado graúdo e da água, respectivamente.

Tendo obtido o volume do agregado miúdo por metro cúbico de concreto (m^3), é possível calcular o consumo de areia por metro cúbico de concreto pela equação (5).

$$C_a = V_a \Upsilon_a \therefore C_a = 0{,}274\ 2550 \therefore C_a = 698{,}55\ kg\ m^{-3} \quad (5)$$

Em que:

Ca = Consumo do agregado miúdo (areia) por metro cúbico de concreto (kg m^{-3});

V_a = Volume do agregado miúdo por metro cúbico de concreto (m^3);

Υ_a = Massa específica do agregado miúdo (areia) (kg m^{-3}).

<u>5ª Etapa:</u> Traço final

A representação do traço, com relação ao unitário do cimento, é apresentada segundo a equação 6.

$$1{,}0 : \frac{C_a}{C} : \frac{C_p}{C} : \left(\frac{a}{c}\right) \therefore 1{,}0 : \frac{698{,}55}{410{,}00} : \frac{972}{410{,}00} : 0{,}50 \therefore \quad (6)$$

$$\underline{\mathbf{1{,}0 : 1{,}71 : 2{,}37 : 0{,}50\ (Traço\ final)}}$$

Em que:

Ca = Consumo do agregado miúdo (areia) por metro cúbico de concreto (kg m^{-3})

C= consumo de cimento, em kg m^{-3};

C_p = Consumo do agregado graúdo por metro cúbico de Concreto (kg m^{-3})

Cag= consumo de água, em litros m^{-3};

a/c= fator água/cimento.

Ao final dos cálculos o traço final foi testado em laboratório, onde houve a necessidade de se aumentar o fator a/c para 0,52 e adicionar aditivo superplastificante ao concreto.

6ª Etapa: Cálculo do aditivo

A substituição de areia natural pela cinza provoca uma diminuição no abatimento do concreto e, portanto dificuldade na trabalhabilidade. Logo, é necessário o uso de aditivo superplastificante, pois o simples acréscimo de água diminuiria a resistência do concreto. Foram realizados testes com os percentuais de 0,5%, 1,0%, 1,5% e 2% de aditivo sobre o peso do cimento. Sendo que 2% foi o percentual que atendeu a dosagem ótima.

O cálculo da quantidade de aditivo a ser adicionado é dado pela equação 7:

$$[\text{Volume do aditivo } (\text{cm}^3)] = \frac{[\text{massa do cimento (g)}]\,[\%\text{ do aditivo}]}{\left[\text{massa específica } \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right)\right]} \qquad (7)$$

$$[\text{Volume do aditivo } (\text{cm}^3)] = \frac{[6000\ (\text{g})\ \frac{2}{100}]}{\left[1{,}24\ \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right)\right]}$$

$$\mathbf{[Volume\ do\ aditivo\ (cm^3)] = 96{,}77\ \boldsymbol{cm^3}}$$

$$\mathbf{96{,}77\ cm^3 = 96{,}77\ \boldsymbol{ml}}$$

Com o uso de 2% de aditivo e aumentando o fator a/c para 0,52, foi testado em laboratório o traço com 50% de substituição de cinza. Porém, para esse tratamento o concreto não obteve abatimento e condições técnicas de trabalhabilidade. Portanto, não foram moldados corpos de prova acima de 40% de substituição.

Logo, as dosagens finais foram obtidas, conforme os valores observados na Tabela 18. Na Tabela 19 constata-se o consumo de materiais para cada traço.

Tabela 18. Dosagens finais dos concretos obtidos em laboratório.

Nome do Tratamento	Teor de cinza	Composição do traço de concreto (em massa)					
		Cimento	Areia	Brita	Cinza	A/C	Aditivo
T0	0%	1,00	1,71	2,37	-	0,52	-
T10	10%	1,00	1,539	2,37	0,171	0,52	-
T20	20%	1,00	1,368	2,37	0,342	0,52	2%
T30	30%	1,00	1,197	2,37	0,513	0,52	2%
T40	40%	1,00	1,026	2,37	0,684	0,52	2%

Fonte: Autoria própria (2017).

Tabela 19. Consumo de materiais em massa por traço de concreto.

Tratamento	Cimento (Kg)	Areia (Kg)	Brita (Kg)	Cinza (Kg)	A/C (l)	Aditivo (ml)
T0	6,00	10,26	14,22	0,00	3,12	0,00
T10	6,00	9,23	14,22	1,03	3,12	0,00
T20	6,00	8,21	14,22	2,05	3,12	96,77
T30	6,00	7,18	14,22	3,08	3,12	96,77
T40	6,00	6,16	14,22	4,10	3,12	96,77

Fonte: Autoria própria (2017)

3.4 METODOLOGIA DO ESTUDO EXPERIMENTAL

3.4.1 Mistura dos materiais

Foram moldados corpos de prova de concreto com 0%, 10%, 20%, 30% e 40% de substituição do agregado miúdo pela cinza. Esses corpos de prova tiveram a resistência à compressão determinada aos 7 e 28 dias de cura.

Foi utilizada betoneira de eixo inclinado com capacidade de 145 l (Figura 8), sendo a ordem de mistura a seguir:

1. Lançamento do agregado graúdo (100%);
2. Adição de 50% da água ao agregado graúdo, seguido de 20 segundos de mistura;
3. Adição de 100% do cimento mais 20% da água, seguido de 2 minutos de mistura;
4. Adição de 100% do agregado miúdo e da água restante ao misturador. No caso dos concretos contendo aditivos, neste passo também se adicionou o aditivo junto à água ao agregado miúdo;
5. Após a adição de todos os componentes no misturador, o equipamento continuou em movimento até que se completasse 5 minutos de mistura. Quando se utilizou aditivo químico, o tempo total de mistura foi prorrogado para 9 minutos, para garantir a ação do aditivo químico sobre a mistura.

Figura 8. Betoneira com capacidade para 145 litros.

Fonte: Autoria própria (2017).

3.4.2 Determinação da trabalhabilidade

A trabalhabilidade dos concretos produzidos foi determinada pelo ensaio de abatimento do tronco de cone segundo a NBR NM 67 (ABNT, 1998). Na Figura 9 observa-se a leitura no ensaio.

Figura 9. Leitura do abatimento do tronco de cone.

Fonte: Autoria própria (2017).

