



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
NÚCLEO DE DESENVOLVIMENTO AMAZÔNICO EM ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFRAESTRUTURA E
DESENVOLVIMENTO ENERGÉTICO

TAIANA DA SILVA FERREIRA

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DA CINZA DO CAROÇO DE AÇAÍ NA
CERÂMICA VERMELHA**

Tucuruí - Pará

2019

TAIANA DA SILVA FERREIRA

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DA CINZA DO CAROÇO DE
AÇAÍ NA CERÂMICA VERMELHA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Infraestrutura e Desenvolvimento Energético do Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Infraestrutura e Desenvolvimento Energético.

Área de concentração: Infraestrutura.

Orientador: Prof. Dr. Júnior Hiroyuki Ishihara

Coorientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Lima Souza

Tucuruí – PA

2019

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a)
autor(a)**

F383a Ferreira, Taiana da Silva
Análise das propriedades tecnológicas da cinza do
caroço do açaí na cerâmica vermelha / Taiana da Silva
Ferreira. — 2019.
103 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Júnior Hiroyuki Ishihara
Coorientador(a): Prof. Dr. Paulo Sérgio Lima Souza
Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Infraestrutura e Desenvolvimento Energético,
Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia,
Universidade Federal do Pará, Tucuruí, 2019.

1. Argila.. 2. Cerâmica Vermelha. 3. Meio Ambiente.
4. Resíduo. I. Título.

CDD 691

TAIANA DA SILVA FERREIRA

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DA CINZA DO CAROÇO
DE AÇAÍ NA CERÂMICA VERMELHA**

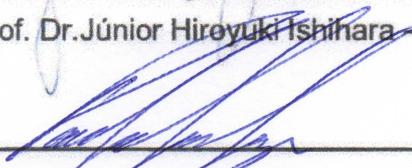
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Infraestrutura e Desenvolvimento Energético do Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Infraestrutura e Desenvolvimento Energético.
Área de concentração: Infraestrutura.

Aprovada em 16 de Setembro de 2019.

BANCA EXAMINADORA:



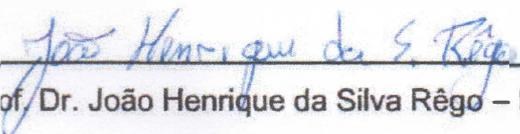
Prof. Dr. Júnior Hiroyuki Ishihara – Orientador (PPGINDE/UFPA)



Prof. Dr. Paulo Sérgio Lima Souza – Coorientador (PPGINDE/UFPA)



Prof. Dr. Wassim Raja El Banna – Examinador Interno (PPGINDE/UFPA)



Prof. Dr. João Henrique da Silva Rêgo – Examinador Externo (PECC/UnB)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me conceder força, perseverança e sabedoria para enfrentar os momentos difíceis.

A minha família pelo apoio, a minha mãe Regina por está ao meu lado nas minhas decisões e que se faz presente em todos os momentos da minha vida.

Aos meus amigos Mateus Mousinho, Mísley Teixeira, Jedson Abrantes e família pelo apoio, pelo carinho e compreensão durante esse período de estudo.

Ao meu melhor amigo e companheiro de todas as horas Felipe Mesquita, pela paciência, ajuda e por me devolver a calma nos momentos em que as coisas pareciam não ter solução.

Aos Professores Júnior Hiroyuki Ishihara, Paulo Sérgio Lima, Fernanda Gouveia e Carolina Coelho, pela boa vontade, paciência, pelo ensinamento, discussões produtivas e incentivos.

Ao Senhor Humberto Macias, técnico do laboratório LACER pela ajuda na realização dos ensaios, pelo o conhecimento imensurável, por ter buscado sempre a excelência durante o trabalho e pela paciência.

A todos aqueles que contribuíram direta e indiretamente de alguma maneira, o meu muito obrigada!

“E tua fruta vai rolando.
Para os nossos alguidares
Tu te entregas ao sacrifício
Fruta santa, fruta mártir
Tens o dom de seres muito
Onde muitos não têm nada
Uns te chamam açazeiro
Outros te chamam juçara”
(Nilson Chaves)

RESUMO

As matérias-primas provenientes da exploração de jazidas utilizadas para fabricação de produtos empregados na construção civil e os impactos ambientais ocasionados pelo setor da cerâmica vermelha evoluíram conforme o desenvolvimento das cidades. A necessidade do uso de materiais alternativos, como biomassas residuais tem tornado cada vez mais necessários estudos voltados para o reaproveitamento de resíduos no processo de produção e fabricação de materiais cerâmicos. Dessa forma, este trabalho possui o objetivo de avaliar a incorporação da cinza do resíduo do caroço do açaí (RCA) na massa argilosa e avaliar as propriedades tecnológicas da cerâmica vermelha. Os materiais foram caracterizados quimicamente e fisicamente, e, então realizada a moldagem dos corpos de provas por extrusão, utilizando teores de 0%, 10%, 15% e 20% de cinzas de RCA misturadas em dois tipos de argilas, denominadas argila vermelha e argila escura. Após a queima a 950 °C, as peças foram submetidas aos ensaios de absorção de água, porosidade aparente, massa específica aparente, retração linear e tensão de ruptura a flexão. Os resultados obtidos demonstraram que o uso da cinza de RCA contribuiu para trabalhabilidade das misturas, diminuindo a necessidade de acréscimo de água para moldagem. Também pôde ser verificado que o teor de 10% de cinza como substituto parcial da argila vermelha, e da massa contendo 50% de argila vermelha e 50% de argila escura, influenciou de forma positiva nas propriedades tecnológicas avaliadas. No entanto, para os teores de 20% de incorporação de cinzas de RCA, os valores foram medianos e para o ensaio de porosidade insatisfatório. Dessa forma, foi possível verificar a viabilidade técnica do uso de cinza do caroço do açaí em substituições parciais, contribuindo para redução de exploração de matérias-primas, redução do descarte de resíduos sólidos e o reaproveitamento da biomassa residual do caroço do açaí na produção de materiais cerâmicos.

Palavras-chave: Argila. Cerâmica Vermelha. Meio Ambiente. Resíduo.

ABSTRACT

The raw materials from the exploration of deposits used for the manufacture of products used in construction and the environmental impacts caused by the red ceramic sector evolved as cities developed. The need for the use of alternative materials, such as waste biomass, has become increasingly necessary studies aimed at the reuse of waste in the process of production and manufacture of ceramic materials. Thus, this work has the objective of evaluating the incorporation of ash from the acai kernel residue (RCA) in the clay mass and to evaluate the technological properties of red ceramic. The materials were chemically and physically characterized, and then extruded specimens were molded using 0%, 10%, 15% and 20% RCA ash mixed in two types of clay, called red clay and dark clay. After firing at 950 °C, the pieces were subjected to water absorption, apparent porosity, specific gravity, linear shrinkage and flexural strength stress tests. The results showed that the use of RCA ash contributed to the workability of the mixtures, reducing the need for additional water for molding. It was also verified that the 10% ash content as a partial substitute of red clay, and the mass containing 50% of red clay and 50% of dark clay, had a positive influence on the evaluated technological properties. However, for the 20% ash incorporation of RCA, the values were median and for the unsatisfactory porosity assay. Thus, it was possible to verify the technical feasibility of using açai stone ash in partial substitutions, contributing to the reduction of raw material exploration, reduction of solid waste disposal and the reuse of the residual biomass of açai stone in the production of ceramic materials.

Keywords: Clay. Red Ceramics. Environment. Residue.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 – Principais Regiões produtoras de cerâmica vermelha no estado do Pará.....	19
Figura 2.1 – Etapas de produção vermelha.	23
Figura 2.2 – Extrusora (maromba).	25
Figura 2.3 – Máquina de corte.....	26
Figura 2.4 – Secagem natural.	27
Figura 2.5 – Classificação granulométrica da argila.....	29
Figura 2.6 – Propriedades das cerâmicas.....	30
Figura 2.7 – Principais setores cerâmicos, matérias-primas e processo de fabricação.	31
Figura 2.8 – Setores de Consumo de Argila.	32
Figura 2.9 – Funções das composições mineralógica da argila.....	35
Figura 2.10 – Áreas de produção de minerais industriais cerâmicos.	38
Figura 2.11 – Açaí touceira e açaí solteiro.	39
Figura 2.12 – Distribuições geográficas das espécies distintas de açaí.....	40
Figura 2.13 – Produção de açaí em porcentagem nos estados Brasileiro.	41
Figura 2.14 – Produção de açaí nos municípios do Pará.....	42
Figura 2.15 – Fluxograma do processamento do açaí.	43
Figura 2.16 – Caracterizações de eficiências energéticas de fontes de biomassas..	47
Figura 2.17 – Resistência à compressão dos tijolos conforme a quantidade de cinzas.	49
Figura 2.18 – Porosidade (ϵ), resistência a flexão (σ_f) e absorção de água (W_a). ...	50
Figura 2.19 – Resistência à compressão dos tijolos com adições de cinzas de RHA e SBA.....	51
Figura 3.1 – Fluxograma de etapas para o desenvolvimento da pesquisa.	55
Figura 3.2 – Resíduo do caroço de açaí coletado.	56
Figura 3.3 – Resíduo coletado e processado.....	58
Figura 3.4 – Argilas usadas para confecção dos corpos de prova	59
Figura 3.5 – Ensaio de determinação granulométrica da argila.	60
Figura 3.6 – Ensaio de determinação granulométrica da argila.	61
Figura 3.7 – Ensaio de determinação do limite de liquidez.	61

Figura 3.8 - Difratoograma de raios X das amostras: argila vermelha (a), argila escura (b) e cinzas de RCA(c).	64
Figura 3.9 – Mistura de argila seca e cinza do caroço de açaí.....	67
Figura 3.10 – Mistura da argila com cinza de RCA.	67
Figura 3.11 – Extrusão da massa cerâmica.	68
Figura 3.12 – Secagem em temperatura ambiente dos corpos de prova.	69
Figura 3.13 – Curva de queima dos corpos de prova.....	70
Figura 3.14 – Corpos de prova sinterizados.....	70
Figura 3.15 – Determinação do peso com o corpo de prova submerso.	72
Figura 3.16 – Medidas dos corpos de provas após a sinterização.....	74
Figura 3.17 – Ensaio de resistência a flexão.....	75
Figura 4.1 – Curva granulométrica da argila vermelha.....	76
Figura 4.2 – Curva granulométrica da argila escura.....	77
Figura 4.3 – Curva granulométrica das cinzas de RCA.....	78
Figura 4.4 – Absorção de água dos corpos de prova contendo AV	79
Figura 4.5 – Absorção de água dos corpos de prova contendo 50% de AV e 50% de AE.	80
Figura 4.6 – Porosidade aparente dos corpos de prova contendo AV.	81
Figura 4.7 – Porosidade aparente dos corpos de prova contendo 50% AV e 50% de AE.	82
Figura 4.8 – Massa específica aparente dos corpos de prova contendo AV.....	83
Figura 4.9 – Massa específica aparente dos corpos de prova contendo 50% AV e 50% de AE.	84
Figura 4.10 – Retração linear dos corpos de prova contendo argila vermelha.	86
Figura 4.11 – Retração linear dos corpos de prova contendo 50% AV e 50% de AE.	87
Figura 4.12 – Tensão de ruptura a flexão (TRF) dos corpos de prova contendo AV.....	88
Figura 4.13 – TRF dos corpos de prova contendo 50% AV e 50% de AE.	89

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Funções tecnológicas das argilas.....	33
Quadro 2.2 – Identificação da composição química do material argiloso por meio das colorações.	34
Quadro 2.3 – Produtos obtidos por meio do beneficiamento do caroço do açaí.	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Distribuição de combustível do setor da cerâmica vermelha.....	22
Tabela 3.1 – Limites de Atterberg das massas com e sem resíduos incorporados...	62
Tabela 3.2 – Composição química das argilas e das cinzas de RCA.	65
Tabela 3.3 – Composição da massa cerâmica com resíduo de RCA.	66
Tabela 4. 3 – Resumo dos resultados dos ensaios físicos e mecânicos.....	90
Tabela 4. 4 – Geração e aproveitamento de RCA.....	91

LISTA DE ABREVIATURAS

AV	ARGILA VERMELHA
AE	ARGILA ESCURA
CCA	CINZA DO CAROÇO DO AÇAÍ
RCA	RESÍDUO DO CAROÇO DO AÇAÍ
RHA	CINZAS DE CASCA DE ARROZ
SBA	CINZAS DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR
TRF	TENSÃO DE RUPTURA A FLEXÃO

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABC	Associação Brasileira de Cerâmica
ASTM	American Society for Testing and Materials
PCS	Poder Calorífico Superior
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
CAMTUC	Campus Universitário de Tucuruí
CIB	Conselho Internacional da Construção
FIEMG	Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais
FEAM	Fundação Estadual de Meio Ambiente
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INT	Instituto Nacional de Tecnologia
LACER	Laboratório de Cerâmica Vermelha
LEC	Laboratório de Engenharia Civil
NBR	Norma Brasileira
PA	Pará

LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

σ	tensão de ruptura à flexão
Al	alumínio
Ca	cálcio
cm ³	centímetro cúbico
F	força
Fe	ferro
H	hidrogênio
K	potássio
K	Quilograma
Lo	comprimento inicial do corpo de prova
L	comprimento final do corpo de prova
LL	limite de liquidez
LP	limite de plasticidade
P	fósforo
IP	índice de plasticidade
M.E.A	massa específica aparente
min	minuto
Mg	magnésio
M	manganês
Na	sódio
O	oxigênio
mm	milímetro
MPa	megapascal
N	newton
Na	sódio
NP	não plástico
P.A	porosidade aparente
Pu	peso úmido do corpo de prova
Ps	peso seco do corpo de prova
Pi	peso imerso do corpo de prova
RL	retração linear
Si	sílica
ε	porosidade

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 JUSTIFICATIVA	17
1.2 OBJETIVOS	20
1.2.1 Objetivo Geral	20
1.2.2 Objetivos Específicos	20
2 REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1 INDÚSTRIA DA CERÂMICA VERMELHA.....	21
2.2 PROCESSO DE PRODUÇÃO DE BLOCOS E TELHAS CERÂMICAS	22
2.2.1 Extração da matéria-prima	23
2.2.2 Desintegração e mistura da massa cerâmica.....	24
2.2.3 Laminação.....	24
2.2.4 Extrusão	24
2.2.5 Corte.....	25
2.2.6 Prensagem	26
2.2.7 Secagem	26
2.2.8 Queima.....	27
2.3 ARGILA	28
2.3.1 Definição	28
2.3.2 Depósito de Argila	33
2.3.3 Argilominerais.....	34
2.3.4 Propriedades das Argilas	36
2.4 CERÂMICA VERMELHA.....	36
2.5 AÇAÍ.....	39
2.6 RESÍDUO DO CAROÇO DE AÇAÍ.....	45
2.7 USO DE CINZAS DE RESÍDUOS NA CERÂMICA VERMELHA	47
3 METODOLOGIA	53
3.1 TIPO DE PESQUISA.....	53
3.1.1 Coleta de Dados.....	53
3.1.2 Técnica de Análise de Dados.....	54
3.2 MATÉRIAS-PRIMAS	55
3.2.1 Coleta de Resíduos e Transporte.....	56
3.2.2 Preparo do Material para Queima	57

3.2.3 Cinza do Resíduo do Caroço do Açaí	57
3.2.4 Argila Vermelha e Argila Escura.....	58
3.3 CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS.....	59
3.3.1 Análise Granulométrica das Matérias-primas.....	59
3.3.2 Plasticidade	60
3.3.3 Plasticidade das Composições.....	62
3.3.4 DRX das matérias - primas e resíduo de RCA.....	63
3.3.5 Análise Química	64
3.4 FABRICAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	66
3.4.1 Mistura e Homogeneização.....	66
3.4.2 Extrusão	68
3.4.3 Secagem	68
3.4.4 Queima.....	69
3.5 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS	71
3.5.1 Absorção de Água.....	71
3.5.2 Porosidade Aparente.....	71
3.5.3 Massa Específica Aparente.....	73
3.5.4 Retração Linear.....	73
3.5.5 Tensão de Ruptura à Flexão.....	74
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	76
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA	76
4.1.1 Granulometria das Argilas	76
4.1.2 Granulometria do Resíduo	78
4.2 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS	79
4.2.1 Absorção de água	79
4.2.2 Porosidade Aparente.....	81
4.2.3 Massa Específica Aparente.....	83
4.2.4 Retração Linear de Queima	84
4.2.5 Tensão de Ruptura à Flexão.....	87
5 CONCLUSÕES	92
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94

1 INTRODUÇÃO

O uso dos recursos naturais na construção civil no século XXI tem aumentado gradativamente, pois a produção de materiais de construção utilizados neste setor tem sido cada vez maior. Dessa forma, é importante o desenvolvimento de estudos e de novas tecnologias sustentáveis, cujo ensejo principal está em atender as demandas do cenário econômico, ambiental e social.

A sustentabilidade na construção civil tem sido amplamente discutida, seja no intuito de estratégia empresarial ou mesmo na própria necessidade da reutilização de materiais que possam minimizar os problemas referentes à degradação ambiental (LUCENA, 2007).

Uma das maneiras encontradas para reduzir a degradação ambiental é a utilização de produtos recicláveis. O uso da reciclagem abrange técnicas para o aproveitamento de resíduos e de rejeitos e o introduz novamente ao ciclo de produção (MENEZES *et al.*, 2002).

A importância da reciclagem de resíduos não é somente para redução do uso de recursos naturais, mas para a preservação da fauna e flora, diminuições de emissões de poluentes, menor consumo de energia e melhoria da saúde da população (MENEZES *et al.*, 2002).

De acordo com o Ministério de Meio Ambiente (2018), o setor da construção civil é um dos maiores consumidores de recursos naturais e energia, gerando grandes impactos ambientais, além de ser responsável por cerca de 50% dos resíduos sólidos gerados.

Silva (2013) afirma que o setor cerâmico é muito utilizado na construção civil e que devido à alta demanda de mercado, o aumento da exploração de matérias – primas é eminente. As indústrias cerâmicas pertencem a um tipo de comércio bastante competitivo, portanto, o aumento da escala produtiva se faz necessária para atendimento do alto consumo, o que conseqüentemente acarreta na degradação ambiental (ALMEIDA, 2015).

Segundo Carvalho *et al.*, (2017), diversos setores industriais produzem cinzas durante os processos produtivos. Esse tipo de resíduo gerado também por agroindústrias pode ser aproveitado em materiais da construção civil, a exemplo das

cinzas da casca de arroz e do bagaço da cana-de-açúcar, que tem apresentado resultados positivos quando adicionados em materiais cimentícios.

Estudos relacionados a resíduos agrícolas e industriais para obtenção de óleos combustíveis e carvão ativado tem mostrado a importância de desenvolvimento de tecnologias voltadas para a sustentabilidade e economia no Brasil, que hoje importa esses tipos de produtos (JUNIOR, 2010).

Segundo Rocha (2013) a utilização do resíduo do caroço do açaí juntamente com lenha nativa e serragem já é amplamente aproveitado como fonte energética em algumas indústrias de cerâmicas na região do município do Guamá – PA. Este uso deveu-se a escassez crescente da lenha nativa, bem como o maior controle fiscal por parte dos órgãos ambientais estaduais e federais.

A atividade agrícola da plantação da palmeira do açaí (*euterpe olerácea mart*) é desenvolvida nas regiões do lago de Tucuruí - PA e o seu fruto é um dos principais alimentos e obtenção de renda de muitas famílias ribeirinhas. Todavia, a quantidade de rejeito gerado apresenta um grande problema ambiental devido ao descarte de forma inapropriada.

Dada a prática da queima do caroço do açaí como fonte de energia térmica para produção de insumos cerâmicos, este gera as cinzas como resíduos que são descartados no meio ambiente (ROCHA, 2013). Uma possível solução seria o reaproveitamento desse rejeito na composição do material cerâmico argiloso.

No presente estudo, pretende-se incorporar a massa da cerâmica vermelha da olaria do estudo de caso localizada no município de Breu Branco - PA, com a cinza do caroço do açaí proveniente da queima dos produtos da própria indústria.

Diante do contexto apresentado, propõe – se analisar o melhor teor de substituição de cinzas na composição cerâmica, buscando subsidiar tecnicamente e ambientalmente o descarte desse resíduo sólido.

1.1 JUSTIFICATIVA

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) considera ambientalmente adequada para a destinação final dos resíduos: a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação ou aproveitamento energético (BRASIL, 2010).

De acordo Betini (2007), a política ambiental nacional e mundial orienta que segmentos produtivos utilizem elementos recicláveis a fim de evitar a contaminação de resíduos no meio ambiente, além da necessidade de aproveitamento dos resíduos em processos industriais.

Os resíduos podem prejudicar a saúde do ser humano, causar impactos ambientais por meio da contaminação dos solos, ar e dos lençóis freáticos. Algumas formas de utilização desses resíduos em materiais de construção civil têm sido estudadas para diminuição desses danos (DONDI, 1997 *apud* SANTOS, 2016).