Os traços de referência (0%) e com 10% de substituição apresentaram abatimento de 30mm, os de 20% e 30% apresentaram 20mm de abatimento e 0 com 40% de cinza apresentou 10mm de abatimento. Portanto, nenhum dos traços alcançou o abatimento desejado na dosagem inicial.

3.4.3 Moldagem dos corpos-de-prova

A moldagem de corpos-de-prova foi realizada, conforme NBR 5738 (ABNT, 2015), em fôrmas de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura com exemplares constituídos por três corpos-de-prova para traço. O método de adensamento foi o de vibração, realizado com vibrador de imersão (Figura 10) no concreto.

Figura 10. Adensamento do concreto nos moldes.

Fonte: Autoria própria (2017).

3.4.4 Cura

Após a moldagem os corpos-de-prova permaneceram 24 horas no molde, essa foi à cura inicial (Figura 11A). Sendo depois desmoldados e submetidos ao processo de cura final por imersão em tanques de cura com água potável até a data de rompimento, conforme NBR 5738 (ABNT, 2015) como se verifica na Figura 11B.

Figura 11. Cura por 24 horas em moldes de corpos-de-prova (A) e cura final por imersão em água (B).

A. B.

Fonte: Autoria própria (2017).

3.4.5 Regularização de topos de corpos-de-prova

Os topos dos corpos-de-prova foram regularizados por uma retífica elétrica (Figura 12), tendo como objetivo regularizar qualquer deformação na superfície, para que a força aplicada no ensaio de compressão seja uniformemente distribuída em toda a superfície do corpo-de-prova.

Figura 12. Retífica elétrica.

Fonte: Autoria própria (2017).

3.4.6 Ensaio de resistência à compressão

A velocidade média de carregamento dos corpos-de-prova no teste de resistência à compressão foi estabelecida próxima de 1 t/s (0,55 MPa/s), valor compreendido dentro dos limites (0,3 MPa/s e 0,6 MPa/s) estabelecidos no item 5.6 da NBR 5739 (ABNT, 2007), que facilitava a operação manual da prensa durante o ensaio. Os ensaios de resistência à compressão foram realizados aos 7 e 28 dias após a moldagem. A prensa mecânica, marca EMIC e modelo HD-200T, com capacidade para 200 toneladas (Figura 13) utilizada no ensaio do Laboratório de Construção Civil do IFRN– Campus Mossoró.

Figura 13. Prensa mecânica.

Fonte: Autoria própria (2017).

3.5. DELINEAMENTO E ANÁLISE ESTATÍSTICA

O experimento foi montado no arranjo fatorial (5x2) com três repetições, tendo como fatores a serem estudados as cinco proporções de cinza nos corpos de prova (0%, 10%, 20%, 30% e 40%) e os dois tempos de cura (7 e 28 dias).

Nos dados dos ensaios de resistência à compressão realizou-se a análise de variância e o teste de média tukey a 5% de probabilidade.

4. RESULTADOS E DISCUSÃO

4.1. CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

4.1.1 Agregado miúdo

A areia natural quartzosa do rio Açu, município de Assú, RN, foi utilizada como agregado miúdo na pesquisa. Na Tabela 20 e Figura 14 é apresentada a análise granulométrica da areia, segundo o método proposto pela NM 248 (ABNT, 2003).

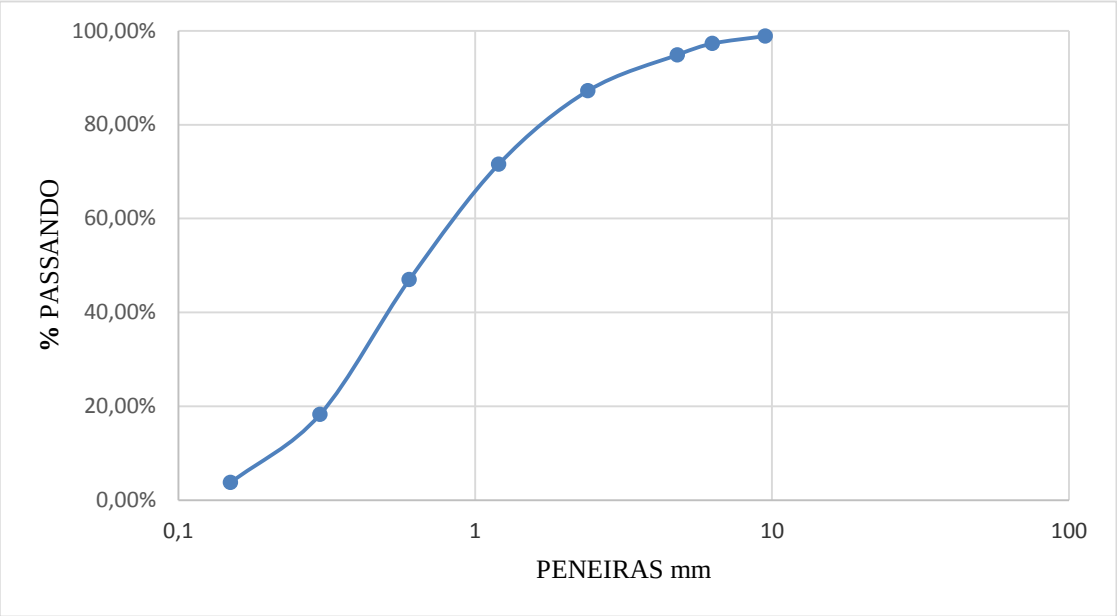
Tabela 20. Composição granulométrica da areia.

Peneira (mm)	Massa Retida (g)		Média		
	Amostra 1	Amostra 2	% Retida	% Acumulada	% Passando
9,5	4,88	6,87	1,13	1,13	98,87
6,3	6,19	10,31	1,59	2,72	97,28
4,8	7,01	17,92	2,40	5,13	94,87
2,4	30,87	48,48	7,65	12,77	87,23
1,2	76,35	86,14	15,66	28,44	71,56
0,6	127,01	128,16	24,60	53,04	46,96
0,3	157,99	139,78	28,71	81,74	18,26
0,15	85,47	64,88	14,50	96,24	3,76
Fundo	22,48	16,51	3,76	100,00	0,00
DMC[1]	4,8mm				
MF[2]	2,77				

[1] DMC = Dimensão máxima característica (Dmáx)
[2] MF = Módulo de finura

Fonte: Autoria Própria (2017).

Figura 14. Curva granulométrica da areia.



Fonte: Autoria Própria (2017).

A areia atendeu aos requisitos da NBR 7211, sendo classificada como areia fina (zona 2). O módulo de finura (MF) da areia de 2,77 está na faixa da zona ótima (2,20 – 2,90) de acordo com a NBR 7211. Na Tabela 21 verificam-se os resultados da caracterização física da areia.

Tabela 21. Caracterização física do agregado miúdo.

Propriedades	**Valores**
Massa Específica (NM 53)	2550 (kg m^{-3})
Massa Unitária (NM 53)	1450 (kg m^{-3})

Fonte: Autoria Própria (2017).

Os resultados obtidos para massa específica e massa unitária da areia estão de acordo com os valores comumente encontrados na literatura para esse agregado. Bessa (2011) e Silva (2014) também utilizaram agregados miúdos com essas características físicas em seus trabalhos. Esses valores foram utilizados na dosagem do traço do concreto utilizado nesse trabalho.

4.1.2 Agregado graúdo

A brita granítica foi utilizada como agregado graúdo nesta pesquisa. Estão apresentados na Tabela 22 e Figura 15 a análise granulométrica da brita, segundo o método proposto pela NM 248 (ABNT, 2003).

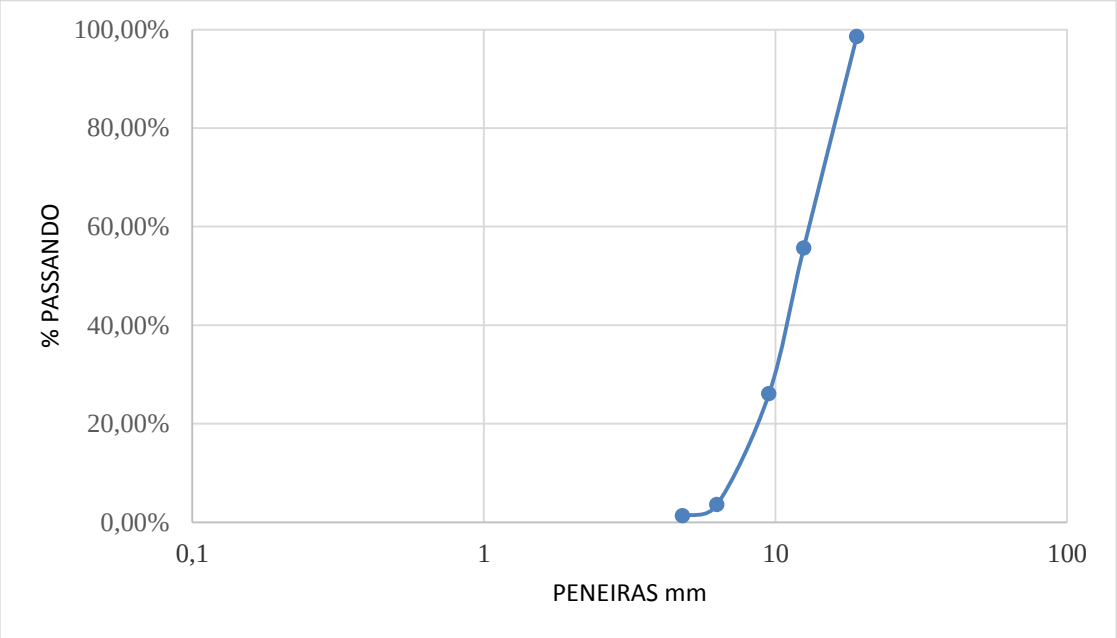
Tabela 22. Composição granulométrica da brita.

Peneira (mm)	Massa Retida (g)		Média		
	Amostra 1	Amostra 2	% Retida	% Acumulada	% Passando
19	58,10	85,30	1,43	1,43	98,57
12,5	2254,00	2054,50	42,89	44,32	55,68
9,5	1442,00	1532,30	29,61	73,93	26,07
6,3	1119,00	1143,40	22,52	96,45	3,55
4,8	99,60	125,80	2,24	98,70	1,30
Fundo	50,00	80,80	1,30	100,00	0
DMC[1]	19mm				
MF[2]	6,68				

[1] DMC = Dimensão máxima característica (Dmáx)
[2] MF = Módulo de finura

Fonte: Autoria Própria (2017).

Figura 15. Curva granulométrica da brita.



Fonte: Autoria Própria (2017).

Pela análise granulométrica essa brita se enquadrou pela NBR 7211 como graduação da brita n. 1. Na Tabela 23 observa-se a caracterização física da brita granítica. As massas específicas da brita granítica estão de acordo com os valores encontrados para esse tipo de agregado na região.

Tabela 23. Características físicas da brita granítica.

Propriedade	Valores
Massa Específica (NM 53)	2500 (kg/m³)
Massa Unitária (NM 53)	1440 (kg/m³)
Massa Unitária Compactada (NM 45)	1500 (kg/m³)

Fonte: Autoria Própria (2017).

4.2. CARACTERIZAÇÃO DA CINZA

4.2.1 Caracterização física

Conforme os resultados das análises granulométricas (Tabela 24) da amostra de cinza, segundo o método proposto pela NM 248 e NBR 7211 o resíduo foi classificado como sendo areia fina, com módulo de finura de 0,93 e DMC igual a 0,6mm. Na Figura 16 está ilustrada a curva granulométrica da cinza, onde é possível ver o comportamento análogo a da areia.

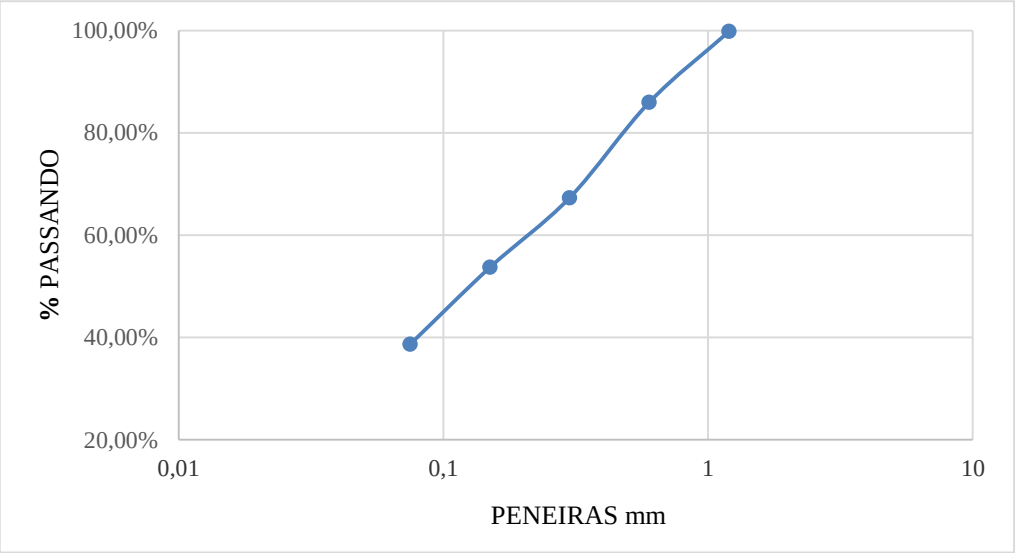
Tabela 24. Composição granulométrica da cinza.