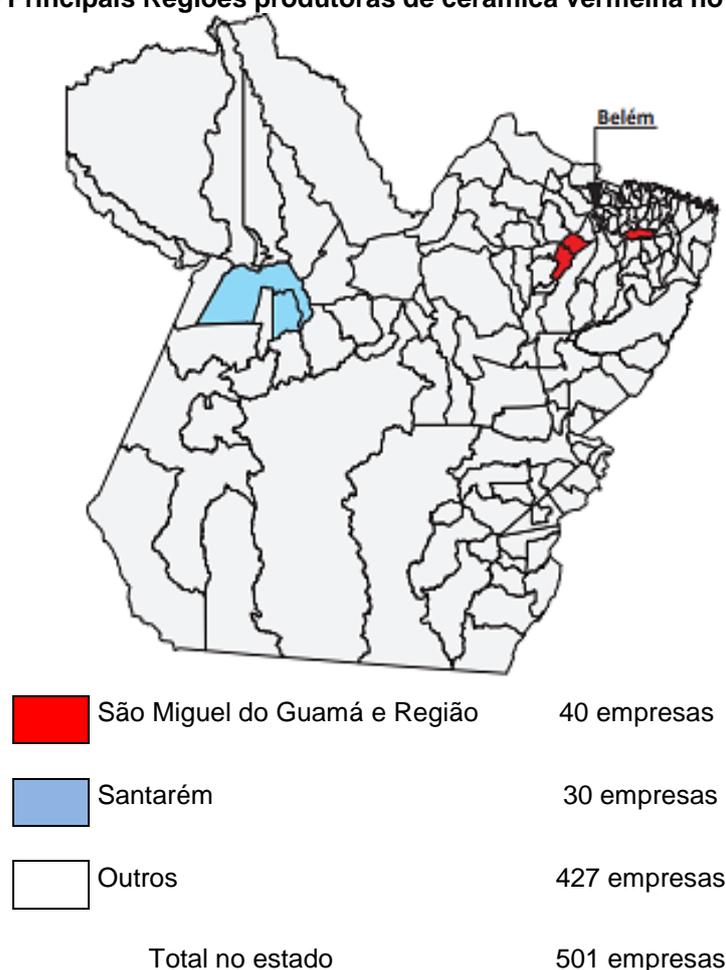
Cinzas industriais provenientes de termelétricas, incorporadas em argilas para fabricação de cerâmica vermelhas pode representar uma alternativa para redução de descarte inadequado desse tipo de resíduo (ZANIN; KLITZKE; LUZ JUNIOR, 2013).

Segundo o Instituto Nacional de Tecnologia – INT (2017), o uso de biomassa como fonte de energia térmica é frequentemente utilizado nas atividades ceramista no Brasil. No processo de sinterização, o uso chega a 95%, sendo a lenha a biomassa mais utilizada, principalmente na região Nordeste do país, no entanto nem toda lenha é obtida de maneira sustentável.

Nos anos de 2017 foram produzidas cerca de 1.332.472 toneladas em aço em todo território nacional, sendo o Pará o estado que concentra 95,62% desse total (IBGE, 2017).

De acordo com o INT (2017), o estado do Pará possui 570 empresas no setor da cerâmica vermelha, sendo elas na maioria de pequeno porte. A produção chega entorno de 46.000 milheiros de tijolos/mês atendendo principalmente a capital Belém e a cidade de Santarém. Os principais combustíveis usados para alimentar os fornos são compostos de 60% de serragem de madeira, caroço de aço e a casca da castanha-do-pará. A Figura 1.1 apresenta o mapa do Pará e a disposição geográfica das empresas do setor cerâmico, destacando as maiores concentrações nos municípios de São Miguel do Guamá e Santarém.

Figura 1.1 – Principais Regiões produtoras de cerâmica vermelha no estado do Pará.



Fonte: INT,2012.

As indústrias do setor cerâmico atendem as demandas de outros setores industriais e comércio do setor construtivo. O consumo de combustíveis energéticos é normalmente por meio do uso da serragem e lenha sem aproveitamento de qualquer resíduo, e em muitos casos são adquiridos de forma ilegal e sem controle.

O município de Breu Branco encontra-se localizado a margem direita do Rio Tocantins, próximo a Usina Hidrelétrica de Tucuruí na mesorregião sudeste paraense (WANZELER, 2016). É observado que o município apresenta produtos residuais agrícolas que são descartados normalmente em lixões a céu aberto sem qualquer tratamento, sendo que estes poderiam ser usados no processo de queima

e beneficiamento, aproveitando tanto a eficiência energética do mesmo como no próprio processo de fabricação de blocos e telhas.

A possibilidade de aplicação dos resíduos provenientes do caroço do açaí nos processos industriais motivou a pesquisa voltada para o uso do potencial energético da biomassa e o aproveitamento da cinza gerada na incorporação dos produtos cerâmicos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Verificar a influência da incorporação das cinzas do resíduo do caroço do açaí na composição da cerâmica vermelha em diferentes teores por meio de ensaios de propriedades tecnológicas.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar a matriz argilosa e o resíduo proveniente da queima do caroço do açaí por meio das técnicas de análise granulométrica, difração de raio – x e fluorescência;
- Analisar as propriedades físicas e mecânicas: absorção de água, porosidade aparente, massa específica aparente, retração linear e tensão de ruptura à flexão dos corpos de prova cerâmicos contendo a incorporação de cinzas nas proporções de 0%, 10%, 15%, e 20%;
- Comparar os resultados físicos e mecânicos dos corpos de prova de referência com os que possuem substituição de cinzas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo tem por objetivo apresentar dados referentes à indústria nacional da cerâmica vermelha, o processo de produção de blocos e telhas cerâmicas, fundamentos básicos da matéria-prima e do resíduo e por fim o uso das cinzas de resíduos na produção de cerâmica vermelha.

2.1 INDÚSTRIA DA CERÂMICA VERMELHA

A Associação Nacional da Indústria Cerâmica (ANICER, 2018), estima que existam cerca de 6.903 empresas voltadas para o setor cerâmico, sendo as mesmas responsáveis por aproximadamente 293mil empregos diretos e 900 mil indiretos. O faturamento anual chega a R\$18 bilhões e corresponde a 4,8% da indústria da construção civil, dados que podem ser variáveis devido ao grande número de informalidade dentro do próprio setor.

Segundo o INT (2017) a eficiência energética está relacionada ao uso de recursos que possam oferecer a eficiência energética sem alterar a produção de materiais cerâmicos, portanto melhorando as condições ambientais de utilizações sustentáveis de energia obtendo vantagens econômicas mediante a utilização.

Pode-se afirmar que as indústrias cerâmicas são grandes consumidores de energia, e, portanto, uma das principais responsáveis pela utilização de lenha. De acordo com o Balanço Energético Nacional (2015), o uso da lenha é de 50.1%, seguido do gás natural com 28,7%, do óleo combustível com 1,3%, da eletricidade com 7,3% e de outros combustíveis com 12,6%.

A Tabela 2.1 apresenta as porcentagens do consumo e dos tipos de combustíveis no setor cerâmico:

Tabela 2.1 – Distribuição de combustível do setor da cerâmica vermelha.

Fontes	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	100	100	100	100	100	100	100	100	100

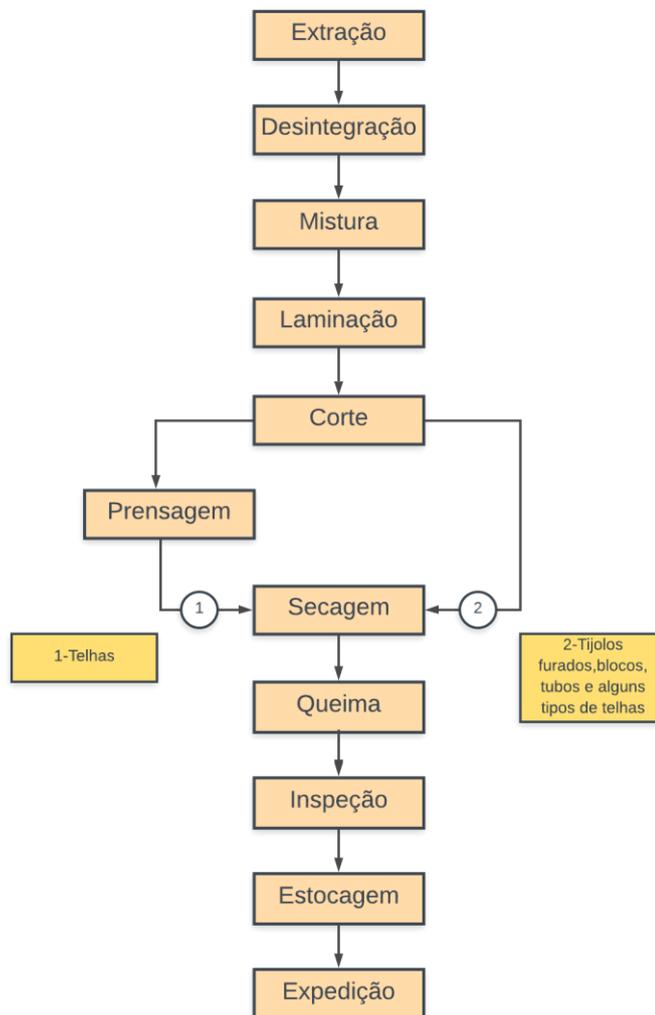
Fonte: Balanço energético, 2015.

Para tanto, os autores da área da construção civil se mostram motivados no sentido de encontrar novas fontes de energia para substituir o material usado no processo de combustão nos fornos que são destinados a produção da cerâmica (ROCHA, 2013).

2.2 PROCESSO DE PRODUÇÃO DE BLOCOS E TELHAS CERÂMICAS

De acordo com a Associação Brasileira de Cerâmica – ABC (2018), a fabricação de telhas e blocos é oriunda dos seguintes processos: extração, desintegração, mistura, laminação, corte, prensagem para telhas, secagem, queima, inspeção e estocagem expedição dos produtos acabados conforme a Figura 2.1.

Figura 2.1 – Etapas de produção vermelha.



Fonte: Adaptado de ABC, 2018.

2.2.1 Extração da matéria-prima

A matéria-prima pode ser extraída de maneira manual ou mecanizada podendo utilizar pá escavadeira e trator de esteira com lâmina para efetuar a operação. Normalmente é escolhido o período de menor precipitação para extração da matéria-prima e esta pode acontecer de maneira conjunta com a extração de areia, já que esse material é constituído de 30% a 40% do material correspondente ao desmonte (FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS – FIEMG e FUNDAÇÃO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE – FEAM, 2013).

2.2.2 Desintegração e mistura da massa cerâmica

Segundo Gouveia (2008) a matéria-prima passa pelo caixão alimentador onde ocorre a dosagem e em seguida passa para o desintegrador para a redução dos torrões. De acordo com Betini (2007), se o teor de umidade for elevado na etapa de desintegração, pode interferir no desempenho do equipamento, sendo assim os blocos de argila seriam apenas amassados e não ocorreria a desintegração.

Cruz (2012) recomenda que a massa cerâmica seja umedecida com teor médio de 20%. FIEMG e FEAM (2013) afirmam que para uma boa homogeneização a adição de água deve ser de maneira centralizada e a massa deve descansar por 24 a 48 horas.

2.2.3 Laminação

Segundo Paschoal (2003) após a massa passar pelo o misturador, a argila é enviada por meio de esteiras para o equipamento chamado laminador que contém dois rolos com velocidades diferentes que desintegra e proporciona homogeneidade a massa.

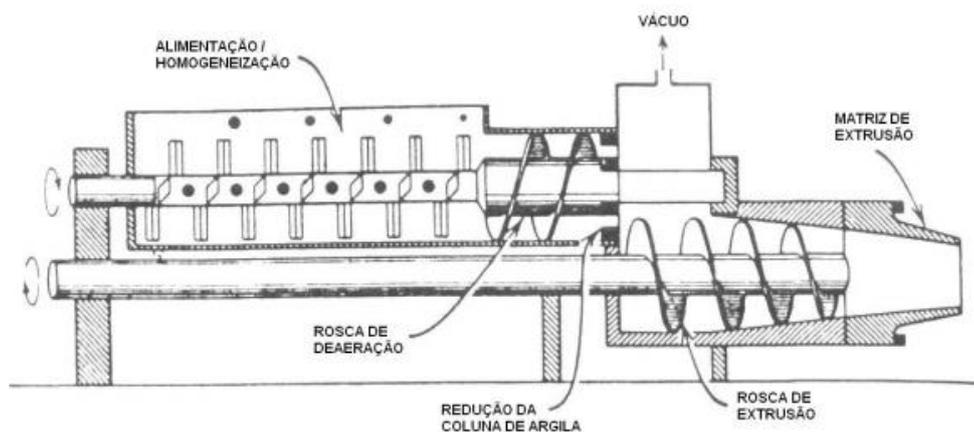
A laminação é a etapa que consiste no ajustamento da granulometria, sendo, portanto, determinante para garantir um bom acabamento para o produto. Nesse procedimento pode também ocorrer a redução do consumo de energia e dessa forma evitar perdas (FEAM, 2013).

2.2.4 Extrusão

Segundo Cruz (2012) a extrusão é o procedimento bastante empregado pela indústria da cerâmica por apresentar custos baixos. FIEMG e FEAM (2013) descreve que o processo consiste em forçar a massa plástica por meio de um bocal próprio podendo obter tanto a coluna extrusada para fabricação de blocos ou em tarugos no caso de telhas. Recomendam ainda a utilização da bomba a vácuo para a redução de ar incorporado a massa, dessa forma contribuindo para o aumento de resistência das peças.

Vásquez (2005) descreve o início do funcionamento da maromba pelo alimentador ou misturador, recomendando que este seja alimentado acima das hélices para que ocorra uma boa mistura dos componentes, em seguida encontra-se o caracol helicoidal que realiza a primeira extrusão e formação de pequenas massas em formatos de cilindros. Essa massa é conduzida para a câmara de vácuo para retirada do ar, e posteriormente encaminhada para a camisa acanalada, esta por sua vez possui nervuras no sentido contrário do caracol, sendo, portanto, esse processo responsável pelo o avanço da massa. A Figura 2.2 apresenta a vista interna da maromba.

Figura 2.2 – Extrusora (maromba).



Fonte : Neckel Junior, 2008.

2.2.5 Corte

Ao sair da extrusora as peças são cortadas por um sistema mecanizado que atua de acordo com o deslocamento da peça (GALASSI E TAVARES, 2013). Nesse sistema encontra-se os fios de aço tensionados que fazem o movimento de cima para baixo efetuando o corte da barra cerâmica conforme apresentada na Figura 3.3.

Figura 2.3 – Máquina de corte.



Fonte : Galassi e Tavares, 2013.

2.2.6 Prensagem

De acordo com Bastos (2003) a prensagem é realizada para a confecção de telhas após passar pelo processo de extrusão. Paschoal (2003) afirma que o estado de moldagem do material para cada processo de conformação varia de acordo com a porcentagem de água, no caso da telha a prensagem é oriunda do tarugo extrusado, portanto pode apresentar a porcentagem em torno de 15% a 30% de água.

2.2.7 Secagem

O processo de secagem é a etapa que antecede a queima, o qual os materiais úmidos são submetidos a secagem natural, ao sol e ao vento, ou por meio de secadores rotativos. Esse tipo de procedimento é importante para que as peças prensadas ou extrusadas não apresentem trincas ou defeitos ocasionados por diferenças de retrações (NECKEL JUNIOR, 2008).

De acordo com Vasquéz (2005), a eliminação da água por meio da evaporação deve ser lenta e gradual afim de evitar defeitos, pois além da formação de trincas o material pode apresentar a formação de poros. Os produtos cerâmicos são considerados secos quando apresentarem de 1% a 2% da umidade residual. O autor destaca que a secagem está relacionada também a outros fatores, como: a

temperatura, a umidade relativa do ar, a velocidade e a direção de aplicação do ar, a composição granulométrica da massa, as dimensões das peças e o método pelo qual a peça foi conformada.

Santos (2016), distingui a secagem como natural e artificial, sendo a primeira de difícil controle por conta dos fatores climáticos e de necessitar maior tempo de conclusão, que pode variar de 8 a 15 dias. Vásquez (2005) afirma que a secagem natural é recomendada para peças de grandes dimensões e formas mais complexas. Já secagem artificial ou em secadores, os equipamentos industriais garantem maior qualidade, ganho de tempo e controle, todavia apresenta custo elevado. A Figura 2.4 apresenta o tipo de secagem natural.

Figura 2.4 – Secagem natural.



Fonte: Vásquez,2005.

2.2.8 Queima

Após a secagem, os produtos conformados ou “produtos verdes” são submetidos ao tratamento térmico nos fornos para realização da sinterização (NECKEL JUNIOR, 2008). Segundo Paschoal (2003), cada produto possui uma marcha de queima e resfriamento por conta da movimentação dos gases e da concepção argilosa.

De acordo com Almeida (2015), fatores como a temperatura, o tempo de queima, a velocidade de aquecimento e de resfriamento, o tipo de forno e o combustível utilizado podem influenciar na etapa de queima. Paschoal (2003) afirma que a velocidade de queima é um fator que interfere na qualidade final dos produtos, pois a queima com menor tempo utiliza menos combustível, no entanto esse processo pode contribuir para maiores incidências de peças defeituosas.

Conforme Neckel Júnior (2008), o processo de queima passa por três estágios, sendo elas: reações preliminares, sinterização e resfriamento. O primeiro estágio envolve o processo de desidratação, o qual ocorre a evaporação da água contida nos poros dos materiais assim também como a queima de parte do carbono. Na sinterização, o produto passa a ser consolidado por meio da junção das partículas e fechamento dos poros da argila de queima. Cruz (2012), afirma que o resfriamento deve ser realizado de forma gradual para evitar a formação de trincas.

2.3 ARGILA

2.3.1 Definição

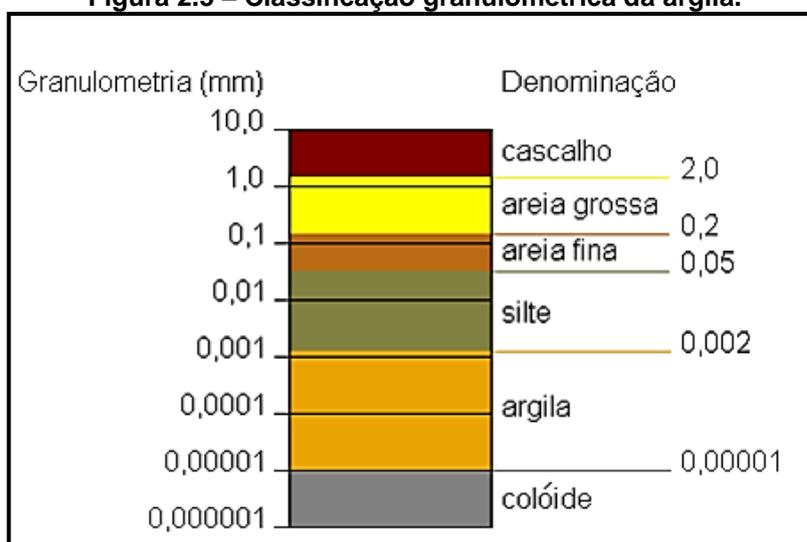
De acordo com a NBR 6502 (ABNT, 1995), denomina-se argila composto constituído por partículas com dimensões inferiores a 0,02mm, que apresenta características plásticas quando úmidas e forma torrões de difícil desagregação quando pressionados.

Para Bauer (1994) o conceito argila era voltado anteriormente a substâncias derivadas da caulinita e o que sobrava era considerado como impurezas amorfas, no entanto, posteriormente foi visto que as argilas são constituídas de argilominerais, partículas cristalinas extremamente pequenas.

O termo “argila” é usado na classificação granulométrica de partículas, é um material inorgânico natural de granulação fina que ao ser umedecido com água ganha plasticidade. Segundo a escala de Attemberg e Wentworth, as dimensões do conjunto dessas partículas encontram-se inferiores a 2 μm ou 4 μm . (CABRAL

JUNIOR *et al.*, 2005). Na Figura 2.5 pode ser verificada a ordem de dimensão da argila com relação às partículas sólidas.

Figura 2.5 – Classificação granulométrica da argila.



Fonte: ROCHA *et al.*, 2014.

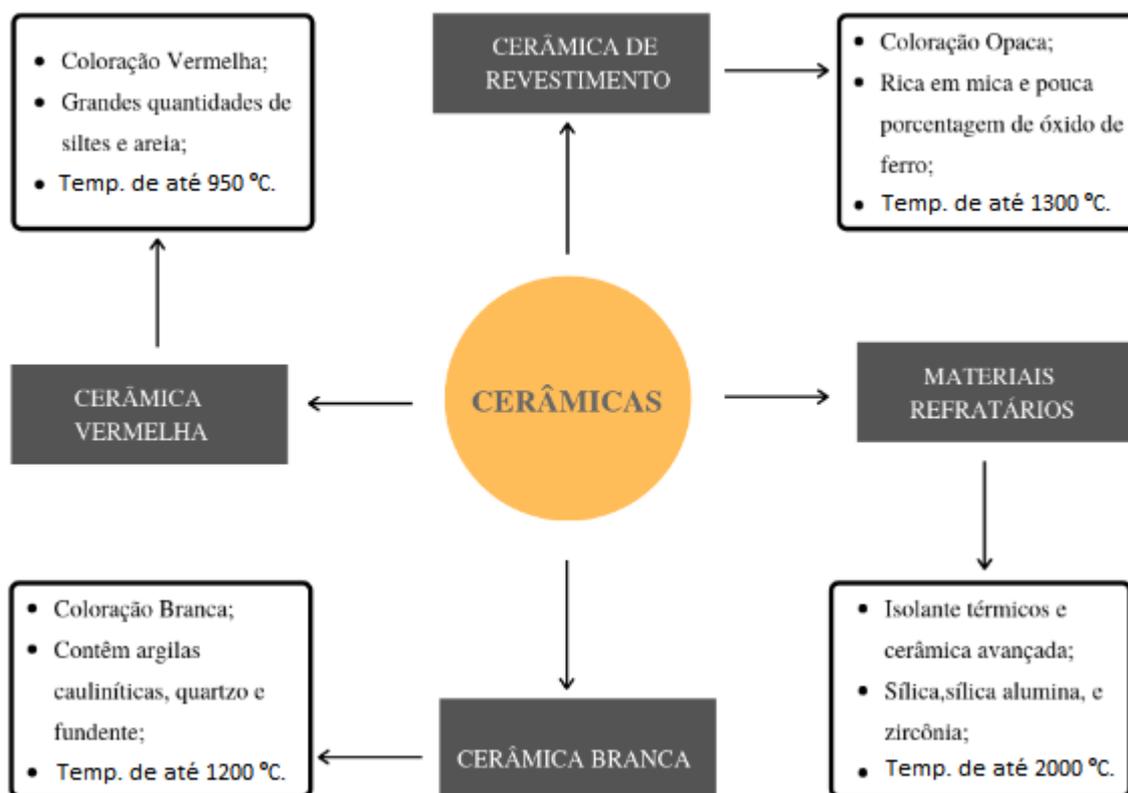
As argilas são matérias-primas utilizadas pela a indústria da cerâmica vermelha na produção de telhas, blocos de vedação e estruturais, tijolos maciços e dentre outros materiais empregados na construção civil.