Peneira (mm)	Massa Retida (g)		Média		
	Amostra 1	Amostra 2	% Retida	% Acumulada	% Passando
1,2	0,54	0,54	0,20	0,20	99,80
0,6	42,42	42,42	13,82	14,02	85,98
0,3	55,70	55,70	18,68	32,70	67,30
0,15	40,30	40,30	13,60	46,30	53,70
0,075	45,23	45,23	15,01	61,31	38,69
Fundo	115,80	115,80	38,69	100,00	0,00
DMC[1]	0,6mm				
MF[2]	0,93				

[1] DMC = Dimensão máxima característica (Dmáx)
[2] MF = Módulo de finura

Fonte: Autoria Própria (2017).

Figura 16. Curva granulométrica da cinza.



Fonte: Autoria Própria (2017).

É possível verificar na Tabela 25 a caracterização física da cinza.

Tabela 25. Caracterização física da cinza.

Propriedade	Valores
Massa Específica (NM 23)	2520 (kg m^{-3})
Massa Unitária (NM 45)	656 (kg m^{-3})
Área superficial específica Blaine (NBR 16372)	1725,75(m^2 kg^{-1})

Fonte: Autoria Própria (2017).

A massa específica (2520 kg m^{-3}) se aproxima do valor referente ao agregado miúdo (2550 kg m^{-3}), sendo um importante parâmetro para definição dos traços de concreto na próxima fase de análises. A massa unitária (656 kg m^{-3}) apresenta um valor maior que o da sílica ativa, na ordem de 250 a 300 kg/m³. Essa diferença aponta para a melhor compactação das partículas da cinza em relação às da sílica ativa. Esse resultado pode ser atribuído à forma dos grãos ou à variação do tamanho das partículas, o que confere a essas uma maior compacidade (Silva, 2000).

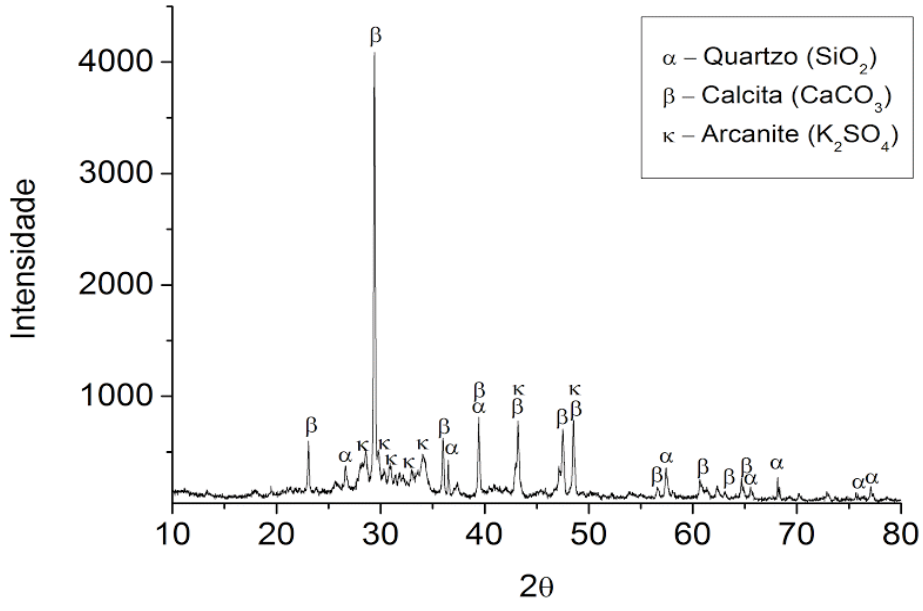
A área superficial específica pelo método de Blaine (172,57 m^2 kg^{-3}) apresenta um valor menor que a do cimento ARI utilizada nesse trabalho (452,98m^2 kg^{-3}) e menor que a especificada na NBR 5733 (ABNT, 1991) - maior que 300,00m^2 kg^{-3}. Logo, a

cinza possui maior dimensão máxima das partículas. Esse resultado é importante, pois devido a elevada área específica, qualquer alteração do teor de areia no concreto provocará alterações significativas no consumo de água e, consequentemente, no consumo de cimento e na trabalhabilidade (Rodrigues, 1998).

4.2.2 Análise da Difratometria de Raios X da cinza

No que se refere à difratometria de Raios X (Figura 17), pode-se constatar o estado estrutural cristalino da amostra analisada, principalmente pela ausência de um halo amorfo nos difratogramas, visto que há formação de picos bem definidos. Por meio do refinamento mineralógico, foi possível identificar a presença de quartzo, o mesmo observado por Cordeiro et al. (2008). O quartzo é uma das formas cristalinas da sílica ($SiO_{2),}$ sendo o componente principal da areia. Logo, a presença de sílica na forma cristalina reforça o uso da cinza de fornos da indústria cerâmica em substituição a areia, que é um material inerte, e não pelo cimento Portland, que tem propriedades aglomerantes.

Figura 17. Difratograma de raios X da cinza.



Fonte: Autoria Própria (2017).

A maior correspondência do DRX indica a presença de calcita, um dos polimorfos do carbonato de cálcio ($CaCO_3$). Já o aumento de intensidade dos picos das fases calcita pode ter sido ocasionado pela presença de cálcio na cinza, observado na análise química (Tabela 26) e no difratograma da cinza o mesmo indicado por Lima et al. (2009).

Pela identificação das fases cristalinas também foi identificada a presença do mineral arcanite (K_2SO_4) que indica a presença de sulfato de potássio, também encontrado em amostras de cinza da casca da castanha de caju (Lima et al. 2009). As cinzas usadas nesse trabalho também são originadas da queima de podas de cajueiro misturadas à lenha nos fornos das indústrias cerâmicas. O mesmo observou Santos et al. (2007) com cinzas originadas da queima do bagaço do caju.

4.2.3 Análise Química da cinza através da Fluorescência de Raios X

Apresentam-se, na Tabela 26, os percentuais dos elementos químicos presentes na cinza da indústria cerâmica que foram empregados como substituto parcial da areia no concreto. De acordo com as análises químicas realizadas, as cinzas não podem ser consideradas como materiais pozolânicos, devido ao teor de silício encontrado. Segundo Cincotto & Kaupatez (1988), o teor mínimo de silício considerado reativo é de 44%. Já a NBR 12653 (ABNT, 1992) classifica o material pozolânico como aquele que possui a soma dos componentes SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 superior a 70%. Logo, a cinza analisada não atende a essas características.

Tabela 26. Composição química das cinzas de forno da indústria cerâmica, empregando-se fluorescência de raios X.

Elementos químicos Constituintes	**Composição (%)**
Cálcio (Ca)	47,490
Potássio (K)	24,707
Silício (Si)	20,939
Enxofre (S)	2,589
Fósforo (P)	2,101
Ferro (Fe)	0,822
Estrôncio (Sr)	0,480
Manganês (Mn)	0,417
Bário (Ba)	0,192
Titânio (Ti)	0,072
Cromo (Cr)	0,059
Cobre (Cu)	0,054
Rubídio (Rb)	0,050
Zinco (Zn)	0,024
Molibdênio (Mo)	0,004
Níquel (Ni)	0,003

Fonte: Autoria Própria (2017).

O trabalho de Rodrigues & Beraldo (2010), utilizando cinzas de casca de arroz na composição da argamassa, mostrou após a análise de fluorescência de raios-X que a cinza é composta de 96,1% de SiO_2, 2,24% de K_2O, e apenas 1,66% dos óxidos (CaO, Fe_2O_3, MnO, Cr_2O_3, ZnO, Rb_2O e SrO). Ao comparar a composição química dessa cinza com a do presente estudo, verifica-se condição diferente da cinza de fornos da indústria cerâmica.

As cinzas dos fornos da indústria cerâmica estudadas nesse trabalho são advindas da queima de lenha de espécies do bioma caatinga e de podas de cajueiros. As cinzas vegetais contêm em sua composição cálcio, fósforo, cobre, zinco, manganês, ferro e boro (Darolt; Osaki, 1991).

Tendo em vista a composição química da cinza, comprova-se que o material não é reativo e não apresenta característica pozolânica na sua composição. Logo, a única aplicação possível é mesmo como material inerte servido como agregado miúdo na composição do concreto.

4.3 ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DOS CONCRETOS ENDURECIDOS

4.3.1 Análises da Resistência à Compressão

Na Tabela 27 é possível verificar as resistências individuais dos corpos de prova de concreto moldados com os tratamentos anteriores descritos.

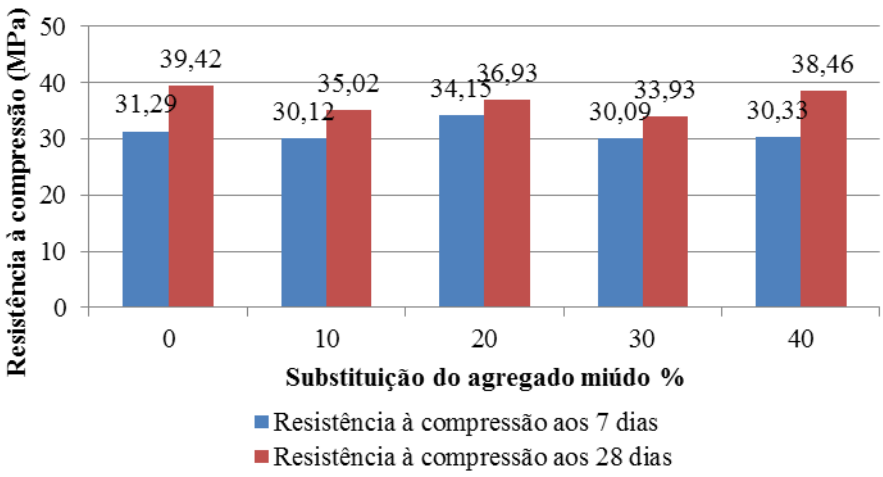
Tabela 27. Resistências dos Corpos de prova

Idade	Resistência à compressão (MPa)				
	T0	T10	T20	T30	T40
7 dias	30,92	28,16	31,90	30,04	32,53
	30,90	31,30	35,90	30,50	29,63
	31,29	30,89	34,64	29,72	28,83
14 dias	40,79	35,30	36,94	35,13	39,77
	39,26	35,65	36,87	31,65	38,50
	38,22	34,10	37,00	35,00	37,11

Fonte: Autoria própria (2017)

Para investigar a relação entre a resistência à compressão dos corpos de prova e o percentual de substituição, os valores médios obtidos para este parâmetro foram plotados em função do percentual de substituição parcial do agregado miúdo por cinza (Figura 18).

Figura 18. Efeito da adição de cinza na resistência à compressão do concreto.



Fonte: Autoria Própria (2017)

No ensaio segundo a NBR 5739 realizado após 28 dias de cura submersa, foi possível obter valores de resistência à compressão maior que todos os valores de corpos de prova aos 7 dias de cura. Esses resultados sugerem que o incremento de cinza não interferiu no ganho de resistência convencional do concreto que ocorre no tempo em virtude das reações químicas decorrentes da hidratação do cimento como destaca Araújo (2001).

Foi realizada uma análise de variância das resistências, com o intuito de avaliar a existência de influencia nesta propriedade pela proporção de cinza, tempo de cura e de suas interações. Essa mesma análise foi determinada por Silva (2014) na caracterização de cinza de biomassa e seu uso como adição mineral. Na Tabela 28 é possível verificar o resultado da análise de variância. O coeficiente de variação de 4,10% e a significância dos resultados da resistência à compressão para a proporção, tempo de cura e interação entre eles que foram significativos a 1% de probabilidade pelo Teste Tukey. Essas duas características da análise estatística possibilitam avaliar a precisão na realização dos ensaios, logo os erros experimentais não comprometeram os ensaios realizados.