Segundo Bauer (1994), o material utilizado pela indústria cerâmica proveniente da exploração do depósito natural também conhecido como barreira, é retirado após a primeira camada superficial, pois estes possuem grandes quantidades de materiais orgânicos.

A extração das argilas para fabricação de blocos e telhas é a céu aberto e quase sempre em períodos de estiagem. As indústrias de cerâmica ficam próximas às jazidas e estas estão normalmente nas proximidades de rios ou em bancos de areia coberto com pouca água, conhecidos como “baxios”. Mesmo com o alto valor de transporte devido às longas distâncias, o produto é atrativo por conta do baixo valor unitário e por ser encontrado em grandes quantidades. (MORAIS *et al.*,2015).

Segundo Betini (2007) as cerâmicas são obtidas com várias funcionalidades a partir do uso de composições distintas de argilas ou argilominerais. Na Figura 2.6 são demonstradas as variações de argilas, temperatura e principais composições.

Figura 2.6 – Propriedades das cerâmicas.



Fonte: Adaptado de Betini, 2007.

Na Figura 2.7 são apresentados os principais setores cerâmicos juntamente com as respectivas matérias-primas e o processo de fabricação.

Figura 2.7 – Principais setores cerâmicos, matérias-primas e processo de fabricação.

Classificação		Produto	Matéria-prima								Processo de		Temperatura de Queima (C)									
Tipo de	Grupo**/ Setor		Argila	Argila	Caulim	Não -Plástica				Moagem via úmida	Moagem via seca	Extrusão	Tornearia	Prensagem	Colagem	800	900	1.000	1.100	1.200	> 1.200	
						Feldspato	Filito	Talco	Calcário													Quartzo
Cerâmica silicática de base argilosa (ou tradicional)	1	Cerâmica Vermelha	Blocos, lages	P								P										
			Telha	P			O						P	P								
			Agregado leve	P								O		P								
	2	Cerâmica Branca	Grês Sanitário		P	S	P	O		S	O	P										
			Porcelana Mesa		P	P				P	P		S	S	O							
			Porcelana Eletr.		P	P				P	P		S	S	O							
			Faiança		P	O	S	S	S	P	S		P			P						
	3	Revestimentos	Pisos Rústicos	P							O		P									
			Pisos via Seca	P									P		P							
			Azulejo		P	P			O	S	S	P			P							
			Piso Gresificado	O	P	S	S	P	O		S	P		O	P							
			Grês Porcelânico		P	S	P		O		S	O	P			P						
	Outros	4	Refratários			O					O	P										
		5	Isolantes				O				O	P										
		6	Especiais								O	P										
7		Cimento	S						P	S	O		P									
8		Vidro							S	P	P											

P = Processo ou composição principal (> 20 %)

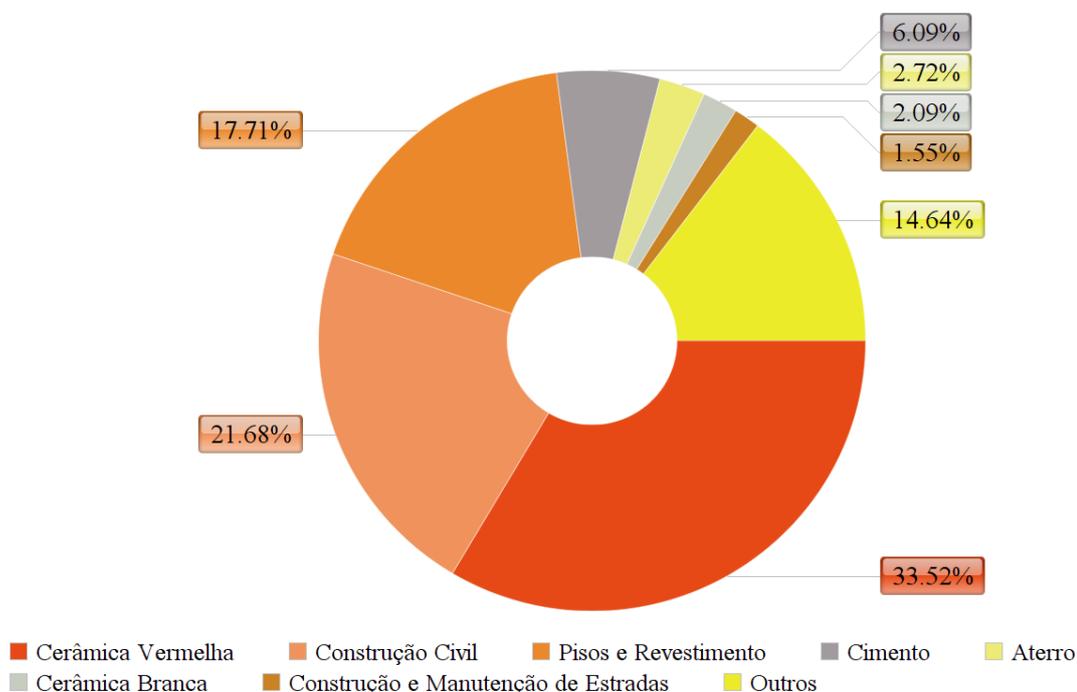
S = Processo ou composição secundária (< 10%)

O = Processo ou composição ocasional

Fonte: MOTTA, 2001.

Segundo o Ministério de Minas e Energia - MME (2018), o maior consumo de argila é no mercado de cerâmica vermelha (33,52%), seguido da construção civil (21,68%) e na produção de pisos e revestimentos (17,71%) conforme demonstrados na Figura 2.8.

Figura 2.8 – Setores de Consumo de Argila.



Fonte: Ministério de Minas e Energia, 2018.

É possível verificar que a argila compõe boa parte dos materiais da indústria cerâmica vermelha (Figura 2.8) e que os setores que mais consomem esse tipo de material se remetem a esse mercado, seguido da construção civil (Figura 2.8).

De acordo Macedo *et al.* (2008), a argila é um material composto basicamente por caulinita, quartzo, mica e feldspatos, sendo possível encontrar goetita e hidróxido sílico-aluminoso. A quantidade de colóides classificam as argilas em "gordas" por serem mais plásticas e que apresenta alta deformação durante o cozimento e a "magra" que são porosas, porém frágeis (SOUSA, 2013 *apud* SALES, 2016).

Segundo Cabral Junior *et al.*, (2005), a massa usada pelo ceramista é composta de argila "gorda" que garante alta plasticidade e argila "magra" que possui a função de drenagem das peças durante a secagem e a queima. Dessa forma, busca-se por meio dessa mistura alcançar funções tecnológicas fundamentais que

garanta o desempenho esperado dos materiais que possuam essa composição. No Quadro 2.1 são apresentadas as principais funções tecnológicas das argilas.

Quadro 2.1 – Funções tecnológicas das argilas.

Funções	Características
Plasticidade	Moldagem das peças por meio do deslizamento.
Resistência Mecânica à massa verde e crua	Coesão e solidez às peças moldadas na fase pré-queima garantindo dessa forma a trabalhabilidade.
Fusibilidade	Facilitar a sinterização e dessa forma diminuir a porosidade e obter resistência.
Drenagem	Possibilitar a saída de água e gases durante o processo de queima.
Coloração das peças	Cores nas cerâmicas obtidas por meio dos corantes naturais, como o óxido de ferro e manganês.

Fonte: Cabral Júnior *et al.*,2005.

2.3.2 Depósito de Argila

Segundo Cabral Junior *et al.* (2005), os depósitos de argilas para uso cerâmico no Brasil são formados de argilas quaternárias e argilas de bacias sedimentares. As argilas quaternárias são originadas em planícies aluvinares, conhecidas por serem áreas de várzea e inundáveis e na planície costeira, formadas pela ação do mar. As características desse tipo de material estão relacionadas pela alta plasticidade e elevada umidade, o que torna um material eficaz para fabricação de produtos extrudados.

As argilas formadas nas bacias sedimentares são provenientes de unidades geológicas antigas, possuem grandes depósitos, pacotes argilosos contínuos e homogêneos e podem conter espessura de dezenas de metros. A matéria-prima contém granulometrias distintas e variadas composições argilominerais o que influencia no desempenho da cerâmica (CABRAL JUNIOR *et al.*,2005).

Segundo Pedrassanie (2013), a coloração das rochas argilosas é formada de composição química e por propriedades físico-químicas de deposição dos sedimentos. Dessa forma, a análise depende da informação da origem da rocha e se esta é de proveniência primária ou de transformações ao longo do tempo.

No Quadro 2.2 pode ser verificado por meio visual as possíveis composições químicas do material argiloso através das cores.

Quadro 2.2 – Identificação da composição química do material argiloso por meio das colorações.

Cor	Composição Química
Branca	Ausência de compostos de ferro, manganês e titânio bem como de matéria orgânica.
Cinza e Preto	Presença de matéria orgânica, às vezes de óxidos de manganês ou de magnetita.
Vermelho, laranja e amarelo	Presença de óxidos e hidróxidos de ferro.
Roxa	Origem não muito bem esclarecida, parecendo estar ligada a óxidos de ferro e manganês.
Verde	Compostos de ferro na forma reduzida, presente em minerais como clorita, montmorillonita e glauconita. Em alguns casos, a cor pode ocorrer devido a minerais de cobre ou olivinas.

Fonte: Adaptado de Pedrassanie, 2013.

2.3.3 Argilominerais

Segundo Rocha (2014), as argilas podem ser partículas orgânicas, compostos inorgânicos amorfos ou cristalinos oriundos do processo de intemperismo das rochas. Como compostos inorgânicos amorfos e cristalinos estão a sílica (SiO_2) e alumina (Al_2O_3) e o óxido de ferro (Fe_2O_3), os mesmos são minerais quando apresentam-se constantes.

As principais composições argilominerais da argila são: a caulinita, montmorillonita ou esmectita, ilitas, compostos de ferro, carbonatos, micas, feldspatos, quartzo, matérias orgânicas e sais solúveis (BETINI, 2007). São apresentadas na Figura 2.9 as principais características funcionais dessas composições mineralógicas.

Figura 2.9 – Funções das composições mineralógica da argila.

CAULINITA	<ul style="list-style-type: none"> ● Principal argilomineral; ● Elevada resistência; ● Requer misturas quando encontra-se pura. 	MICAS	<ul style="list-style-type: none"> ● Moles, elásticos e no solo apresentam-se em forma de palhetas; ● São silicatos; ● Estão presentes em solos residuais de gnaisses, mica-xisto e quartzitos micáceos.
MONTMORILONITA	<ul style="list-style-type: none"> ● Benéfica em poucas quantidades na argila vermelha; ● Contribui na plasticidade, fusibilidade e a sinterização; ● Alta absorção de água. 	FELDSPATOS	<ul style="list-style-type: none"> ● Encontrados em minerais parcialmente alterados; ● Alta concentração de óxidos alcalinos e alcalino-terrosos; ● É tido como material inerte.
ILITAS	<ul style="list-style-type: none"> ● Empregada em blocos, tijolos, telhas e lajota; ● Atribui a cor vermelha dos produtos; ● Plástica, fácil moldagem e boa secagem. 	QUARTZO	<ul style="list-style-type: none"> ● Reage com CaO (óxido de cálcio) na temperatura de 900 graus; ● Aumenta a resistência mecânica, melhora a qualidade do produto e reduz a quebra na produção; ● Em grande quantidade pode causar resultados contrários.
COMPOSTOS DE FERRO	<ul style="list-style-type: none"> ● Composição das argilas; ● Contêm 4% ou 8% de óxidos ou hidróxidos; ● Atribui cor vermelha quando misturadas com a caulinita. 	MATÉRIA ORGÂNICA	<ul style="list-style-type: none"> ● Em teores baixos, aumenta a plasticidade das argilas; ● Em quantidades elevadas pode ocasionar trincas na secagem; ● Em quantidades excessivas prejudica a combustão.
CARBONATOS	<ul style="list-style-type: none"> ● Com 7% são minerais não silicatos; ● Apresenta-se em forma de calcita, dolomita e magnesita; ● Formam silicatos de cálcio sob a temperatura de 950 graus. 	SAIS SOLÚVEIS	<ul style="list-style-type: none"> ● Em quantidades menores que 1% contribui na diminuição da temperatura de queima; ● Na temperatura acima de 800 graus pode contribuir na formação do coração negro; ● Contêm elementos alcalinos e alcalinos terrosos.

Fonte: Adaptado de Betini, 2007.

2.3.4 Propriedades das Argilas

As principais propriedades das argilas são: plasticidade, retração e o efeito ao calor que são usadas para produção de cerâmica. Para o uso da cerâmica são importantes também que o material possua durabilidade, resistência mecânica, resistência ao desgaste e absorção de água (BAUER, 1994).

Segundo Bauer (1994) a plasticidade pode transformar o material e continua mantendo-se sem que ocorra o rompimento do mesmo. O ponto da plasticidade pode ser definido como o modo em que a argila continua maleável e não se desfaz. Essa característica é importante para confecção de cerâmica vermelha, uma vez que a mesma é moldada por extrusão.

Segundo Betini (2007) a retração é a diminuição das dimensões do material argiloso devido à perda de umidade durante a secagem e queima, sendo possível o cálculo do tamanho final utilizando a porcentagem de retração da peça .

De acordo com Bauer (1994), a argila começa o endurecimento a partir de 600 °C devido a desidratação química, a perda de água de constituição e a queima de materiais orgânicos. Após esse primeiro processo, o material é oxidado devido a formação de óxidos e aos 950 °C ocorre a vitrificação.

2.4 CERÂMICA VERMELHA

Segundo Santos (2016), o uso da argila acompanha a evolução do homem ao longo da história, do primeiro cozimento utilizando o sol ao uso do forno. O material proveniente da cerâmica é manipulado de forma artesanal por aproximadamente 15 mil anos, sendo encontrada normalmente em escavações arqueológicas. Assim que o homem pré-histórico tornou-se agricultor, era necessário que os alimentos fossem armazenados em vasilhas que fossem resistentes e de fácil fabricação (PARANHOS, 2010).

De acordo com SEBRAE (2008), os primeiros usos de tijolos queimados foram aproximadamente a 3000 a.C em que a principal aplicação era para a construção de muros de proteção e revestimento externos. Somente por volta do

século I a.C é que a atividade foi largamente empregada por conta do avanço tecnológico e monetário alcançado no decorrer da história.

A confecção de cerâmica no Brasil é datada como iniciado em 2000 anos, porém artefatos mais simples com 5000 anos foram encontrados na região amazônica. Outros produtos mais elaborados foram descobertos na Ilha do Marajó, conhecido como cerâmica marajoara, oriundos dos índios que viviam na região (SEBRAE, 2008).

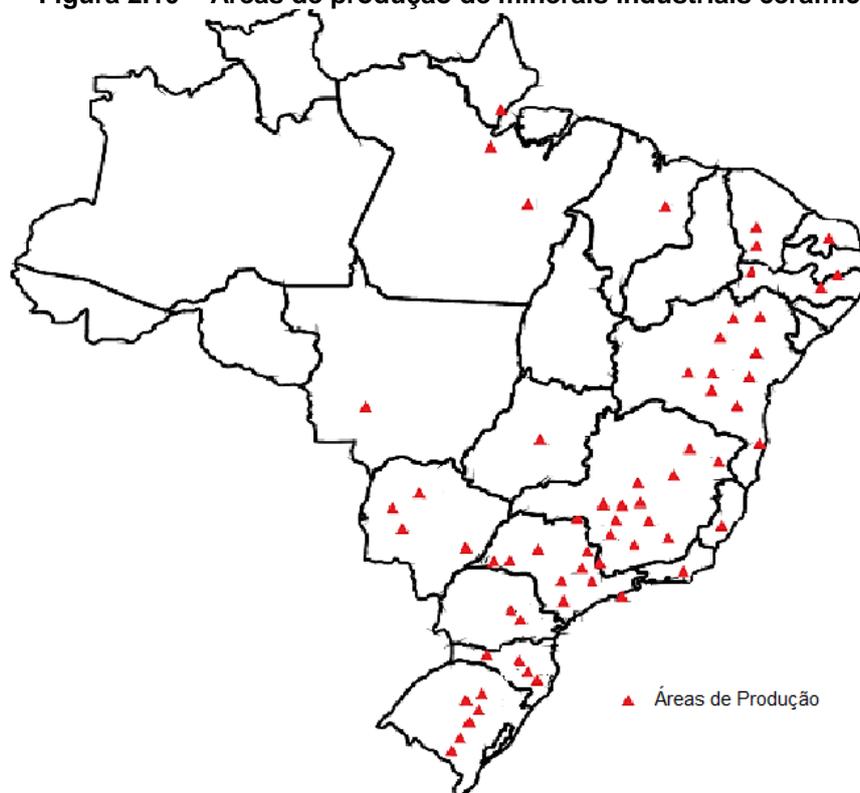
De acordo Silva (2013), o setor cerâmico foi dividido no decorrer dos anos em dois ramos distintos: as “olarias” que trabalham com processos relacionados com confecções de telhas e tijolos, e as “cerâmicas” que abrangem a produção desde produtos decorativos a azulejos.

A indústria da cerâmica vermelha utiliza matérias-primas constituídas de argilas plásticas em que os principais componentes são argilominerais, matéria orgânica, óxidos, hidróxidos de ferro e de alumínio (GOUVEIA, 2008). Segundo Mendes (2008), o uso da cerâmica vermelha é justificado devido às propriedades mecânicas, de isolamento térmico e acústico que o material possui, além de boa aderência às argamassas possibilitando os usos variados de revestimentos e flexibilidade nas formas arquitetônicas de projetos.

A indústria da cerâmica vermelha é difundida praticamente em todo território Brasileiro, tendo altas concentrações de produção e consumo nas regiões Sudeste e Sul, sendo as possíveis justificativa relacionadas a densidade demográfica, maiores atividades industriais, infraestrutura, facilidade de obtenção de matérias-primas e dentre outros fatores indiretos (NUNES, 2012).

Os estados de São Paulo, Rio Grande do sul e Paraná, concentram 40% de todo o mercado do país (INT, 2017). Na Figura 2.10 pode ser visto que os principais polos de cerâmica vermelha estão concentrados nas regiões sul e sudeste.

Figura 2.10 – Áreas de produção de minerais industriais cerâmicos.



Fonte: Adaptado de Cabral Junior *et al.*, 2005.

O setor cerâmico no Brasil possui grande importância na geração de renda e trabalho, no entanto o processo cerâmico ainda possui pouca tecnologia empregada e geralmente não seguem padrões normativos, refletindo dessa forma no baixo valor agregado dos produtos (LUCENA, 2007).

Na construção civil a cerâmica vermelha é amplamente utilizada, e esta possui grandes variedades de produtos confeccionados a partir da mesma matéria-prima, além, da facilidade de obtenção dos insumos normalmente locais, porte industrial geralmente de pequeno à médio, o que torna um segmento considerado consolidado no mercado (SEBRAE 2008).

De acordo Menezes *et al.* (2002), a indústria cerâmica possui elevada capacidade de aproveitamento de resíduos e isso deve-se ao fato do grande volume de produção, características físico-químicas e particularidade do processamento cerâmico, o que poderia facilitar o emprego de rejeitos nesse setor.

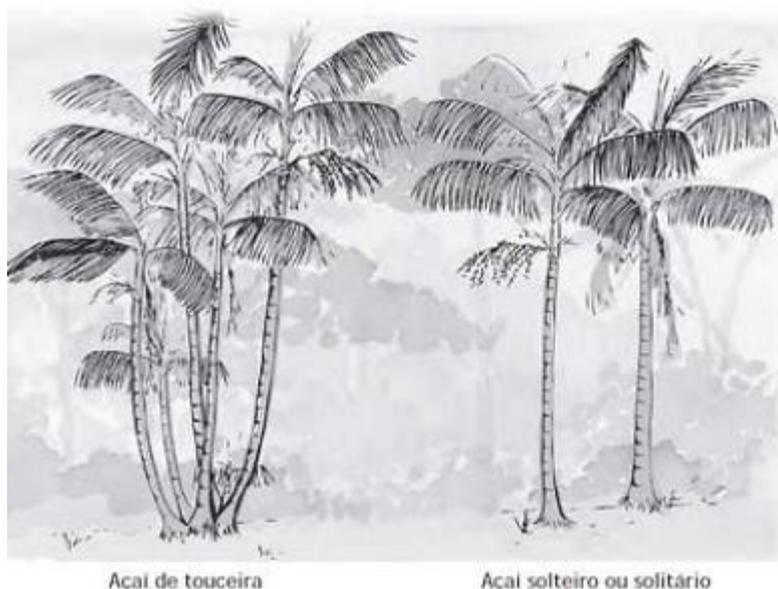
A preocupação com a escassez cada vez maior de recursos naturais assim como a importância da implementação do uso de tecnologias renováveis no âmbito

energético, demonstram a necessidade de desenvolvimento de produtos que agreguem valor no âmbito sustentável e econômico.

2.5 AÇAÍ

Na Amazônia são encontradas duas espécies de açaí: *Euterpe Oleracea Mart.* conhecida em algumas regiões como açaí touceira devido ao diverso perfilhamento que esta possui, e o *Euterpe precatória Mart.*, uma palmeira de monocaule e com estipe delgada chamada de “açaí solteiro” (HERRAIZ,2013). Na Figura 2.11 estão representadas as características físicas de ambos.

Figura 2.11 – Açaí touceira e açaí solteiro.

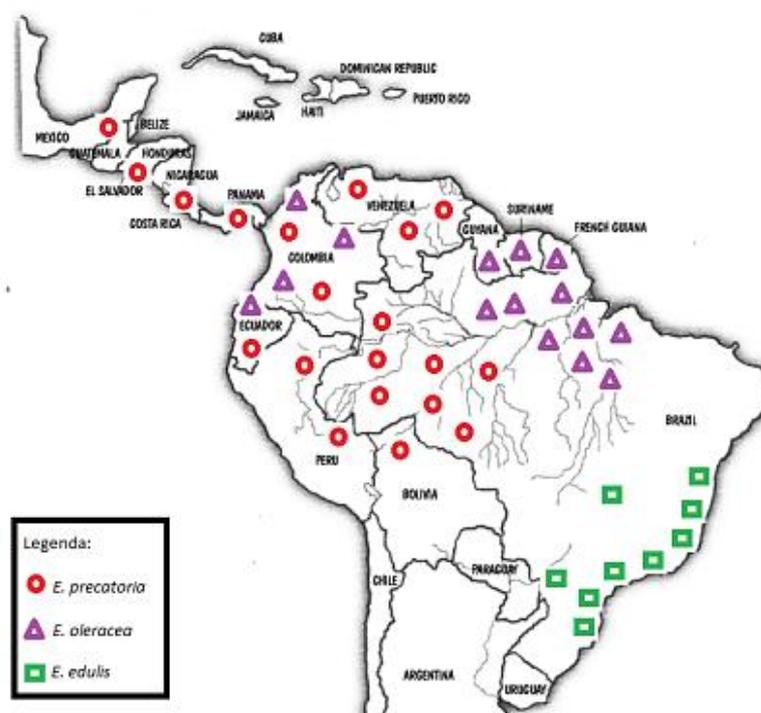


Fonte : Delphim, 2014.

A palmeira do açaizeiro do tipo *Euterpe Oleracea Mart.*, pertence à família das *Arecaceae*, do gênero *Euterpe*, uma referência a *Euterpe*, deusa da mitologia grega que significa a "elegância da floresta" (AGUIAR, 2016). *Oleracea* por sua vez, é uma nomenclatura específica que se refere ao odor e a coloração similar a do vinho. Esse tipo de açaizeiro é aproveitado às raízes, estipes, folhas, inflorescência e frutos, um recurso natural amazônico de grande interesse econômico devido às diversas possibilidades de utilização (EDER, 2011).

De acordo com Tagore (2017) a palmeira é encontrada em alguns países da América do Sul e América Central, dentre eles o Brasil, Venezuela, Colômbia, Equador, Suriname e Panamá. Na Figura 2.12 pode ser visto a predominância das espécies *Euterpe Oleracea* Mart a *Euterpe precatória* Mart nas regiões norte da América do Sul.

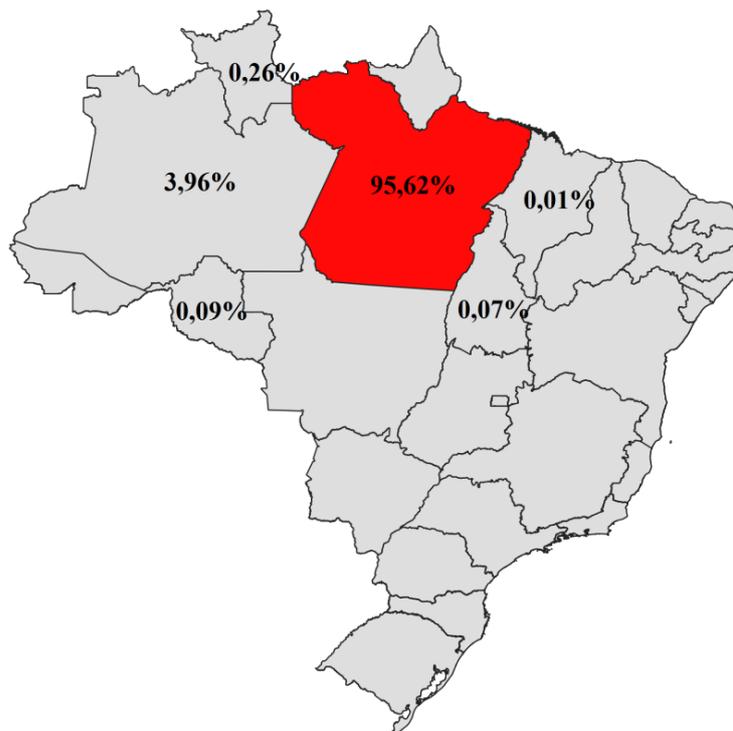
Figura 2.12 – Distribuições geográficas das espécies distintas de açaí.



Fonte: Delphim, 2014.

No Brasil, o estado do Pará é o principal produtor de açaí de acordo com Serra (2019), o qual obteve cerca de 1.274,056 toneladas em 2017, sendo que esse total representa a soma da produção cultivada e manejada. Outros estados como o Amazonas apresentaram produtividades menores, com 52.701 toneladas, Maranhão 120 toneladas, Roraima 3.513 toneladas, Rondônia 1.152 toneladas e Tocantins com 930 toneladas. A Figura 2.13 contém as porcentagens produtivas de açaí em cada estado.

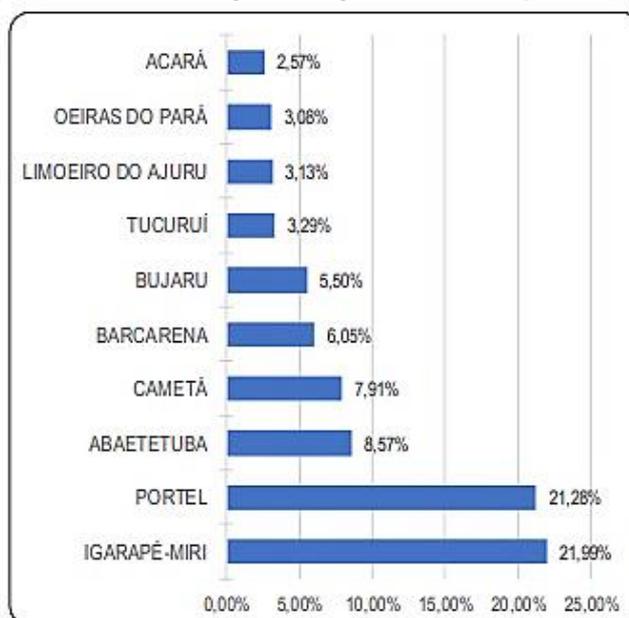
Figura 2.13 – Produção de açaí em porcentagem nos estados Brasileiro.



Fonte: Adaptado de Serra, 2019.

De acordo com a Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e da Pesca - SEDAP (2017), dez municípios no estado do Pará apresentam as maiores produções conforme mostrado na Figura 2.14, sendo Igarapé-Mirim o maior produtor, apresentando 21,99% do total.

Figura 2.114 – Produção de açaí nos municípios do Pará.



Fonte: SEDAP, 2017.

A produção de açaí tem aumentado no Brasil, em 2017 o fruto chegou em 3º lugar entre as frutas mais produzidas no país, além do cenário nacional o produto tem ganhado espaço internacional, a exemplo dos Estados Unidos que está entre os países que mais utiliza o fruto com matéria-prima para produtos industrializados (SERRA, 2019).

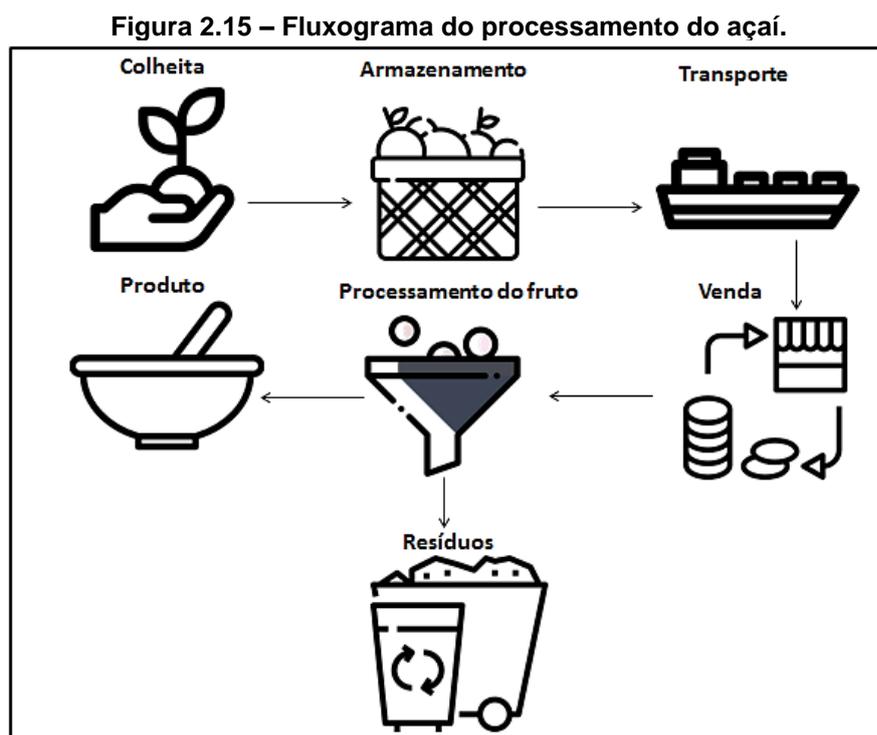
De acordo com o Serra (2019), cerca de 60% do açaí produzido no Pará fica no próprio estado, 35% segue para as outras regiões e 5% é exportado principalmente para os Estados Unidos, Japão e Austrália. No entanto, mesmo o estado sendo um grande produtor, o açaí configura 3% do produto interno bruto do Pará.

O fruto do açaí apresenta a coloração roxa ou verde, denominado açaí roxo e açaí branco por aqueles que consomem, quando estão maduros ficam cobertos superficialmente de uma camada branca-acinzentada. Segundo Favacho *et al.*, (2011, *apud*, MOURA, 2016), as dimensões variam de 1 a 2 cm de diâmetro contendo o peso de 1,5 gramas. Uma única palmeira pode produzir até 120 kg de frutos por safra (Shanleyet al.,1998, *apud*, Barreira, 2009), a semente única possui o mesocarpo oleaginoso do qual se extrai a polpa, e o endocarpo apresenta aspecto

físico duro e fibroso. “O vinho” ou suco, extraído da polpa representa 15% do fruto, sendo os outros 85% correspondente ao caroço e fibras (ALMEIDA *et al.* 2016).

Segundo Feio (2016), o beneficiamento ocorre por etapas. As primeiras realizadas manualmente por meio da colheita nos açazeiros e escolha dos frutos usando como critério a coloração ou mesmo maturação. Em seguida, o produto é acondicionado em cestos ou paneiros para que possam ser armazenados em locais exclusivos. O transporte fluvial de pequenas embarcações conduz o fruto para a venda em pontos comerciais ou em fábricas específicas que realizam o despulpamento.

Na Figura 2.15 encontra-se o fluxograma das principais etapas do beneficiamento do fruto do açaí e geração do resíduo.



Fonte: Autoria própria, 2019.

A produção dos frutos do açazeiro ocorre entre 3 a 4 anos e o seu florescimento durante todo o ano, sendo fevereiro a julho de melhores produtividades. Homma *et al* (2005), descreve o processo de colheita e pós-colheita em procedimentos de colheita e procedimentos realizados após a colheita, tais

como: a debulha, o acondicionamento, o armazenamento e o transporte, de acordo com as etapas:

- Colheita: acontecem 180 dias após a abertura e fecundação das flores (antese), quando a parte que reveste o fruto apresenta visualmente uma coloração roxo-escura ou verde-escura coberta por uma camada acinzentada. A colheita em muitas regiões do Estuário Amazônico é realizada por um escalador experiente que utiliza a peconha como auxílio para a subida nos estipes. Depois do corte, os frutos são depositados ao solo ou lonas plásticas para que não ocorra contaminação.
- Debulha: consiste na seleção dos frutos por meio da liberação destes dos cachos e da inspeção visual da coloração e do estágio de maturação, além da eliminação dos frutos atacados por animais. O critério de utilização dos frutos é realizado pelas características físicas das cascas dos frutos e quando as mesmas apresentam coloração roxo-escura intensa envolto com uma camada branco-acinzentada.
- Acondicionamento: os frutos são dispostos em cestos ou paneiros confeccionados em fibras vegetais ou em caixas plásticas com aberturas laterais para que facilite a aeração do produto.
- Armazenamento: antes do transporte, os frutos são armazenados no prazo máximo de 24 horas em locais que não possuam outros tipos de alimentos, materiais de limpeza, combustíveis ou outros produtos que possam contaminar os frutos. O produto precisa ser protegido de radiações solares e temperaturas elevadas, a fim de evitar a perda acessível de água ou mesmo na mudança de coloração.
- Transporte: o meio mais utilizado na região Amazônica para o escoamento de produção é por vias fluviais, devido os mesmos ser normalmente oriundos de regiões de várzea. O horário matutino é propício para o transporte por conta das baixas temperaturas que o fruto precisa para que não degrade rapidamente. As embarcações podem ser de pequeno porte ou mesmo com capacidade de 200 kg. Em caso de a produção ser em terra firme, o transporte é feito por vias rodoviárias em caminhões ou em veículos utilitários.

De acordo com Xavier *et al.*, (2006, *apud* Feio, 2016, p.7), após o processo da separação da massa com o caroço, 70% correspondem a resíduos que seguem para serem lavados, agitados e peneirados. A parcela que compõem de caroços e fibras corresponde a 55%, do resíduo sólido.

2.6 RESÍDUO DO CAROÇO DE AÇAÍ

Vários produtos são gerados a partir do beneficiamento do caroço de açaí e foram estudados por diversos autores (ALMEIDA *et al.*, 2016). O Quadro 2.3 mostra os múltiplos usos, suas respectivas áreas e os autores da pesquisa.

Quadro 2.3 – Produtos obtidos por meio do beneficiamento do caroço do açaí.

UTILIZAÇÃO	PROCESSO	AUTOR
Agricultura		
Fertilizante	Compostagem (O caroço, por sua difícil decomposição, entra como fornecedor de carbono).	Silva (2014)
Medicina		
Próteses de bio-material sintético	Aproveitamento do caroço na formação de poliol e poliuretano	Silveira (2012)
Movelaria		
Eco-painéis	Imersão do caroço em solução aquosa NaOH, separação manual das fibras, secagem, aplicação de resinas, prensagem com aquecimento	Mesquita (2013)Lima et al.(2015)
Madeira sintética	Secagem, moagem, separação da fibra e catalisação com a resina poliéster.	Goes,Moreno&Tavares(2014)
Artesanato		
Biojóias	Secagem,, retirada da casca, polimento, furação básica. Tingimento, esmerilhação, mudança de formatos etc. Uso do pó para fabricação de outras biojóias	Benatti(2013)
Geração de Bioenergia		
Biomassa (geração de energia via gaseificação)	Geração com dois subsistemas(com potência instalada de 80KW)	Xavier et al.(2006) Seye et al. (2008)
Briquetes	Briquetagem onde o material é submetido a	Reis et al.(2002)Pessoa &

	elevadas pressões	Reis(2012)
Tratamento de água		
Carvão vegetal (para retirada de metais pesados de águas superficiais)	Tratamento térmico com retirada de componentes voláteis e secagem; Impregnação com agentes químicos e nova carbonização.	Pereira et. al. (2014)
Carvão ativado para tratamento de água para consumo	Desidratação do caroço, ativação química com NaOH, carbonização, resfriamento, lavagem, secagem e inserido na vela de filtro.	Pereira & Rodrigues Junior (2013)

Fonte: Almeida et al., (2016), Adaptado pelo o autor.

O resíduo do caroço do açaí pode ser empregado nos mais variados setores industriais conforme apresentado no quadro 2.3, além destes é importante destacar que o uso como biomassa é possível graças ao alto poder calorífico que este produto possui (ROCHA, 2013).

O uso de biomassa está relacionado principalmente ao aquecimento e utilização direta ou indiretamente dos processos industriais que aproveitam a combustão para produção de eletricidade, sendo que de forma energética o mesmo é tratado como um recurso renovável proveniente de matéria orgânica seja ela de origem animal ou vegetal. (MONTEIRO, 2018).

Segundo Rocha (2013), a quantidade de emissão de Poder Calorífico Superior (PCS) do caroço do açaí se destaca entre as principais biomassas estudadas atualmente, dentre elas estão: fibra do dendê, casca de arroz, bagaço da cana, fibra de coco, resíduo da mandioca, casca de cacau, casca de castanha do Pará e Sabugo de milho.

A Figura 2.16 apresenta o estudo de 09 (nove) biomassas e os respectivos potenciais energéticos. Conforme os valores apresentados, o caroço do açaí possui segundo melhor PCS, ficando atrás apenas da castanha-do-pará.

Figura 2.16 – Caracterizações de eficiências energéticas de fontes de biomassas.

Espécies vegetais	PCS (MJ/kg)	Carbono Fixo (%)	Teor de Voláteis (%)	Teor de Cinzas (%)
Fibra do dendê	16,55	19,6	76,2	4,2
Referência	Nogueira e Rendeiro (2008)			
Casca de arroz	15,84	15,8	63,6	20,6
Referência	Jenkins (1998)	Nogueira (2007)	Nogueira (2007)	Nogueira (2007)
Bagaço de cana	18,99	13,7	75,4	10,8
Referência	Jenkins (1998)	Braunbeck e Cortez (2005)	Braunbeck e Cortez (2005)	Braunbeck e Cortez (2005)
Fibra de coco	18,67	24,7	70,6	4,7
Referência	Nogueira e Rendeiro (2008)			
Caroço de açaí	19,16	19,5	79,4	1,1
Referência	Nogueira e Rendeiro (2008)			
Resíduos de mandioca ^b	17,21	11,22	85,87	2,91
Referência	Viega (2012)			
Casca do cacau	13-16	21,04	69	9,96
Referência	Alburo <i>et al.</i> (2010)	García <i>et al.</i> (2012)	García <i>et al.</i> (2012)	García <i>et al.</i> (2012)
Cascas de Castanha do Pará	20,28	27,1	71,0	1,9
Referência	Nogueira e Rendeiro (2008)			
Sabugo do Milho	18,77	18,32	81,31	0,70
Referência	Jenkins & Ebeling (1985)	Paula <i>et al.</i> (2011)	Paula <i>et al.</i> (2011)	Vieira (2012)

Fonte: Rocha, 2013.

O estado do Pará possui disponibilidade de resíduos agrícolas de alto desempenho energético, a exemplo do caroço do açaí. O mesmo já é empregado durante a produção das cerâmicas vermelhas (ROCHA, 2013). No entanto, a cinza do resíduo gerada após a queima ainda é pouco aproveitada no setor ou mesmo utilizada na construção civil.

Segundo Marins (2014), o uso da cinza do caroço do açaí adicionado à argila caulínica da região do município de Marabá apresentou diminuição das densidades dependendo da temperatura de fusão em que foi exposta. Também pôde ser verificada que a porosidade aparente reduziu de acordo com a adição do resíduo.

2.7 USO DE CINZAS DE RESÍDUOS NA CERÂMICA VERMELHA

As cinzas são formadas pelo processo de combustão de um combustível sólido, sendo considerado material contaminante ao meio ambiente. Esse tipo de

aproveitamento de energia é muito utilizado no Brasil, produzindo dessa forma elevadas quantidades de resíduos (SANTOS, 2016).

O principal combustível utilizado na indústria cerâmica é o proveniente da lenha, sendo esses também grandes geradores de cinzas. O consumo da lenha necessário para produzir um milheiro de produtos cerâmicos é de 0,4m³, sendo liberados 3% de teor de cinzas o que chega entorno de 300 toneladas por mês (BORLINI *et al.*,2005).

De acordo com Monteiro (2018) o processo de queima de madeiras de eucalipto nos fornos cerâmicos pode gerar até 1,6 toneladas de cinzas por mês, no qual parte do resíduo produzido são dispostos em locais irregulares ou estocados em sacos.

Silva (2013) afirma que o processo de queima de biomassa produz grandes quantidades de cinzas e esse tipo de produto contém altas taxas de sílica e de óxidos alcalinos e alcalino-terrosos.

A utilização de cinzas do resíduo do caroço de açaí na massa de cerâmica estrutural mostrou-se viável nos teores de até 15% de resíduo na temperatura de 1150 °C, diminuindo a porosidade e aumentando a resistência mecânica das amostras (MARINS, 2014).

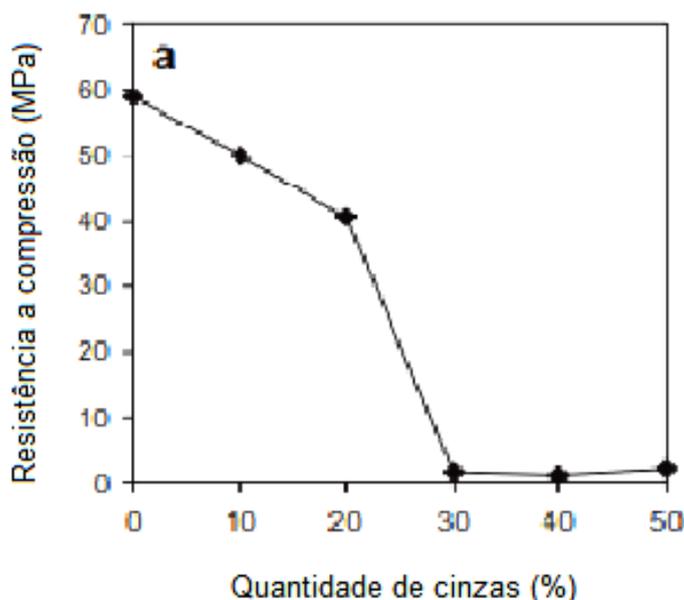
Segundo Lucena (2007), o uso de resíduos provenientes das indústrias aproveitados na produção da cerâmica seria uma maneira encontrada para redução dos impactos ambientais provocados pela disposição final inadequada.

De acordo com COHEN (1979, *apud* LUCENA, 2007), é necessário o desenvolvimento de tecnologias nos materiais que utilizem resíduos, para que os mesmos sejam equiparados aos convencionais com relação às propriedades e qualidades, sem que isso interfira em mais custos quando ofertados no mercado.

Na região de Cádiz, Sul da Espanha foi utilizado às cinzas obtidas do processo de incineração de biomassa como substituto parcial da argila nas proporções de 10%, 20%, 30% 40% e 50% em experimentos para a produção de tijolos cerâmicos, incluindo o tijolo sem adição para fins comparativos. O estudo demonstrou que o aumento acima de 20% do teor de cinzas na mistura gerou o aumento da absorção de água e diminuiu as propriedades de resistência a compressão do material (PEREZ-VILAREJO, 2010). Conforme a Figura 2.17, a

queda de resistência a compressão é significativa acima de 20%, todavia, abaixo desse valor os resultados são satisfatórios.