Tabela 28. Resumo da análise de variáveis para a variável resistência à compressão no esquema variável.

Fatores de Variação	**Graus de liberdade**	**Quadrado médio**
Proporção de cinza	4	15,60**
Tempo de cura (TC)	1	231,74**
P x TC	4	9,11**
Resíduos	20	1,94
Coeficiente de variação (%)	4,10	
Média geral (MPa)	33,97	

NOTA: ** Significativo a 1% de probabilidade pelo Teste Tukey.

Fonte: Autoria Própria (2017).

A análise estatística nos valores das médias das resistências à compressão em relação aos tempos de cura aos 7 dias e 28 dias (Tabela 29) indicou as porcentagens que não diferem entre si. No tempo de cura de 7 dias a proporção de substituição de 20% de cinza obteve o maior valor, sendo 9,14% superior a resistência do concreto de referência. Aos 28 dias o concreto com a proporção de 40% de substituição alcançou o maior valor entre todas as resistências com substituição de cinza. A média da resistência

com essa porcentagem de substituição só teve diminuição de 2,43% com relação ao valor do concreto de referência.

Resultados semelhantes foram encontrados por Bessa (2011), onde em séries de concreto produzido com cinzas de biomassa obtiveram diferença de até 12,22% para o concreto referencial sem a cinza e o concreto com 50% de substituição.

Tabela 29. Médias das resistências à compressão (MPa) em relação ao tempo de cura

Tempo de cura	**Proporção de cinza (%)***				
(dias)*	0	10	20	30	40
7	31,29abB	30,12bB	34,15aB	30,09bB	30,33bB
28	39,42aA	35,02bA	36,94abA	33,93bA	38,46aA
DMS			3,41		

*Médias seguidas de pelo menos uma letra maiúscula nas colunas para cada tempo de cura e minúscula nas linhas para cada proporção de cinza não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.
Fonte: Autoria Própria (2017).

As resistências à compressão aos 28 dias para o concreto referência (0%) e concreto com 40% de substituição de areia pela cinza são estatisticamente iguais. Esse comportamento é atribuído às semelhanças química e física entre a areia e a cinza obtida nos fornos de indústrias cerâmicas da região.

Na Tabela 30 é possível verificar que as proporções de 0%, 20% e 40% não diferem estatisticamente entre si. Bem como 10%, 30% e 40% não diferem estatisticamente entre si, mas 0% e 20% diferem estatisticamente de 10% e 30%.

Tabela 30. Médias de resistências à compressão (RC em MPa) em relação às proporções de cinza.

Proporção de cinza (%)	**RC***
20	35,54 a
0	35, 36 a
40	34,40 ab
10	32,57 b
30	32,01 b
DMS	2,41

DMS – Desvio médio simples

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Fonte: Autoria Própria (2017).

A cinza de fornos de indústrias cerâmicas pode ser utilizada como material substituto parcial do agregado miúdo (20% a 40%) na produção de concreto de cimento Portland.

4.4 SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL

As cinzas geradas nos fornos das indústrias de cerâmica vermelha causam poluição ao solo e cursos de água, além de riscos à saúde humana devido à toxidade (ANICER &SEBRAE, 2014). A incorporação de cinzas de fornos de indústrias cerâmicas em substituição ao agregado miúdo significa um enorme ganho ambiental, pois permite uma destinação adequada para as cinzas residuais desse processo produtivo que é vital para a economia do estado do Rio Grande do Norte (SEBRAE, 2012). Esse resultado também foi alcançado por Cacuro et al. (2015), pois segundo ele a incorporação de cinzas a construção civil na produção de argamassas e concreto torna o processo de fabricação de materiais cimentícios mais sustentável.

Os resultados também mostram que é possível produzir concretos com até 40% menos areia, isto é, com melhor desempenho ambiental. Isso significa uma redução significativa do uso de areia natural para produção de concretos, pois segundo Valverde (2001) o concreto é constituído por aproximadamente 40% de agregado miúdo. Logo, essa diminuição levará a uma diminuição da extração de areia em cursos d'água que provoca 36 impactos ambientais negativos (Lelles, 2015). Esse resultado é mais satisfatório e impactante, ainda, para o meio ambiente considerando que são consumidos 11 bilhões de toneladas de concreto em todo o mundo (Pedroso, 2009).

Kanning et al. (2014) encontrou redução equivalente de impactos ambientais resultantes da acumulação de folhas de bananeiras no campo, através da utilização desse resíduo como adição em concretos e argamassas. Teixeira et al. (2016) com os resultados satisfatórios de resistência à compressão, também mostrou que a incorporação de biomassa permite uma melhor solução para a eliminação de cinzas, contribuindo simultaneamente para o concreto com melhor desempenho ambiental e alternativa promissora em vez de concretos de cimento simples.

Logo, o aproveitamento de cinzas oriundas dos fornos das indústrias cerâmicas como agregado miúdo é uma opção de proteção ambiental relevante por permitir uma destinação adequada a um resíduo abundante no estado do Rio Grande do Norte e

também por diminuir um componente do concreto que é extraído provocando muitos impactos ambientais negativos em leitos de rios.

5. CONCLUSÃO

- Segundo parâmetros físicos e químicos, a cinza pode ser equiparada a areia natural;
- A cinza não apresenta pozolanicidade e não é reativa. Seu comportamento é de material inerte;
- A cinza dos fornos de indústrias cerâmicas pode ser utilizada como material substituto parcial do agregado miúdo (até 40% de substituição) na produção de concreto;
- Os concretos com a cinza podem ser utilizados em estruturas de concreto armado;
- A incorporação de cinza em concretos permite uma destinação ambientalmente adequada desse resíduo;
- A utilização da cinza em substituição a agregado miúdo diminui a extração de areia de leitos de rios para uso na construção civil.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Utilizar a cinza em substituição a agregados miúdos de menor granulometria (areia fina) a fim de que a interação entre os dois materiais seja melhor analisada nas características do concreto;

- Estudar as propriedades do concreto com incorporação de cinzas no estado fresco;

- Analisar as possibilidades de aplicação da cinza em artefatos de concreto armado, por meio da execução, montagem e ensaio de protótipos de elementos de infraestrutura e/ou de mobiliário urbano;

- Avaliar os riscos ao meio ambiente provocados pelo uso da cinza dos fornos das indústrias cerâmicas incorporada em concretos;

- Avaliar a viabilidade econômica de artefatos produzidos com a cinza, por meio da comparação com o custo de elementos convencionais produzidos com agregados naturais.