Figura 2.2 – Resistência à compressão dos tijolos conforme a quantidade de cinzas.

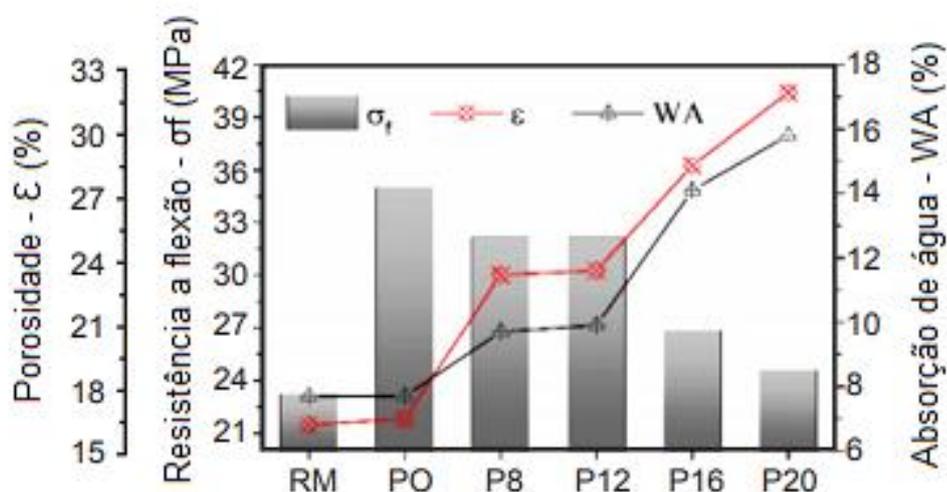


Fonte: Perez -Vilarejo, 2010

De acordo com Aineto *et al.* (2006), teores de 10% e 20% de cinzas de volantes oriundas da usina de ELCOGAS IGCC (gaseificação integrada do carvão limpo no ciclo combinado), adicionadas a argila de média plasticidade extraídas na região de La Reina em Toledo na Espanha, melhoraram as propriedades físicas relacionadas a absorção e saturação e a propriedade mecânica relacionada a resistência.

Formulações com cinzas de casca de arroz (RHA) e argila mostraram resultados técnicos satisfatórios na produção de blocos cerâmicos segundo estudos realizados por Milak *et al* (2017). Conforme a Figura 2.18 observa-se que os teores de cinzas de 8% (P8) e 12% (P12) estão dentro da faixa limite de porosidade (16% a 32%), sendo que os mesmos apresentam os melhores valores quando comparados as adições de Chamote (PO) e o material de referência (RM). Também é possível verificar que os melhores valores de resistência à flexão na massa contendo cinzas foram referentes a 8% e 12% de cinzas.

Figura 2.18 – Porosidade (ϵ), resistência a flexão (σ_f) e absorção de água (Wa).



Fonte: Adaptado de Milak *et al.*, 2017.

Estudos realizados na cidade de Andújar localizada na Espanha avaliaram a utilização de cinzas provenientes de biomassa da madeira, da poda de pinheiro-oliva e do bagaço da azeitona na produção de tijolos cerâmico maciço. Os resultados apresentaram aumento da porosidade nas amostras que continham cinzas das podas e do bagaço da azeitona o que contribuiu para a redução da resistência mecânica, por outro lado as cinzas da madeira obtiveram resistências semelhantes ao tijolo de referência sem adição (QUESADA *et al.*, 2017).

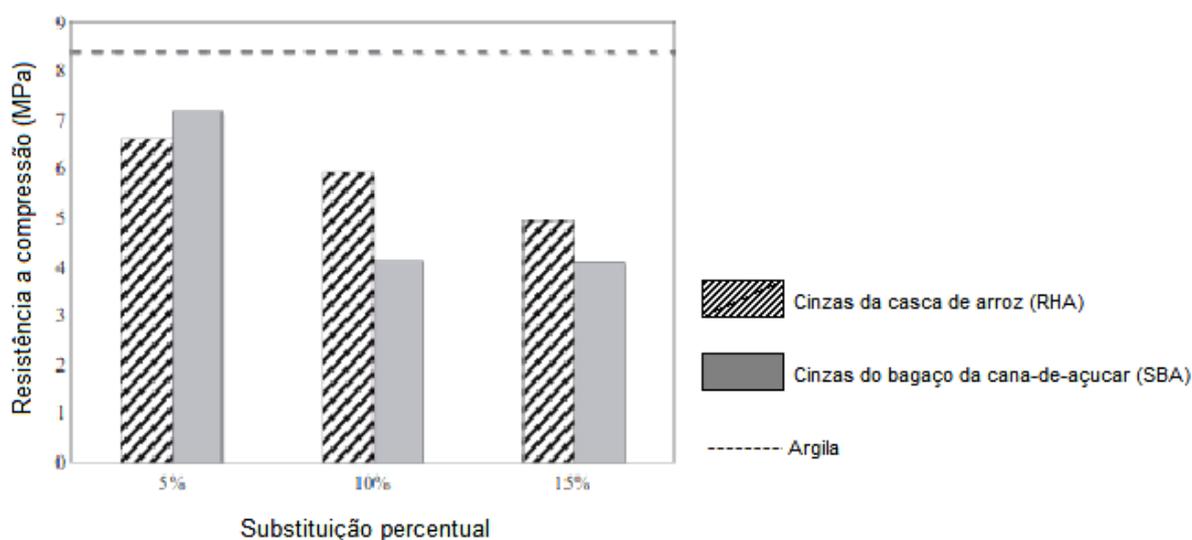
Adições de cinzas do bagaço da cana de açúcar em massa cerâmica atenderam exigências normativas como: retração linear, absorção de água e resistência à flexão. O que pôde trazer tanto benefícios ao meio ambiente como a redução de custos operacionais (PARANHOS, 2010).

De acordo com Kazmi (2016), o Paquistão é um país que produz muito resíduos provenientes da casca de arroz e da cana-de-açúcar, esse quantitativo para cada um é de aproximadamente um milhão de toneladas. A casca de arroz é normalmente aproveitada como fonte de combustível em fornos cerâmicos e indústria de papel e o bagaço da cana-de-açúcar em fornos da indústria açucareira. Todavia, a disposição adequada das cinzas da casca de arroz (RHA) e das cinzas

do bagaço da cana-de-açúcar (SBA) ainda é um grande desafio. Dessa forma, o uso no processo de fabricação de tijolos cerâmicos seria uma maneira de minimizar esse problema de acordo com os pesquisadores.

Kazmi (2016), afirma que as cinzas de RHA e SBA foram utilizadas em experimentos para produção de tijolos cerâmicos nas proporções de 5%, 10% e 15%, além do material de referência sem adição de cinzas para realização dos ensaios. Dessa forma, pôde ser verificado que o uso dos resíduos de RHA e SBA com 5% de substituição do material cerâmico apresentaram resistência de 6,62 e 7,18 MPa respectivamente, no entanto, à medida que os teores aumentaram ocorreu a queda dessa propriedade conforme demonstrado na Figura 2.19.

Figura 2.19 – Resistência à compressão dos tijolos com adições de cinzas de RHA e SBA.



Fonte: Adaptado de Kazmi ,2016.

La Casa (2014) afirma que países mediterrâneos como a Espanha são grandes produtores de azeite e geram grandes quantidades de bagaço de azeitona, sendo essa biomassa bastante aproveitada em usinas de biomassa para produção de calor e eletricidade. A cinza produzida representa de 4% a 8% dos resíduos queimados e a disposição ocorre normalmente em aterros próximos a essas usinas. Dessa forma, essas cinzas têm sido analisadas por pesquisadores como matéria-prima para uso em materiais cerâmicos.

Segundo Mendonça (2016), os subprodutos da cinza de origem animal como uso da lã de ovinos, matéria-prima encontrada em diversas indústrias têxteis incorporados a argila podem ser usadas, pois estas apresentam resultados adequados aos limites normativos.

Estudos realizados demonstram que a cinza do caroço de açaí (CCA) apresenta grande quantidade de sílica, o que pode ser aproveitado como adição mineral na produção de argamassas e concretos, pois estes em quantidades significativas reagindo com hidróxido de cálcio produzem silicatos de cálcio, materiais considerados cimentantes (CARVALHO, 2017).

3 METODOLOGIA

3.1 TIPO DE PESQUISA

A pesquisa desenvolvida possui abordagem qualitativa, sendo que algumas características básicas identificam os estudos denominados qualitativos. Segundo esta perspectiva, um fenômeno pode ser mais bem compreendido no contexto em que ocorre e do qual é parte, devendo ser analisado numa perspectiva integrada. Para tanto, o pesquisador vai a campo buscando captar o fenômeno em estudo a partir da perspectiva das pessoas nele envolvidas, considerando todos os pontos de vista relevantes. Vários tipos de dados são coletados e analisados para que se entenda a dinâmica do fenômeno (GODOY, 1995).

Em relação ao tipo, a pesquisa é caracterizada como descritiva e exploratória. A pesquisa descritiva vem descrever as características de uma determinada população ou fenômeno, estabelecendo relações entre variáveis (GIL, 2008). Como qualquer exploração, a pesquisa exploratória depende da intuição do explorador (neste caso, do pesquisador). Por ser um tipo de pesquisa muito específica, quase sempre ela assume a forma de um estudo de caso (GIL, 2008). Como qualquer pesquisa, ela depende também de uma pesquisa bibliográfica, pois mesmo que existem poucas referências sobre o assunto pesquisado, nenhuma pesquisa começa do zero.

3.1.1 Coleta de Dados

Considerando a natureza das informações pretendidas nesta pesquisa, optou-se pelo procedimento do delineamento – estudo de caso.

Segundo Santos (2006), trata-se de uma modalidade de pesquisa muito específica, pois consiste no estudo profundo e exaustivo de um único objeto ou de poucos objetos (um caso particular), especificamente nesta pesquisa são os resíduos do caroço do açaí. Depende fortemente do contexto do estudo e, seus resultados não podem ser generalizados.

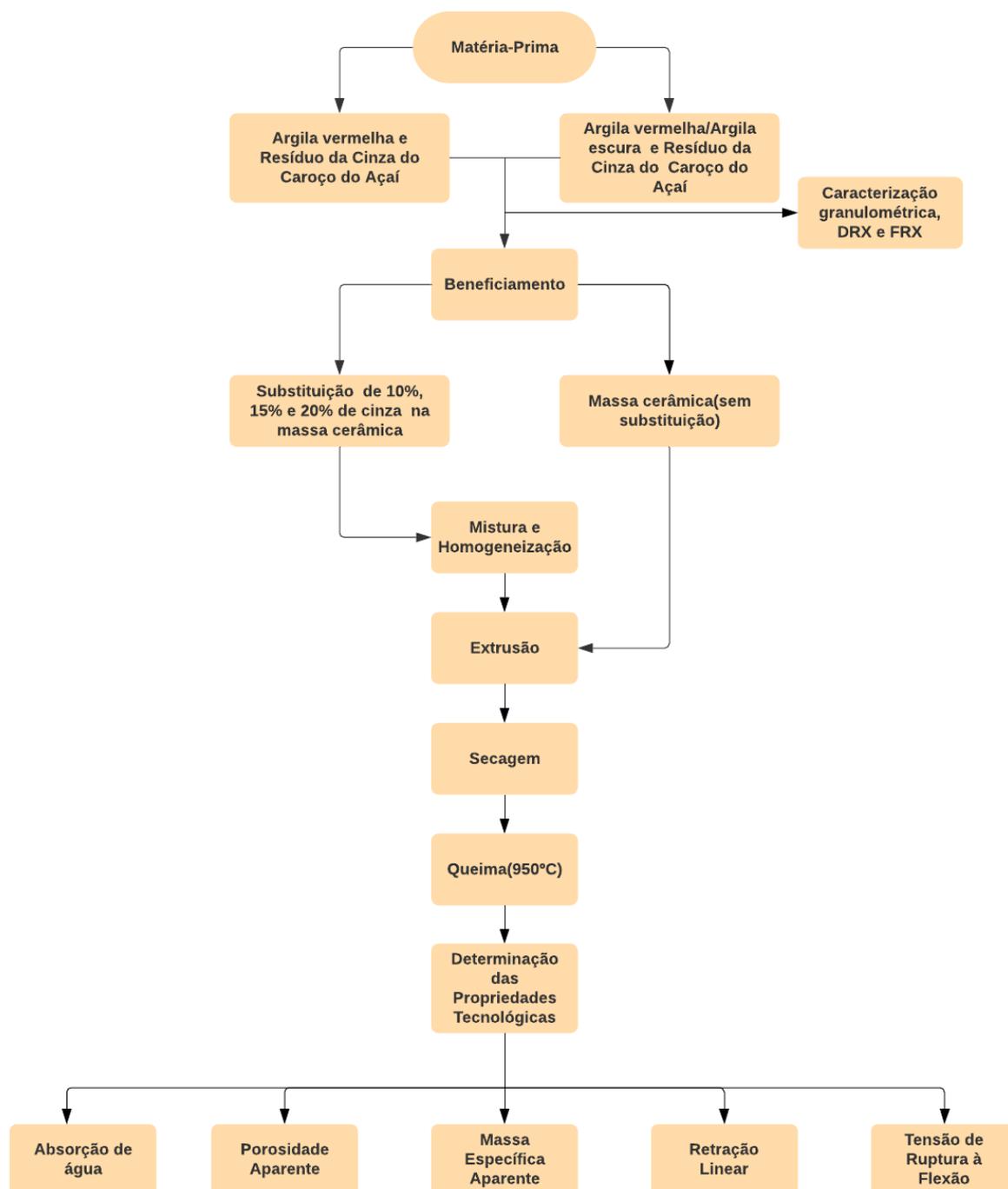
Os dados levantados foram realizados no local, por meio da coleta de resíduo diariamente por duas semanas nos principais pontos de venda de açaí, quantitativo esse suficiente para atender a demanda de queima de dois alimentadores do forno.

3.1.2 Técnica de Análise de Dados

O objetivo da análise foi trazer uma ideia ampla, promovendo informações da análise da utilização da cinza do caroço do açaí no beneficiamento da cerâmica vermelha, no município de Breu Branco - PA, com o propósito de fornecer elementos para subsidiar as informações sobre a utilização dos resíduos do caroço do açaí na cerâmica vermelha.

As etapas para o desenvolvimento da pesquisa são apresentadas no fluxograma da Figura 3.1.

Figura 3.1 – Fluxograma de etapas para o desenvolvimento da pesquisa.



Fonte : Autoria própria, 2019.

3.2 MATÉRIAS-PRIMAS

Para o início do trabalho foi necessária a realização da coleta do resíduo do caroço do açaí nos principais pontos de venda de açaí dos municípios de Tucuruí –

PA e Breu Branco – PA e das argilas que são usadas nos processos de fabricação dos materiais cerâmicos na olaria do estudo de caso.

3.2.1 Coleta de Resíduos e Transporte

A coleta do resíduo foi realizada nos municípios de Breu Branco e Tucuruí, pois foi verificado *in loco* por meio de visitas nos pontos de vendas que somente o município de Breu Branco não teria capacidade de disponibilidade de fornecimento desse material, no entanto, a permanência do local em questão, deveu-se a disponibilidade de acesso à infraestrutura e matérias – prima disponibilizada pela olaria escolhida para o estudo de caso.

Os materiais coletados foram transportados dos principais pontos de venda de açaí da feira municipal, bairro centro e Novo Horizonte da cidade de Breu Branco e dos bairros de Tucuruí: Mangal, Cohab, Lauro Sodré, Jaqueira, Matinha, São Francisco e Colinas e posteriormente levados a secagem. A Figura 3.2 apresenta a coleta de resíduo sendo estocado na olaria para queima em duas boquilhas do forno.

Figura 3.2 – Resíduo do caroço de açaí coletado.



Fonte: Autoria própria, 2019.

Para o uso exclusivo do resíduo do caroço do açaí na queima do forno da olaria sem necessidade de mistura com outro material foi necessário coletar, transportar e estocar aproximadamente 26 m³ do material. O transporte foi realizado

na caçamba de pequeno porte cedido pelo NDAE por duas semanas no mês de fevereiro de 2019.

3.2.2 Preparo do Material para Queima

A triagem visual foi realizada por conta da possível contaminação de plásticos e outros materiais misturados ao resíduo orgânico durante a coleta. Também foram retirados desse meio, os caroços que estavam em processo de germinação.

Os materiais coletados foram espalhados sob uma lona plástica para que não ocorresse contaminação com o solo e ficaram dispostos nas proximidades dos fornos recebendo o calor conduzido das paredes e também do sol para secagem do material. No entanto, esse procedimento foi realizado apenas durante a estiagem, em um período de 48 horas antes da queima do resíduo. Pois em dias de chuva, os mesmos foram colocados em um galpão coberto para secagem em temperatura ambiente.

As cinzas coletadas foram provenientes da queima do caroço do açaí utilizados nos fornos como material de combustão. Dois tipos de argilas foram empregados na confecção dos corpos-de-prova, uma vez que estas são usadas para a produção das peças cerâmicas na olaria.

3.2.3 Cinza do Resíduo do Caroço do Açaí

A cinza utilizada na preparação da mistura da massa cerâmica foi coletada após a queima dos produtos cerâmicos na olaria. O resíduo foi processado no Laboratório de Engenharia Civil do Campus Universitário de Tucuruí (LEC-CAMTUC) utilizando o equipamento de abrasão Los Angeles para a redução granulométrica.

A redução consistiu em inserir 5 kg de resíduo de RCA na máquina “Los Angeles” juntamente com doze esferas de ferro fundido e aplicar 1000 rotações. O material precisou passar pelo procedimento duas vezes, para que a granulometria ficasse dentro do especificado e não houvesse perda do resíduo.

Na sequência o material foi peneirado e dessa forma, pôde ser obtido o insumo necessário para a mistura da argila. Na Figura 3.3 é mostrado o material coletado após a queima e o material após o processo de redução granulométrica.

Figura 3.3 – Resíduo coletado e processado.



Fonte: Autoria própria, 2019.

3.2.4 Argila Vermelha e Argila Escura

Para fabricação das peças cerâmicas na olaria do estudo de caso são utilizados dois tipos de argilas. De acordo com os fabricantes, na confecção de blocos é utilizada a argila vermelha ou argila clara e na produção de telhas são empregadas 50% da argila vermelha e 50% da argila escura. Dessa forma, as duas argilas serviram de matéria-prima para o estudo de caso. A Figura 3.4 apresenta as matérias - primas utilizadas, sendo a primeira caracterizada como argila escura (AE) e a segunda como argila vermelha (AV).

Figura 3.4 – Argilas usadas para confecção dos corpos de prova .



Fonte: Autoria própria, 2019.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS

Os insumos coletados foram caracterizados para as verificações granulométrica, das composições químicas, e mineralógicas de cada material coletado, por meio das técnicas de: Análise Mineralógica por Difração de Raio-x (DRX) e espectrometria por fluorescência de raio-x.

3.3.1 Análise Granulométrica das Matérias-primas

A caracterização do material das argilas foi realizada no Laboratório de Engenharia Civil do Campus Universitário de Tucuruí (LEC-CAMTUC) seguindo as recomendações da norma NBR 7181 (ABNT, 2017), que determina a análise granulométrica do solo utilizando o peneiramento ou pela combinação de sedimentação e peneiramento.

A secagem das argilas foi feita na estufa com a temperatura a 100 °C por 24 horas. Para análise granulométrica foram utilizadas as duas amostras de argilas passadas na peneira Nº 10 (2,00 mm) e posteriormente pesadas, sendo 120 gramas de cada material para verificação de solos mais arenoso e 70 gramas para solos siltsosos e argilosos. A Figura 3.5 apresenta as amostras analisadas.

Figura 3.5 – Ensaio de determinação granulométrica da argila.



Fonte: Autoria própria, 2019.

Após a leitura do ensaio de sedimentação, os materiais foram despejados na peneira Nº 200 (0,074 mm) para serem lavados. Os materiais retidos foram transferidos para as capsulas e colocados para secagem na estufa na temperatura de 100 °C por 24 horas. Em seguida, os materiais foram passados no conjunto de peneiras (1,2 - 0,6 - 0,42 - 0,30 - 0,15 e 0,074 mm) e postos no agitador mecânico.

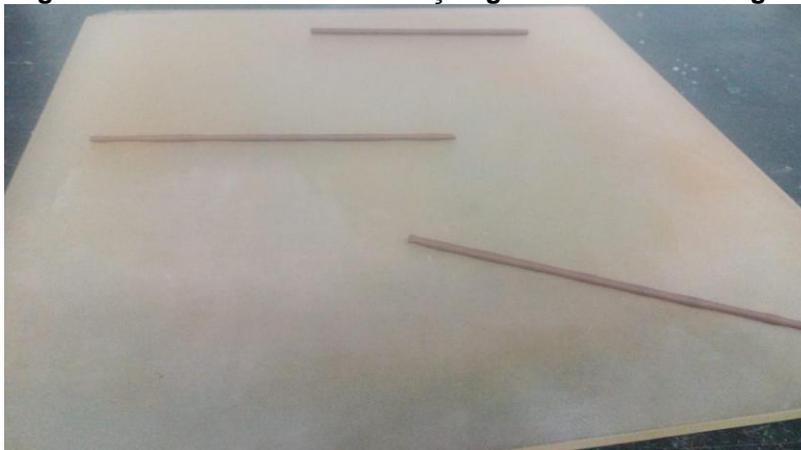
3.3.2 Plasticidade

Vásquez (2005), afirma que a plasticidade da argila está relacionada com a capacidade de moldagem em diferentes formatos quando umedecida com água e submetida a forças externas. Esse tipo de material mantém o comportamento plástico mediante valores que não excedam a absorção limite de água.

A propriedade plástica do material argiloso está relacionada com a composição mineralógica, tamanho e distribuição das partículas, capacidade de troca de cátions e dos ânions, pH da argila e da tensão superficial da água.

O ensaio de plasticidade foi realizado de acordo a norma da NBR 7180 (ABNT, 2016), para as argilas utilizadas na olaria do estudo de caso e para as composições que continham a substituição dos teores de cinzas de 10%, 15% e 20%. A Figura 3.6 apresenta a massa de argila moldada no formato de cilindro sob a placa de vidro.

Figura 3.6 – Ensaio de determinação granulométrica da argila.



Fonte: Aatoria própria, 2019.

Para determinação do índice de plasticidade foi necessário realizar o ensaio de limite de liquidez (LL), seguindo as recomendações da NBR 6459 (ABNT, 2016). Esse limite indica a quantidade tolerável de água para que a massa de argila mantenha o estado moldável. A Figura 3.7 ilustra a argila umedecida com a ranhura no aparelho de Casagrande.

Figura 3.7 – Ensaio de determinação do limite de liquidez.



Fonte: Aatoria própria, 2019.

Os ensaios foram realizados no LEC-CAMTUC, e de acordo com os valores obtidos foi possível avaliar a quantidade de água necessária para a moldagem por extrusão dos corpos de prova.

3.3.3 Plasticidade das Composições

A Tabela 3.1 apresenta os limites de plasticidade das massas sem e com substituição de cinzas de RCA. A determinação do limite de consistência não foi realizada para as cinzas de RCA, pois o mesmo não possuía plasticidade.

Tabela 3.1 – Limites de Atterberg das massas com e sem resíduos incorporados.

TEOR DE CINZA %	% EM VOLUME DE MATÉRIA PRIMA		LIMITES DE ATTERBERG(%)		
	Argila Vermelha	Argila Escura	LL	LP	IP
0	100	0	48,43	22,48	25,95
	0	100	47,29	24,64	22,65
10	90	0	39,56	18,23	21,33
	45	45	39,85	19,55	20,30
15	85	0	43,52	20,96	22,56
	42,5	42,5	39,67	20,86	18,81
20	80	0	42,38	19,08	23,30
	40	40	39,01	21,35	17,66

Fonte: Autoria própria, 2019.

Segundo Caputo (1998), a classificação de plasticidade segue a escala de Jenkins, o qual caracteriza o índice de plasticidade em fracamente plástico ($1 < IP < 7$), medianamente plástica ($7 < IP < 15$) e altamente plástica ($15 < IP$)

A massa da argila vermelha apresentou 48,43%, sendo este o maior limite de liquidez quando comparado com as outras composições, gerando um índice de plasticidade de 25,95%. Esse tipo de material segundo a escala de Jenkins apresenta característica altamente plástica, o que implica na necessidade de acrescentar mais água para obter uma boa plasticidade.

A composição contendo 20% de cinzas, 40% de argila vermelha e 40% de argila escura apresentou o limite de liquidez de 39,01%, limite de plasticidade de 21,35% e o índice de plasticidade de 17,66%, sendo este o menor valor alcançado. Percebe-se que a substituição da cinza de RCA influenciou na redução do índice de plasticidade, no entanto não alterou a trabalhabilidade da massa.

Nota-se que as formulações das massas que continham a mistura das duas argilas de referência (escura e vermelha) juntamente com as cinzas de RCA apresentaram os menores índices de plasticidade. Assim como as argilas de referência, as composições contendo as cinzas de RCA classificaram-se como altamente plástica.

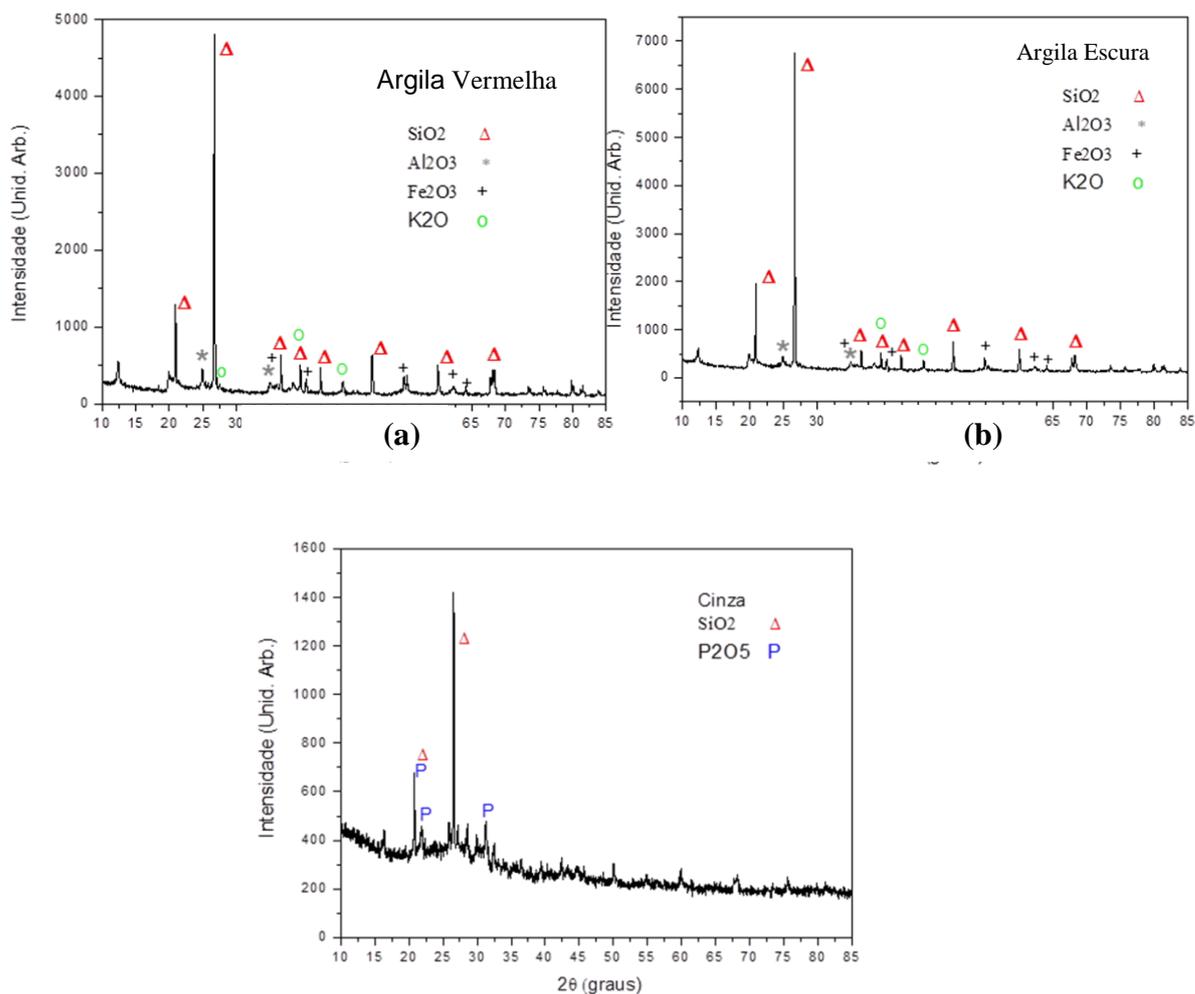
De acordo Cruz (2012), as argilas que apresentam maior plasticidade precisarão de mais água para formar uma massa plástica. Essa água por sua vez será maior ou igual ao limite de plasticidade da argila e menor que o limite de liquidez. Mesmo depois da queima, a umidade da massa argilosa pode ser problemática, pois essa pode aumentar a retração das peças.

Conforme os resultados apresentados na Tabela 4.1, a substituição de cinzas de RCA contribuiu de forma positiva para a redução da plasticidade e conseqüentemente pode influenciar na redução de retração desse material.

3.3.4 DRX das matérias - primas e da cinza de RCA

Nas amostras das argilas vermelha, escura e nas cinzas de RCA foi identificada a presença de quartzo (SiO_2), sendo que o maior grau de cristalinidade foi observado nas amostras das argilas. Outras fases cristalográficas foram encontradas, como Al_2O_3 , Fe_2O_3 e K_2O confirmando os resultados obtidos pela técnica de fluorescência. No difratograma da cinza de RCA foram identificadas a fase cristalográfica cúbica do quartzo e a fase cristalográfica ortorrômbica do óxido de fósforo (P_2O_5). Na Figura 3.8 estão apresentados os resultados do difratograma de raios X da argila vermelha (a) e argila escura (b) das cinzas de RCA (c).

Figura 3.8 - Difratograma de raios X das amostras: argila vermelha (a), argila escura (b) e cinzas de RCA(c).



Fonte: Autoria própria, 2019.

3.3.5 Análise Química

A composição química foi determinada para as argilas escura e vermelha e para o resíduo de RCA por meio da fluorescência de Raios - x. As amostras foram ensaiadas no laboratório de química da empresa DOW localizada no município de Breu Branco. Foi utilizado o aparelho de Espectrofotometria de fluorescência de raio x, modelo Axios Max – Pw4400/40, e a leitura dos resultados por meio do software SUPERQ 5.1B, aplicação Om.

Segundo Gouveia (2008), o ensaio de fluorescência apresenta a composição elementar das amostras de maneira quantitativa e qualitativa, ou seja, são apresentados os elementos que estão presentes nos materiais e suas respectivas quantidades.

A Tabela 3.2 apresenta os resultados das composições químicas das amostras das argilas vermelha e escura e da cinza de RCA obtidas por meio da fluorescência de raio-x.

Tabela 3.2 – Composição química das argilas e das cinzas de RCA.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA	DESCRIÇÃO DA AMOSTRA (%)		
	Argila Vermelha	Argila Escura	Cinza de RCA
Na ₂ O	0,06	0,05	0,22
MgO	0,80	0,80	3,06
Al ₂ O ₃	24,78	24,16	6,19
SiO ₂	67,16	67,93	38,67
P ₂ O ₅	0,12	0,12	13,02
SO ₃	0,02	0,02	2,01
Cl	0,03	0,03	0,47
K ₂ O	1,15	1,16	22,95
CaO	0,02	0,02	6,09
TiO ₂	1,36	1,26	0,92
Cr ₂ O ₃	0,02	0,01	0,02
MnO	0,02	0,02	0,51
Fe ₂ O ₃	4,32	4,35	5,74
NiO	0,01	0,01	0,02
CuO	0,00	0,00	0,08
ZnO	0,01	0,00	0,01
Rb ₂ O	0,00	0,00	0,03
SrO	0,00	0,01	0,01
ZrO ₂	0,03	0,03	0,02
BaO	0,05	0,00	0,00
CeO ₂	0,05	0,05	0,00
Co ₃ O ₄	0,01	0,01	0,00
Ga ₂ O ₃	0,02	0,00	0,00
PbO	0,50	0,00	0,00
Rh	0,00	0,01	0,00

Fonte: Autoria própria, 2019.

De acordo com os dados obtidos do ensaio de fluorescência de raio - x observa –se que as argila vermelha, escura e as cinzas de RCA são constituídas principalmente de SiO₂ , apresentando 67,16%, 67,93% e 38,67% respectivamente.

De acordo com Souza Santos (1989), o óxido de silício (SiO_2) é oriundo do quartzo e dos argilominerais que possuem silício em sua composição. Os teores de Al_2O_3 são encontrados na argila vermelha (24,78%), na argila escura (24,16%) e na cinza de RCA (6,19%).

Na cinza de RCA foi verificada a presença de 13,02% de P_2O_5 , 22,95% e K_2O , que podem ser decorrentes do solo e dos produtos agrícolas utilizados no cultivo do açaí conforme Cordeiro *et al.*, (2019). Também pode ser vista a incidência da composição de CaO (6,09%) e Fe_2O_3 . Os óxidos encontrados na matéria prima e nas cinzas de RCA, como SiO_2 , K_2O e CaO possuem o efeito fundente e podem auxiliar na redução da porosidade (SOUZA SANTOS, 1989).

3.4 FABRICAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

3.4.1 Mistura e Homogeneização

As composições das massas cerâmicas foram realizadas no Laboratório de Cerâmica Vermelha – LACER localizado em São Miguel do Guamá-Pa, utilizando as proporções de 0%, 10%, 15% e 20% de resíduo em substituição das argilas. Esses percentuais foram baseados em estudos realizados por Kazmi (2016) e Perez-Vilarejo (2010), pois os mesmos verificaram que teores maiores de cinza na massa cerâmica podem alterar de forma significativa a resistência a compressão e no aumento da absorção das peças cerâmicas. Na Tabela 3.1 são demonstradas as composições utilizadas para a pesquisa.

Tabela 3.3 – Composição da massa cerâmica com resíduo de RCA.

TEOR DE CINZA %	% EM VOLUME DE MATÉRIA PRIMA		QUANTIDADE DE CORPO DE PROVA
	Argila Vermelha	Argila Escura	
0	100	0	20
	50	50	20
10	90	0	20
	45	45	20
15	85	0	20
	42,5	42,5	20

20	80	0	20
	40	40	20
TOTAL			160

Fonte: Aatoria própria, 2019.

As composições foram misturadas no estado seco, de forma manual, conforme as porcentagens adotadas (Tabela 3.1), para garantir a homogeneidade da mistura (Figura 3.9). Em seguida, foram umedecidas com água para obter a conformação da massa (Figura 3.10), e, posteriormente deixada em repouso por 24h para melhorar a plasticidade.

Figura 3.9 – Mistura de argila seca e cinza do caroço de açaí.



Fonte: Aatoria própria, 2019.

Figura 3.10 – Mistura da argila com cinza de RCA.



Fonte: Aatoria própria, 2019.

3.4.2 Extrusão

A conformação das peças foi realizada por extrusão a vácuo utilizando a maromba a vácuo SERVITCH 200 kg/hora do laboratório LACER. As dimensões das peças obtidas foram de 112 mm de comprimento x 27 mm de largura e 19 mm de espessura. A Figura 3.11 demonstra o momento da extrusão da massa.

Figura 3.11 – Extrusão da massa cerâmica.



Fonte: Autoria própria, 2019.

3.4.3 Secagem

A secagem das peças foi realizada após a conformação na temperatura ambiente (28°C aproximadamente) em um período de 48h. Esse procedimento deve ser lento para que a água adsorvida seja perdida gradativamente, no entanto, com a umidade suficiente para manter a peça agregada, também é uma maneira de evitar defeitos, como fissuras ocasionadas pela retração. Após esta etapa, as peças foram colocadas na estufa de secagem em temperatura de 110 °C por 24h.

Os corpos de provas foram marcados e pesados ainda úmidos para que fosse realizado posteriormente o ensaio de retração. A Figura 3.12 ilustra os corpos de provas em temperatura ambiente para secagem.

Figura 3.12 – Secagem em temperatura ambiente dos corpos de prova.



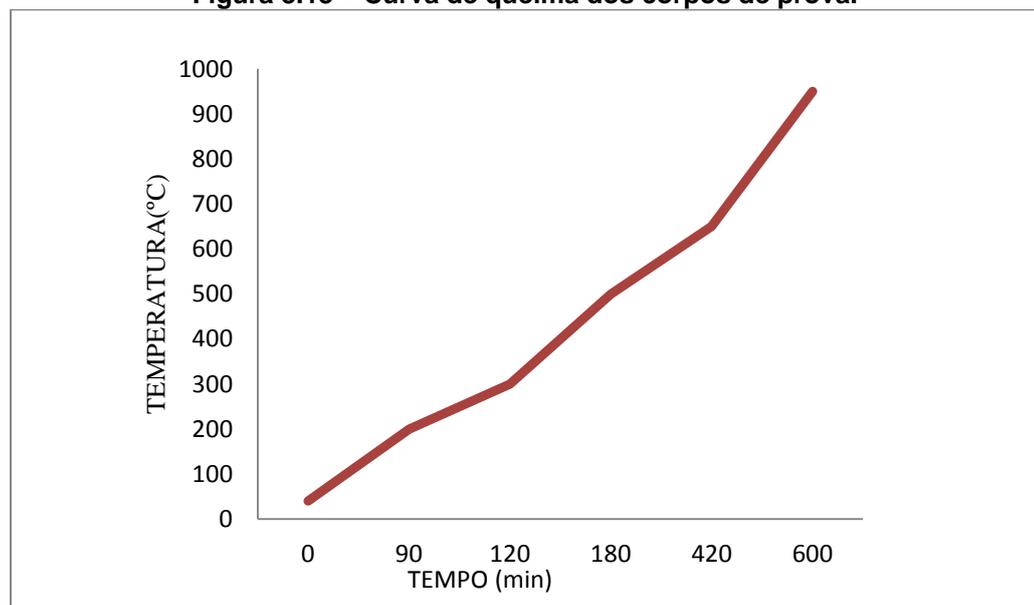
Fonte: A autoria própria, 2019.

3.4.4 Queima

O forno do tipo mufla 1300 °C com capacidade de 10 litros foi utilizado para o processo de queima dos corpos de prova em seguida sinterizados na temperatura de 950 °C no ciclo de queima de 12 horas.

As peças foram colocadas em temperatura ambiente e aquecidas a 2,2°C/min até atingir 200 °C o primeiro patamar em 90 minutos, em seguida, de 200 °C para 300 °C em 30 minutos, de 300 °C para 500 °C em 60 minutos e de 500 °C a 650 °C em 240 min, pois, nessa faixa acontece a perda de água da estrutura, portanto, o aquecimento deve ser lento. E no último estágio de aquecimento, na temperatura de 650 °C para 950 °C, o procedimento foi realizado em 130 min.

Os corpos de provas foram queimados separadamente por apresentarem matéria-orgânica em sua composição, e, portanto, suscetíveis a sofrer combustão do material. Dutra (2007) afirma que as reações que acontecem no material cerâmico durante os patamares de queima são do tipo endotérmico, ou seja, absorvem energia. No entanto, por apresentarem naturalmente material orgânico em sua composição ou mesmo adicionado, esse tipo de material fica mais propício a sofrer combustão por conta das reações exotérmicas. A Figura 3.13 apresenta o gráfico relacionado à curva de queima dos corpos de prova.

Figura 3.13 – Curva de queima dos corpos de prova.

Fonte: Autoria própria, 2019.

A Figura 3.14 apresenta os corpos de prova na composição de referência (sem incorporação de cinza) e com os teores de 0%, 10%, 15% e 20% após a sinterização de 950 °C.

Figura 3.14 – Corpos de prova sinterizados.

Fonte: Autoria própria, 2019.

3.5 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS

Os ensaios físicos e mecânicos foram realizados após a queima dos corpos de prova para a determinação da absorção de água, retração linear, tensão de ruptura a flexão, massa específica aparente e porosidade aparente, conforme a descrição a seguir.

3.5.1 Absorção de Água

O ensaio de absorção de água foi baseado nos procedimentos da norma NBR 15270 (ABNT, 2017).

Após a secagem na estufa por 24 horas, os corpos de prova foram pesados e em seguida ficaram imersos em um tanque de água por 24 horas para que posteriormente fosse determinado o peso úmido. Com os dados obtidos, a absorção de água foi calculada utilizando-se a Equação 3.1:

$$AA(\%) = \frac{mu - ms}{ms} \times 100 \quad (3.1)$$

Onde:

AA (%) = Índice de Absorção de água

mu = Massa úmida (g)

ms = Massa seca (g)

Por meio da média aritmética dos valores obtidos foi determinada a média do índice de absorção de água dos corpos de prova.

3.5.2 Porosidade Aparente

A porosidade aparente é determinada pelo método gravimétrico e é definida como o percentual da porosidade aberta existente do corpo de prova. O ensaio foi baseado na norma ASTM 373:88.

Para realização do ensaio, os corpos de prova foram fervidos em água no período de 2 horas, em seguida foram cobertos por água para obter o resfriamento na temperatura ambiente. Cada corpo de prova suspenso por um fio de arame foi pesado individualmente utilizando uma balança hidrostática digital (Figura 3.15).

Figura 3.15 – Determinação do peso com o corpo de prova submerso.



Fonte: Autoria própria, 2019.

Em seguida, o excesso de água foi retirado com um pano e pesados, obtendo-se a massa de água saturada. Após esse procedimento, os mesmos foram submetidos a secagem na estufa na temperatura de 110 °C por 24 horas, em seguida, foram pesados para determinação da massa seca. A Equação 3.2 foi utilizada para fornecer o percentual do volume de poros abertos em relação ao seu volume total.

$$PA(\%) = \frac{P_u - P_s}{P_u - P_i} \times 100 \quad (3.2)$$

Onde:

PA (%) = Porosidade aparente

P_u = Peso do corpo de prova úmido (g)

P_s = Peso do corpo de prova seco(g)

P_i = Peso do corpo de prova imerso em água(g)

3.5.3 Massa Específica Aparente

A massa específica aparente foi baseada nos estudos de Souza Santos (1989) em que se verifica a massa pelo volume do corpo de prova, de acordo com a Equação 3.3

$$MEA \left(\frac{g}{cm^3} \right) = \frac{P_s}{(P_u - P_i)} \quad (3.3)$$

Onde:

MEA = Massa específica aparente

P_s = Peso do corpo de prova seco (g)

P_u = Peso do corpo de prova úmido (g)

P_i = Peso do corpo de prova imerso em água (g)

3.5.4 Retração Linear

Os corpos de prova foram medidos utilizando o paquímetro, em seguida, foram submetidos à secagem natural, a secagem em estufa e a sinterização conforme recomendação de Souza Santos (1989), após a queima as peças foram novamente medidas conforme mostrada na Figura 3.16. A Equação 3.4 foi utilizada para a determinação da retração linear.

Figura 3.16 – Medidas dos corpos de provas após a sinterização



Fonte: Autoria própria, 2019.

Com os dados obtidos, foi utilizada a Equação 3.4 para determinação da retração linear.

$$RL = \frac{L_0 - L_f}{L_0} \times 100 \quad (3.4)$$

Onde:

RL = Retração linear de queima

L_0 = Comprimento inicial do corpo de prova (mm)

L_f = Comprimento final do corpo de prova (mm)

3.5.5 Tensão de Ruptura à Flexão

A tensão de ruptura à flexão é um ensaio que verifica a resistência mecânica das peças cerâmicas, no qual uma carga é aplicada no corpo de prova entre a distância de dois cutelos de apoio. A norma NBR 13818 (ABNT, 1997) foi utilizada como parâmetro para realização deste ensaio.

O procedimento foi realizado na LACER, logo após o resfriamento dos corpos de prova sinterizados na temperatura de 950 °C. Em seguida os mesmos

foram posicionados na máquina de ensaio EMIC DL 20000 para aplicação do carregamento, conforme demonstrada na Figura 3.17.