LITERATURA CITADA

ASOCIACIÓN MERCOSUR DE NORMALIZACIÓN. NM 23: Cimento Portland e outros materiais em pó: determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1998.

_____. NM 45 – Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

_____. NM 52 - Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. NM 53: Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

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

_____. NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____. NRB 5733: Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

----------. NRB 5737: Cimentos Portland resistentes a sulfatos. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

_____. NBR 5738: Concreto- Procedimento para Moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

_____. NRB 5739: Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

_____. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

_____. NBR 7211: Agregados para concreto - Especificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. NRB 9935: Agregados – Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

_____. NBR 10004: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

_____. NRB 11768: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

_____. NRB 12653: Materiais pozolânicos - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

_____. NBR 12655: Concreto – Preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

_____. NBR 15900-1: Água para amassamento do Concreto. Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. NRB 16372: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método Blaine). Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. Guia Básico de Utilização do Cimento Portland. 9ªed. São Paulo: ABCP, 2012.

ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. Estudo técnico setorial da cerâmica vermelha. Brasília: IBDI, 2016.

Aksogan, O.; Binici, H.; Ortlek, E. Durability of concrete made by partial replacement of fine aggregate by colemanite and barite and cement by ashes of corn stalk, wheat straw and sunflower stalk ashes. Construction and Building Materials, v. 106, p. 253-263, 2016.

ANEPAC – Associação Nacional de Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil. Agregados: Areia e Brita, 2017. <http://www.anepac.org.br/agregados/areia-e-brita>. 05 mai. 2017.

ANICER – Associação Nacional da Indústria Cerâmica & SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. Cartilha Ambiental: Cerâmica Vermelha, 2014.

ANICER – Associação Nacional da Indústria Cerâmica. Relatório Anual 2015, 2015. <http://anicer.com.br/wp content/uploads/2016/11/relatorio_2015.pdf >. 05 mai. 2017.

Araújo, J. M. de. A resistência à compressão e critérios de ruptura para o concreto. 1.ed. Rio Grande: DUNAS, 2001.

Bauer, L. A. Falcão. Materiais de Construção. 5.ed. revisada. Rio de Janeiro: LTC, 2013. 488p.

Bessa, S. A. L. Utilização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como agregado miúdo em concretos para artefatos de infraestrutura urbana. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2011. Tese Doutorado.

Bezerra, I.M.T; Souza, J.; Carvalho, J.B.Q de; Neves, G.A. Aplicação da cinza da casca do arroz em argamassas de assentamento. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.15, p.639–645, 2011.

Borja, E. V. de. Efeito da adição de argila expandida e adições minerais na formulação de concretos estruturais leves autoadensáveis. Natal: UFRN, 2011. Tese Doutorado.

Borlini, M. C.; Sales, H.F.; Vieira, C.M.F; Conte, R.A.; Pinatti, D.G.; Monteiro, S.N. Cinza da lenha para aplicação em cerâmica vermelha Parte I: características da cinza. Cerâmica, v.51, p.192-196, 2005.

Bueno, Carlos Frederico Hermeto. Tecnologia de Materiais de Construção. 1.ed. Viçosa: UFV, 2000.

Cacuro, T. A.; Waldman, W. R.; Cinzas da Queima de Biomassa: Aplicações e Potencialidades. Revista Virtual de Química. v.7, p.2154-2165, 2015.

Callister, W. D. Ciência e Engenharia de Materiais Uma Introdução. Trad. Sergio M. S. Soares. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

Campos, R.N.; Silva, R.B.; Fontes, C.M.A.; Lima, P.R.L. Avaliação da RAA em argamassas produzidas com cinza de biomassa com alto teor de álcalis. In: Encontro Luso-Brasileiro de Degradação em Estruturas de Concreto Armado, 1, 2014, Salvador. Anais.

Cincotto, M.A.; Kaupatez, R.Z. Seleção de materiais quanto à atividade pozolânica. In: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. Tecnologia de edificações. São Paulo: Pini, 1988. p.23-26.

Cordeiro, G. C.; Toledo Filho, R. D.; Tavares, L. M.; Fairbairn, E. R. M. Pozzolanic activity and filler effect of sugar cane bagasse ash in Portland cement and lime mortars. Cement & Concrete Composites, v. 30, p. 410–418, 2008.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Norte. Rio de Janeiro: CPRM, 2010.

Dal Molin, D. C. C. Adições minerais para concreto estrutural. In: ISAIA, G. C. (Ed.). Concreto: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. v.1, cap. 12, p. 345-380.

Darolt, M.R.; Osaki. F. Efeito da cinza de caeira de cal sobre a produção da aveia preta, no comportamento de alguns nutrientes. In: Calagem & Adubação. Campinas: Instituto Brasileiro de Ensino Agrícola, 1991. 33p.

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. Areia para construção. Sumário Mineral 2014. http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/areia-construcao-sumario-mineral-2014. 05 mai. 2017.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2016: Ano base 2015. Rio de Janeiro: EPE, 2016. 296p.

Fernandes, S.E.; Tashima, M.M.; Moraes, J. C.B. de; Istuque, D.B.; Istuque, D.B.; Fioriti, C. F.; Melges, J.L.P.; Akasaki, J.L. Cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBC) como adição mineral em concretos para verificação de sua durabilidade. Revista Matéria, v.20, p. 909-923, 2015.

FIEMG – Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais. Guia Técnico Ambiental da Indústria de Cerâmica Vermelha. Minas Gerais: FIEMG, 2013.

Fonseca, G. C. da. Adições minerais e as disposições normativas relativas à produção de concreto no Brasil: uma abordagem epistêmica. Belo Horizonte: UFMG, 2010. Dissertação Mestrado.

Freitas, C. Estudo do desempenho mecânico de concreto com adição de partículas de borracha para aplicação como material de reparo em superfícies hidráulicas. Curitiba: UFPR, 2007. Dissertação Mestrado.

Gomes, P. C. C.; Barros, A. R. Métodos de dosagem de concreto auto-adensável. São Paulo: PINI, 2009.

IDEMA - Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte. Relatório de Sobrevoo: Rio Apodi-Mossoró. Natal: IDEMA, 2009.

Iervolino, M. Tecnologia dos materiais de construção. 1.ed. Suzano, 2010. 81p.