Figura 3.17 – Ensaio de resistência a flexão.



Fonte: A autoria própria, 2019.

A célula de carga utilizada foi de 10 kN e a tensão de ruptura foi calculada utilizando a Equação 3.5.

$$\sigma(\text{MPa}) = \frac{3FL}{2be^2} \quad (3.5)$$

Onde:

σ = Tensão de ruptura a flexão (MPa)

F = Força de Ruptura (N)

L = Distância entre os apoios (mm)

b = Largura do corpo de prova (mm)

e = Espessura mínima do corpo de prova (mm).

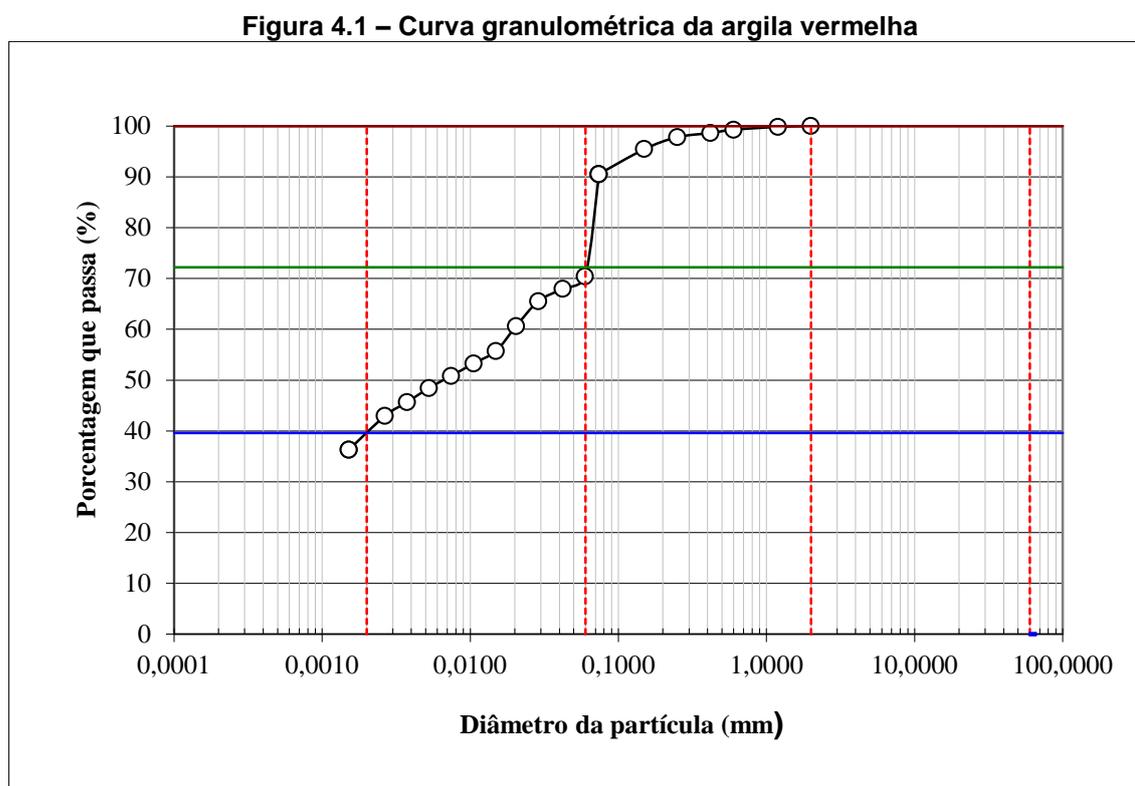
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo, são apresentados os resultados das caracterizações das matérias-primas e dos ensaios físicos e mecânicos realizados nos corpos de prova com substituição nos percentuais: 0%, 10%, 15% e 20% de cinzas do caroço de açaí.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

4.1.1 Granulometria das Argilas

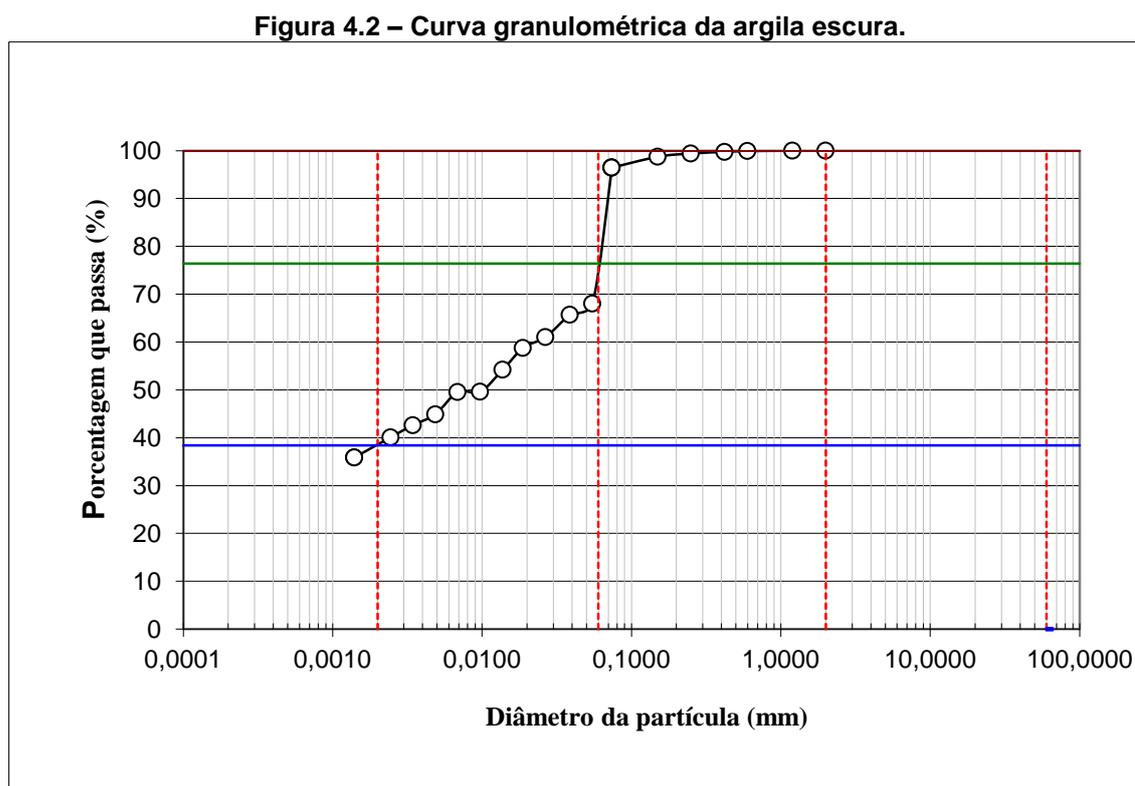
A Figura 4.1 mostra a distribuição granulométrica da amostra da argila vermelha estudada.



Fonte: Autoria própria, 2019.

De acordo com os dados obtidos, constatou-se que o material é composto por 40% de argila ($\varnothing < 0,002\text{mm}$), 33% de silte ($0,002 < \varnothing < 0,02\text{mm}$) e 28% de areia ($0,02 < \varnothing < 0,2\text{mm}$).

A Figura 4.2 apresenta a distribuição granulométrica da amostra analisada da argila escura.



Fonte: Autoria própria, 2019.

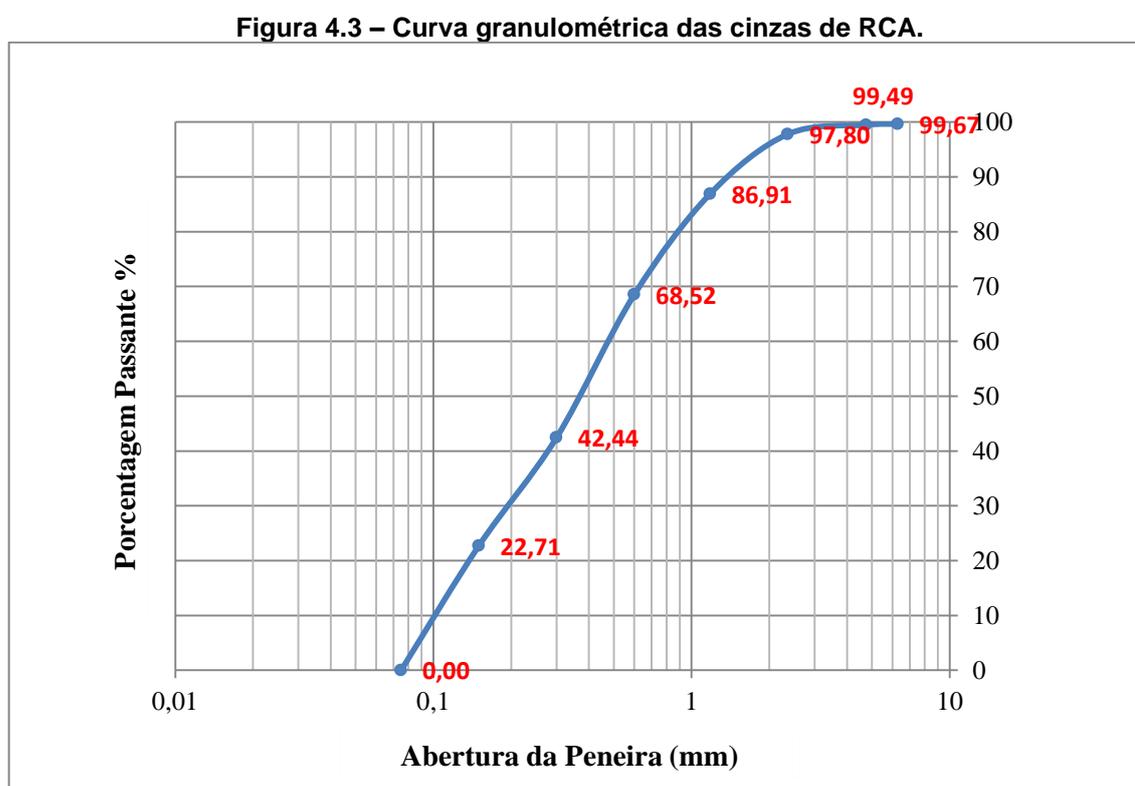
Na composição da amostra da argila escura, a quantidade de argila foi de 38%, silte 39% e areia 23%, esses valores foram conferidos na segunda amostra contendo o mesmo material e os dados obtidos foram similares.

Conforme os valores obtidos nas amostras, a argila vermelha apresenta percentuais maiores de argila, seguida de silte e por último de areia. Na argila escura, a porcentagem de silte foi praticamente equivalente a da argila. Nas duas amostras a quantidade de argila e areia está dentro da faixa de 15% a 45% de argila e 15% a 30% de areia, quantitativos ideais para fabricação de blocos cerâmicos, conforme Souza Santos (1989).

Souza Santos (1989) afirma que a granulometria fina de partículas que constitui a argila pode influenciar na reatividade entre as partículas durante a etapa de queima, enquanto que, partículas grosseiras que podem ocasionar trincas de resfriamento.

4.1.2 Granulometria do Resíduo

De acordo com NBR 7211 (ABNT, 2019) a granulometria do resíduo está relacionada à faixa dimensional da areia. O valor obtido do diâmetro máximo do grão foi de 1,1 mm e o módulo de finura correspondente foi de 1,88 (Figura 4.3).



Fonte: Autoria própria, 2019.

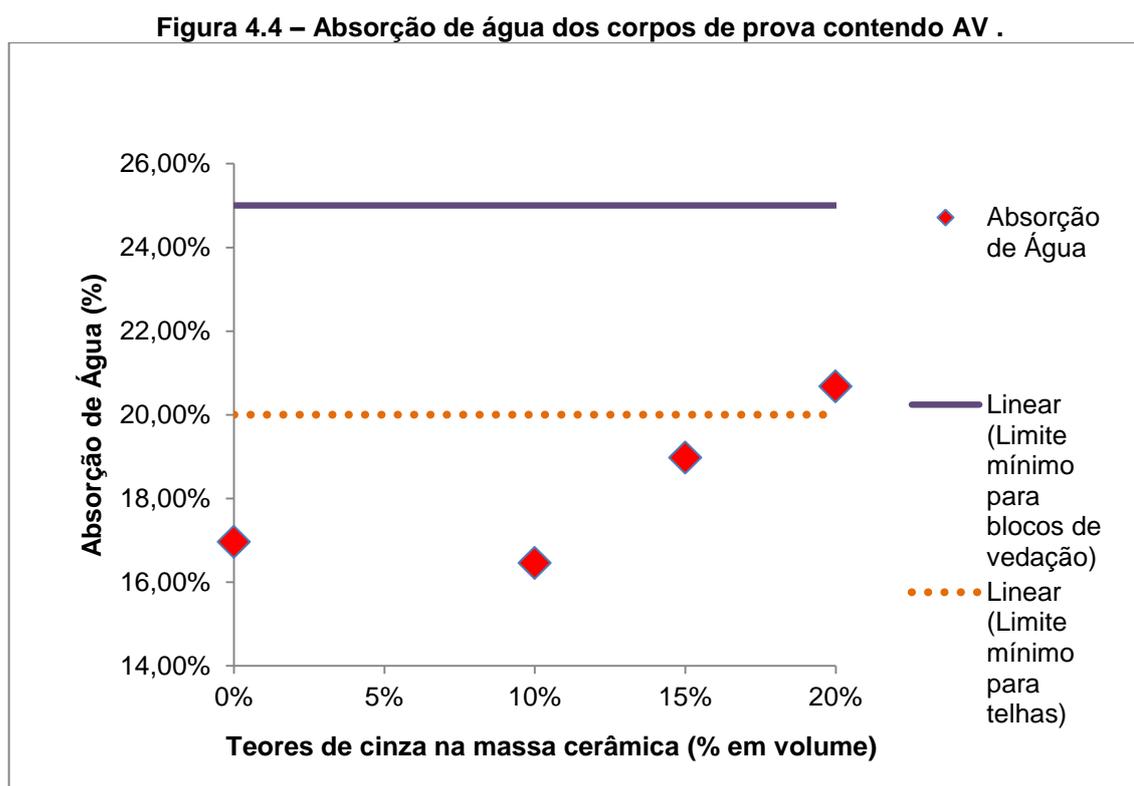
O diâmetro do grão da cinza do caroço do açaí pode fazer parte das misturas de granulometrias constituintes da massa cerâmica, tendo em vista que esse tipo de material possui partículas distintas em sua formação. O resíduo possui granulometria de areia (Figura 4.3), podendo ser denominado como material não plástico.

De acordo com Pracidelli e Melchiades (2007), quando inserido material não plástico de maneira moderada na composição argilosa, essa propriedade possibilita agregar características positivas para a argila, tais como a diminuição da retração de secagem e queima.

4.2 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS

4.2.1 Absorção de água

A Figura 4.4 apresenta o gráfico com os valores obtidos do ensaio de absorção nos corpos de prova de 0% (referência), 10%, 15% e 20% de substituição de argila vermelha por cinza do resíduo do caroço de açaí (RCA).



Fonte: Autoria própria, 2019.

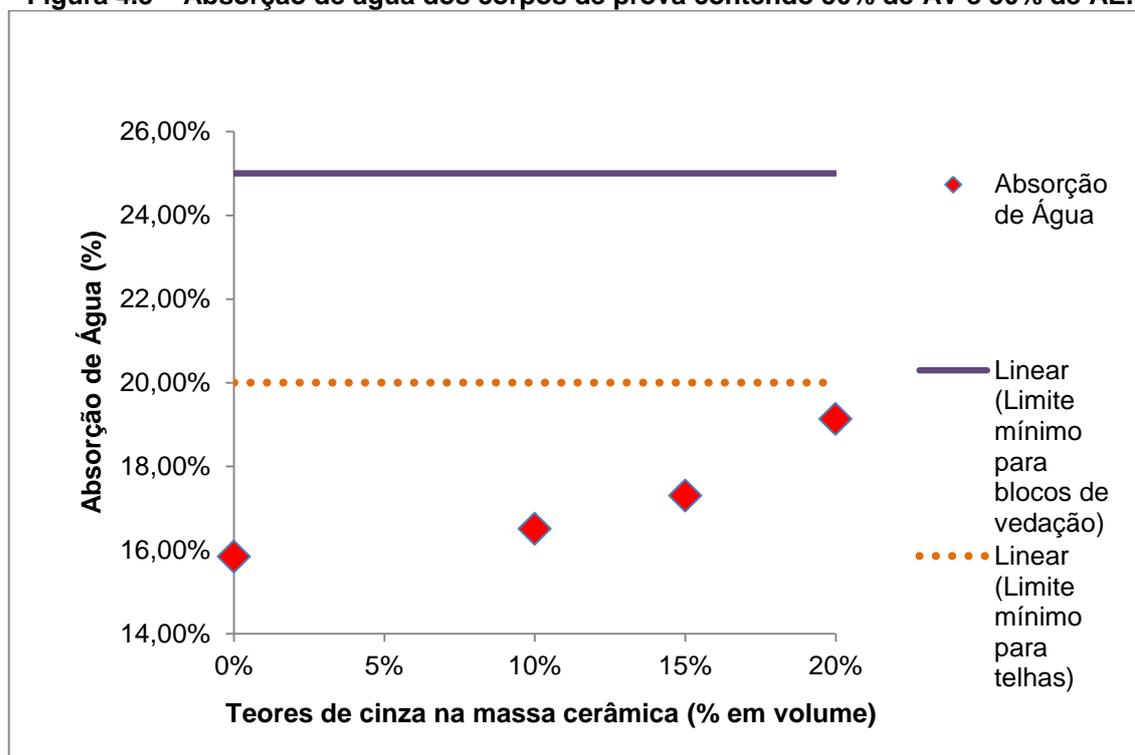
De acordo com os resultados, é possível verificar a redução da porcentagem de absorção de água para o traço de 10% quando comparado com os corpos de prova de referência, observa-se também que as variações nas amostras de 15% e

20% de cinza influenciaram no aumento da absorção de água. Também é visto que o valor de 20% de RCA está acima do limite permitido pela norma de telhas, no entanto dentro da faixa admitida da norma de blocos de vedação.

De acordo com Santos (2016), a quantidade de resíduo de cinza de serragem de madeira incorporada na massa cerâmica, foi favorável no teor 10% em peso do resíduo para temperaturas acima de 900 °C. O autor afirma que as formulações contendo teores de cinzas apresentaram comportamento variável de acordo com as mudanças de temperatura.

A análise de absorção de água nas amostragens contendo metade de argila escura e metade de argila vermelha indicou um aumento gradativo conforme o aumento da substituição de RCA. Porém, apresentaram resultados dentro dos limites máximos tanto para blocos quanto para telhas, conforme recomendações normativas (Figura 4.5).

Figura 4.5 – Absorção de água dos corpos de prova contendo 50% de AV e 50% de AE.



Fonte: Autoria própria, 2019.

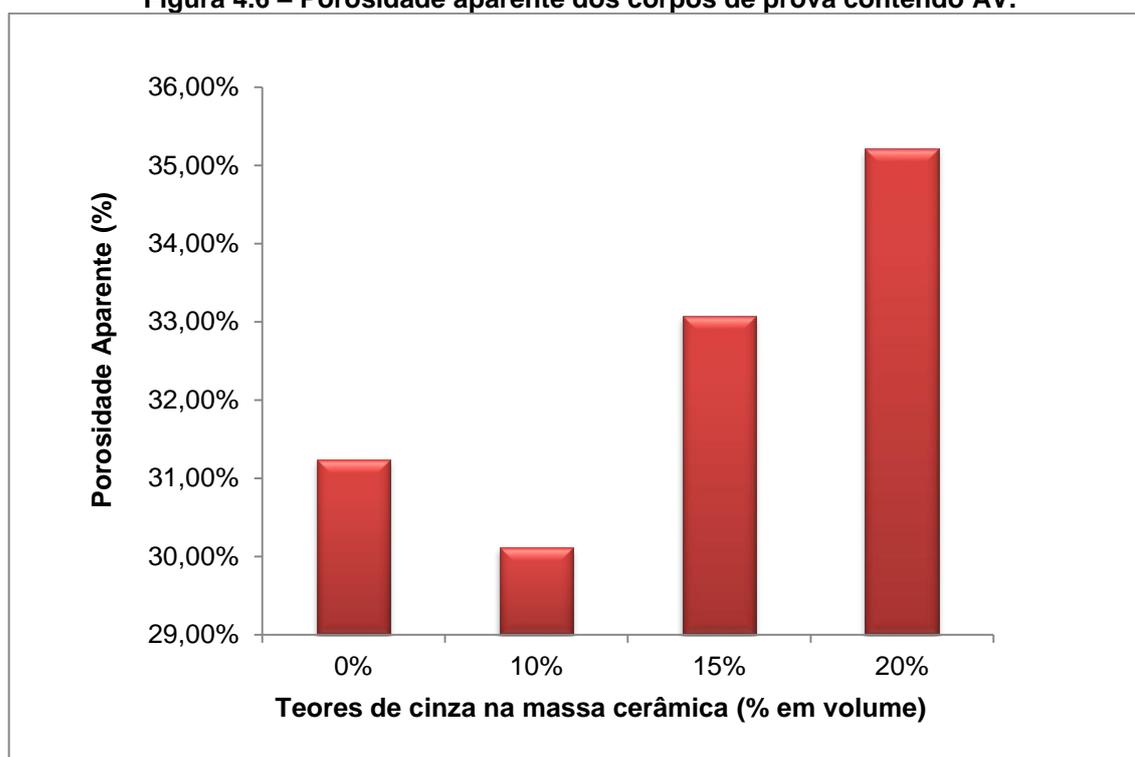
Observa-se que o aumento do teor de cinzas de RCA influenciou na absorção de água pela matriz cerâmica, esse tipo de comportamento pôde ser

comprovado por Cruz (2012), o qual obteve valores similares, quando incorporou cinzas da lenha aveloz na massa cerâmica para produção de telhas e tijolos. O referido autor verificou que teores acima de 15% de cinzas ocasionam aumento da absorção de água, e que os teores até 10% possuem poucas variações de valores.