Kanning, R. C.; Portella, K. F.; Bragança, M. O. G. P.; Bonato, M.; Santos, J. C. M. dos. Banana leaves ashes as pozzolan for concrete and mortar of Portland cement. Construction and Building Materials, v. 54, p. 460-465, 2014.

Kieling, A. G. Influência da segregação no desempenho de cinzas de casca de arroz como pozolanas e material adsorvente. São Leopoldo: UVRS, 2009. Dissertação Mestrado.

Lelles, L. C.; Silva, E.; Griffith, J.J.; Martins, S.V. Perfil ambiental qualitativo da extração de areia em cursos d'água. Revista Árvore, v. 29, p. 439-444, 2005.

Lima, S. A.; Sales, A.; Almeida, F. do C. R.; Moretti, J. P.; Portella, K.F. Concretos com cinza do bagaço da cana-de-açúcar: avaliação da durabilidade por meio de ensaios de carbonatação e abrasão. Ambiente Construído, v.11, p.201-212. 2011.

Lima, S.A.; Rossignolo, J.A. Análise da pozolanicidade da cinza da casca da castanha do caju pelo método de difratometria de raios X. Revista Matéria, v.14, p. 680-688, 2009.

Mehta, P. K.; Monteiro, P. J. M. Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais. 2.ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

Melo, G. F. Concreto celular polimérico. Natal: UFRN, 2009. Tese Doutorado.

MME – Ministério de Minas e Energia. Agregados para Construção Civil, Relatório Técnico 31 – Perfil de areia para construção civil, projeto de assistência técnica ao setor de energia. Brasília: MME, 2009.

MME – Ministério de Minas e Energia. Anuário Estatístico: Setor de Transformação de Não metálicos. Brasília: MME, 2011.

Pedroso, F. L. Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. Concreto e Construções, v.53, p.14-19, 2009.

Pfaltzgraff, P. A. dos S. Aspectos ambientais da lavra de areia, exemplo da área produtora do rio São João. Rio de Janeiro: UFRJ, 1994. Dissertação Mestrado.

Rodrigues, P. P. F. Parâmetros de Dosagem do Concreto. 3ª Ed. São Paulo: IBRACON, 1998.

Sales, A.; Lima, S. A. Use of Brazilian sugarcane bagasse ash in concrete as sand replacement. Waste Management, v.30, p. 1114-1122, 2010.

Santos, R. P.; Santiago, A. A. X.; Gadelha, C. A. A.; Cajazeiras, J. B.; Cavada, B. S.; Martins, J. L.; Oliveira, T. M.; Bezerra, G. A.; Santos, R. P.; Freire, V. N. Production and characterization of the cashew (Anacardium occidentale L.) peduncle bagasse ashes. Journal of Food Engineering, v. 79, p. 1432-1437, 2007.

Sarkar, S. L.; Aimin, X.; Jana, D. Scanning electron microscopy X-ray microanalysis of concretes. In: Ramachandran, V. S., Beaudoin, J. J. (eds), Handbook of analytical

techniques in concrete science and technology – Principles, techniques, and applications, New Jersey: Noyes Publications, p. 231-274, 2001.

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. (2012). Diagnóstico da indústria de cerâmica vermelha do estado do Rio Grande do Norte. < https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ufs/rn/sebraeaz/industria-ceramica-ermelha-no-rn,9f0093a8a2715510VgnVCM1000004c00210aRCRD >. 05 mai. 2017.

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. Cerâmica vermelha para construção: telhas, tijolos e tubos. Estudos de Mercado Sebrae/ESPM, 2008.

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. Cerâmica Vermelha: Panorama do mercado no Brasil, 2015. < http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/b877f9b38e787b32594c8b6e5c39b244/$File/5846.pdf>. 05 mai. 2017.

Serna, H. A. de La; Recuero, J. C.; Rezende, M. M.; Cavalcanti, V. M. M. Agregados para Construção Civil. São Paulo: DNPM, 2007. p.602-635.

Silva, I. J. Contribuição ao estudo dos concretos de elevado desempenho com adição de sílica ativa: propriedades mecânicas, durabilidade e características da microestrutura. São Paulo: USP, 2000. Tese de Doutorado.

Silva, M. G. Cimentos Portland com adições minerais. In: ISAIA G. C. (Ed). Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais. São Paulo: IBRACON, 2007. Cap. 23, p. 761-793.

Silva, R. B. Caracterização de cinza de biomassa gerada na agroindústria do cacau e seu uso como adição mineral em concretos. Feira de Santana: UEFS, 2014. Dissertação Mestrado.

Tanno, L.C.; Sintoni, A. Mineração & Município: bases para planejamento e gestão dos recursos minerais. São Paulo: IPT, 2003. 194p.

Teixeira, E.R.; Mateus, R.; Camões, A. F.; Bragança, L.; Branco, F.G. Comparative environmental life-cycle analysis of concretes using biomass and coal fly ashes as partial cement replacement material. Journal of Cleaner Production, v. 112, p. 2221-2230, 2016.

Torres, A.F. Dosagem dos concretos - Boletim nº 1. São Paulo: IPT, 1993.

Valverde, F. M. Agregados para construção civil. Balanço Mineral Brasileiro. São Paulo: DNPM, 2001. 15p.

Van Vlack, L. H. Princípios de Ciência dos Materiais. Trad. Eng. Luiz P. C. Ferrão. 1. Ed. São Paulo: Blucher, 1970.

Vaske, N. R. Estudo Preliminar da Viabilidade do Aproveitamento da Cinza proveniente de Filtro Multiciclone pela Combustão de Lenha de Eucalipto em Caldeira Fumotubular como Adição ao Concreto. Porto Alegre: UFRGS, 2012. Tese Doutorado.

Vieira, J. L. M.; Delgado, R. C. de O. B.; Silva, E. F. da.; Gurgel, M. T.; Lopes, H. M. T. Recursos minerais de uso na construção civil e impactos ambientais na mesorregião do oeste potiguar. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 15, 2015, Bento Gonçalves. Anais.

Vieira, G.; Rezende, E. N. Mineração de areia e meio ambiente: é possível harmonizar? Revista do Direito Público, v.10, p.181-212, 2015.

Wang, D.; Zhou, X.; Meng, Y.; Chen, Z. Durability of concrete containing fly ash and silica fume against combined freezing-thawing and sulfate attack. Construction and Building Materials, v. 147, p. 398-406, 2017.