4.2.2 Porosidade Aparente

Na Figura 4.6, encontra-se os valores de porosidade aparente dos corpos de prova com a massa cerâmica contendo argila vermelha com e sem as cinzas de RCA.

Figura 4.6 – Porosidade aparente dos corpos de prova contendo AV.



Fonte: Autoria própria, 2019.

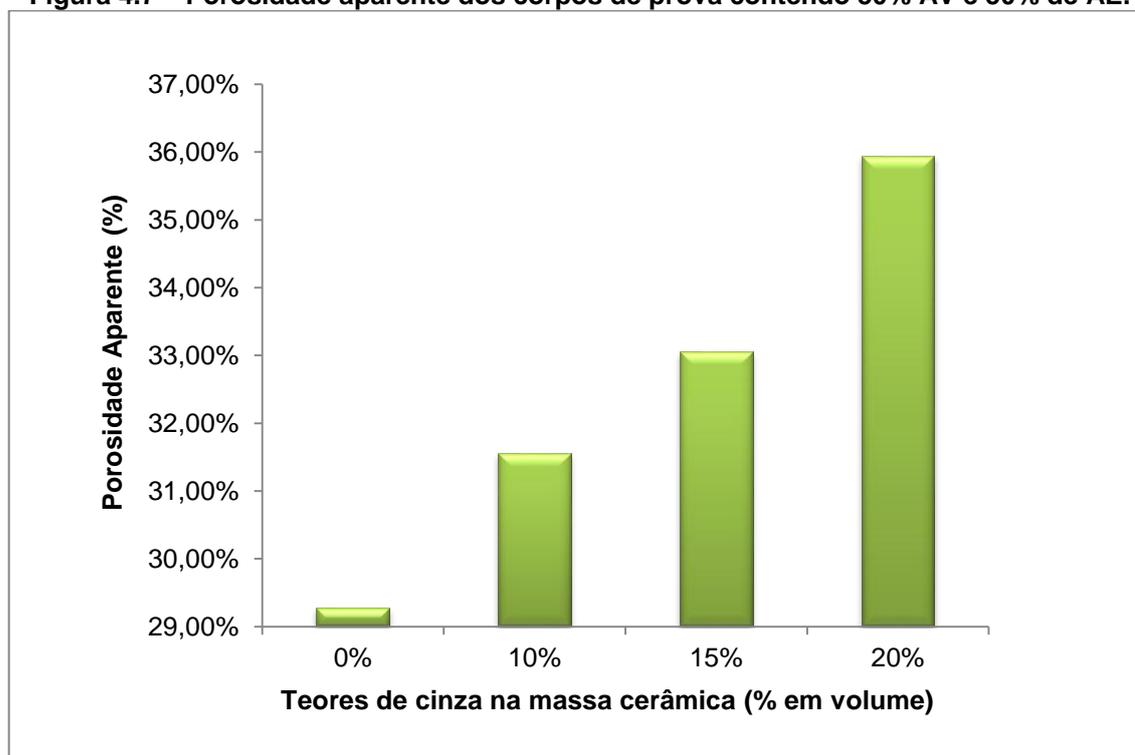
Verifica - se que a composição contendo 10% de RCA diminui a porosidade aparente enquanto que as maiores substituições de cinzas aumentaram a porosidade na massa cerâmica. Observa-se que o teor de 20% ultrapassou os limites de 35% estabelecidos por Souza Santos (1989). De acordo com Cruz (2012),

esse comportamento pode acontecer por conta da decomposição de carbonatos existentes no resíduo, afetando dessa forma a compactação da microestrutura.

É possível relacionar os valores da porosidade aparente com a absorção de água, pois quanto maior for o teor de cinza, maior será a porosidade e consequentemente maior será a absorção de água. Vale ressaltar que essas propriedades estão diretamente relacionadas ao grau de empacotamento da massa, perda de massa durante a queima e quantidade de teores de óxidos fundentes.

Os valores de porosidade aparente dos corpos de prova com a massa cerâmica contendo 50% de argila vermelha e 50% de argila escura com e sem RCA estão apresentados na Figura 4.7. De acordo com os resultados, a incorporação de cinzas na mistura aumentou a porosidade aparente. É importante destacar que a composição contendo 20% de cinzas incorporada a massa ultrapassou o limite estabelecido de até 35% sugerido por Souza Santos (1989).

Figura 4.7 – Porosidade aparente dos corpos de prova contendo 50% AV e 50% de AE.



Fonte: Autoria própria, 2019.

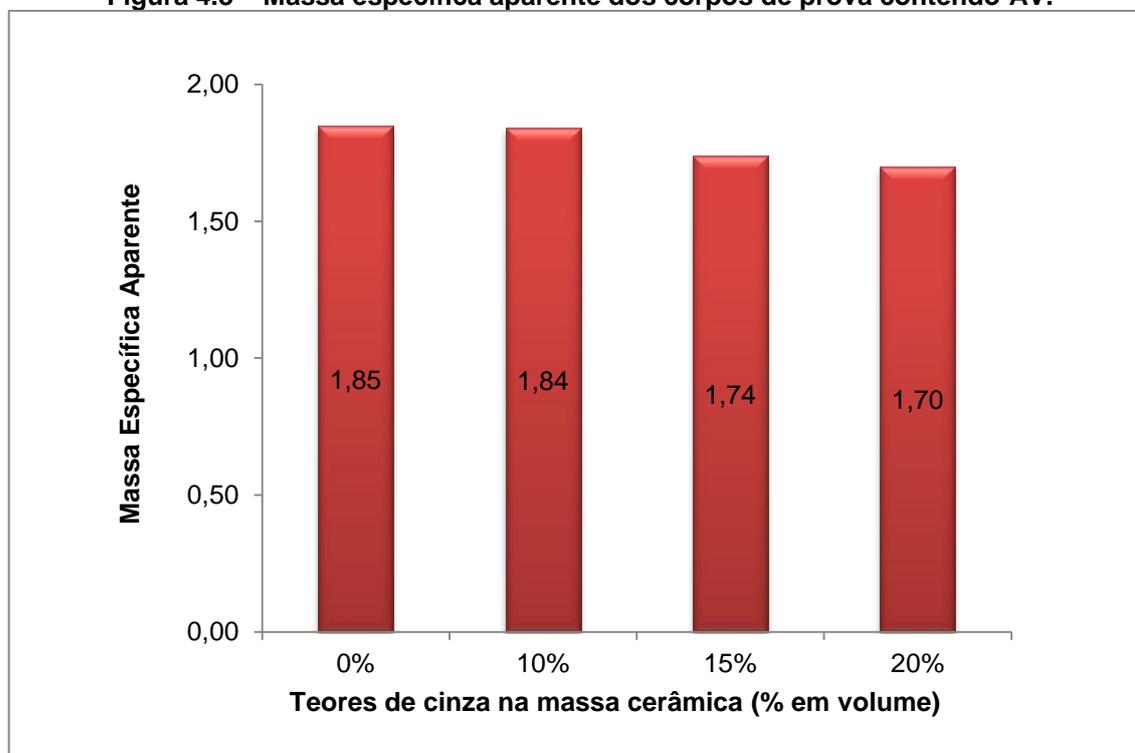
4.2.3 Massa Específica Aparente

A massa específica aparente aumenta quando a temperatura está próxima de 1.000°C, pois é durante o tratamento térmico que ocorre o processo de preenchimento dos interstícios entre as partículas (SOUZA SANTOS, 1989). O autor sugere que o valor da massa específica da massa cerâmica se encontre entre 1,5 a 2,0 g/cm³.

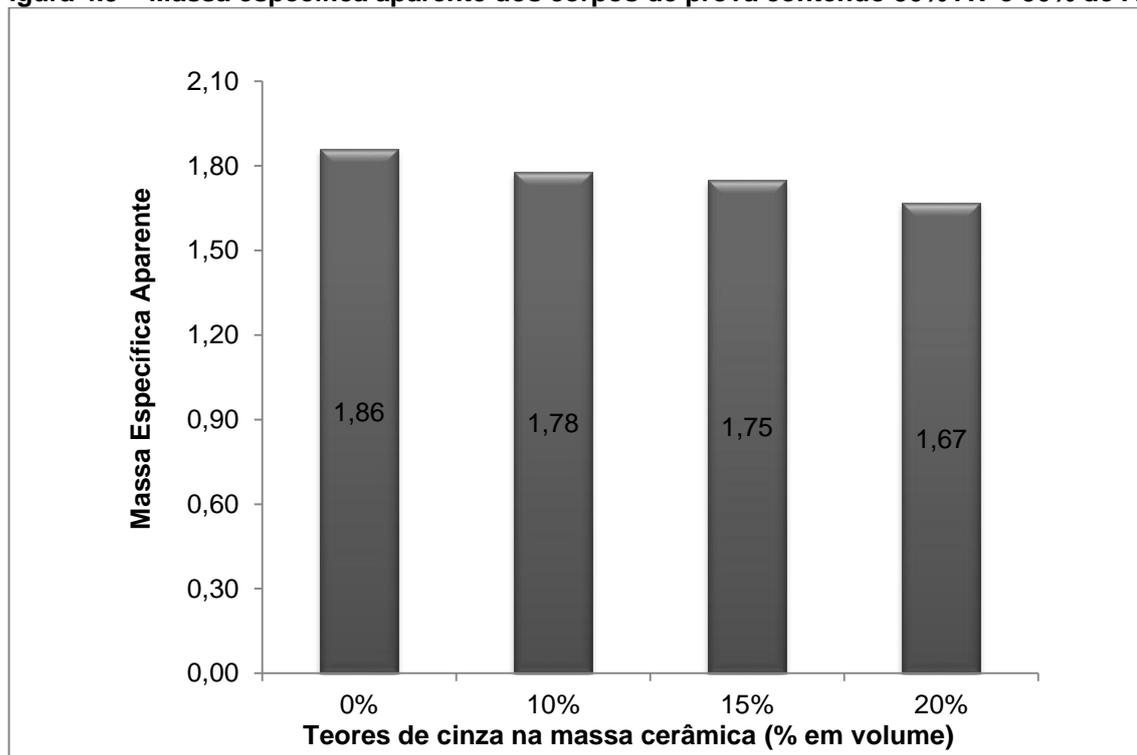
A quantidade de RCA nas composições cerâmicas estudadas contribui para a redução da massa específica aparente de acordo com a Figura 4.8 e Figura 4.9. Essa propriedade varia entre 1,85 a 1,70g/cm³ para a massa contendo argila vermelha com e sem cinzas, e 1,86 e 1,67g/cm³ para a mistura de 50% de argila escura e 50% de argila vermelha com e sem cinzas.

É possível observar que o teor de 20 % cinzas de RCA reduziu a densificação da massa cerâmica, o que pode estar relacionado com os valores obtidos nas propriedades de absorção de água e porosidade.

Figura 4.8 – Massa específica aparente dos corpos de prova contendo AV.



Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 4.9 – Massa específica aparente dos corpos de prova contendo 50% AV e 50% de AE.

Fonte: Autoria própria, 2019.

De acordo com Santos (2016), os valores obtidos com a substituição parcial da argila plástica pelo resíduo de cinzas de serragem de madeira provoca a perda de massa em temperaturas até 900 °C, todavia para valores acima de 900 °C o efeito apenas da sinterização ocasiona o aumento do efeito da densificação.

Dessa forma, conforme os valores obtidos é possível verificar que o aumento dos teores de cinzas de RCA a massa cerâmica, assim como a temperatura o qual os corpos-de-prova foram expostos contribuíram para a redução da densificação do material.

4.2.4 Retração Linear de Queima

A retração linear está relacionada com as variações lineares dos corpos após a sinterização (CRUZ, 2012). De acordo com Souza Santos (1989), a retração linear de um material cerâmico não pode ser maior que 10% do seu comprimento inicial.

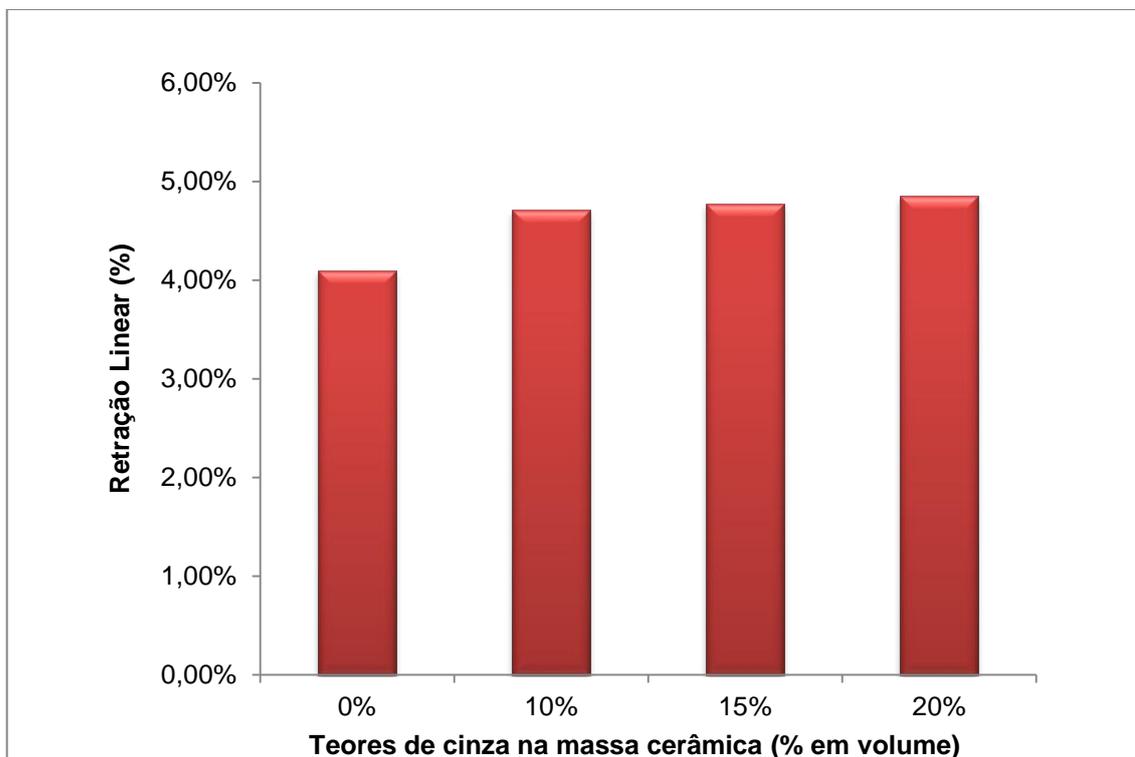
Segundo Guimarães (2017), a propriedade tecnológica da retração consiste em determinar as dimensões finais das peças cerâmicas, o que pode implicar diretamente na constância e qualidade dos produtos.

Os valores de retração linear de queima referente a mistura de argila vermelha com e sem substituição por cinza, são mostrados na Figura 4.10, no qual verifica-se o comportamento das peças mediante a temperatura exposta de 950°C.

A retração linear total (secagem + queima) na formulação das massas cerâmicas e cinzas foi 4,71% (teor de 10% de cinza) a 4,85% (teor de 20% de cinza). Com relação ao corpo de prova de referência, esse valor foi de 4,10%.

Observa-se que a composição da AV com incorporações de cinzas de RCA aumentou a retração das peças conforme o aumento de teor do resíduo, e esta mistura garantiu melhor compactação de sua microestrutura.

Figura 4.10 – Retração linear dos corpos de prova contendo argila vermelha.

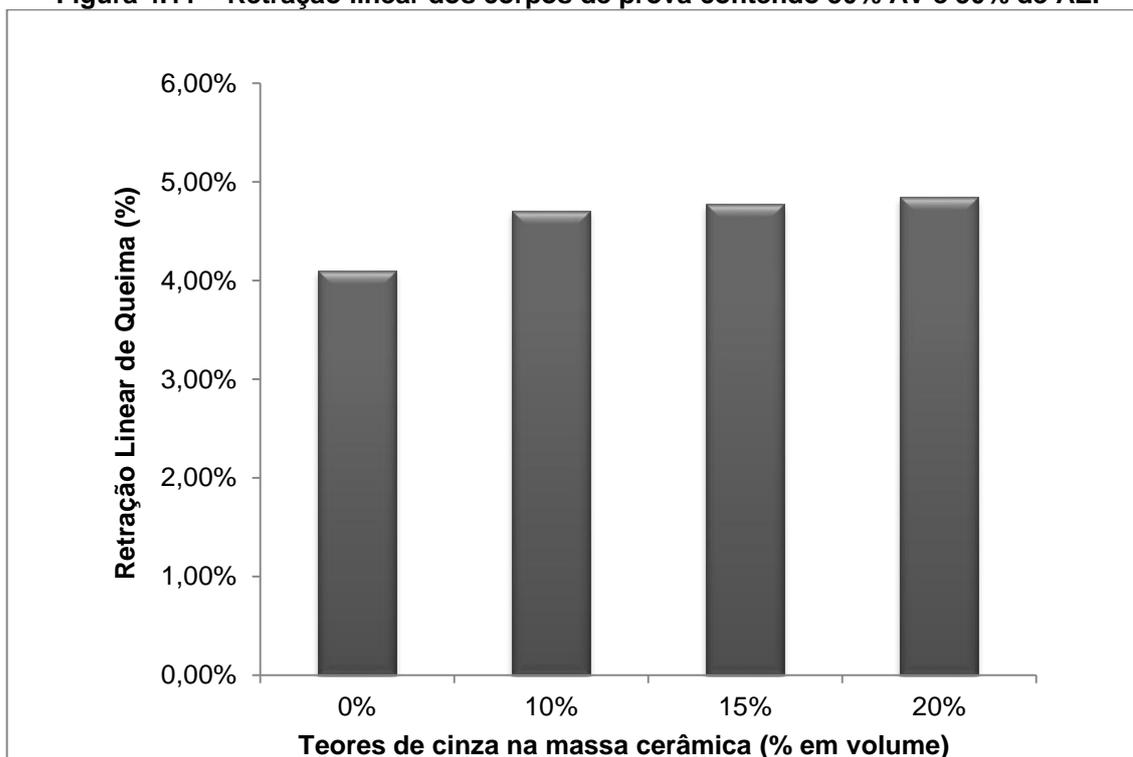


Fonte: Autoria própria, 2019.

Na Figura 4.11 são apresentados os valores obtidos no ensaio de retração para a formulação de 50% de AV com 50% de AE com e sem substituição de teores de cinza. É possível observar que o aumento da quantidade de cinzas influenciou na redução de dimensões dos corpos de prova.

Cruz (2012), afirma que a retração linear de queima maior que 3% está associada com aumento da porosidade. Segundo o autor, a presença de cinzas influencia no aumento da porosidade da matriz cerâmica, o que corrobora os resultados obtidos nesta pesquisa.

De acordo com os resultados, todas as porcentagens estão adequadas para confecção de blocos e telhas conforme recomendado por Souza Santos (1989).

Figura 4.11 – Retração linear dos corpos de prova contendo 50% AV e 50% de AE.

Fonte: Autoria própria, 2019.

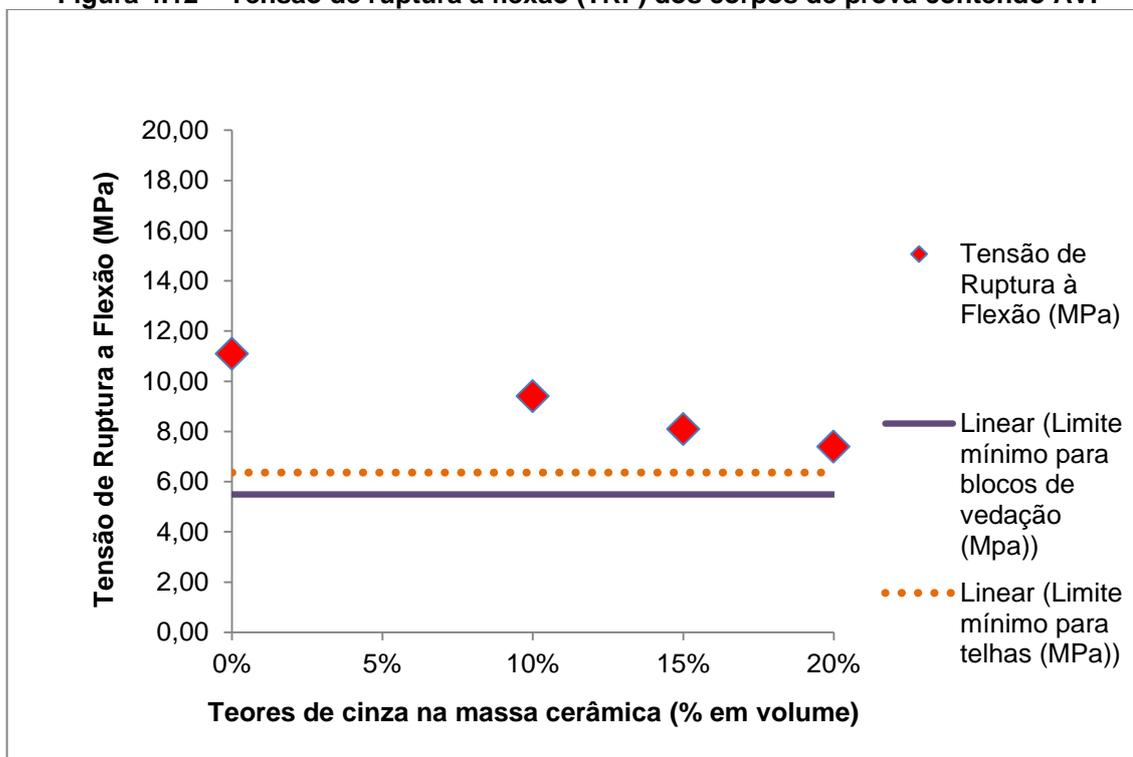
4.2.5 Tensão de Ruptura à Flexão

Na Figura 4.12 contém os valores para resistência mecânica referente a flexão de três pontos dos corpos de prova cerâmicos com a formulação de argila vermelha, com e sem teores de cinzas incorporadas, avaliados na temperatura de 950 °C.

Souza Santos (1989) sugere que os valores mínimos de tensão de ruptura a flexão após a queima, para telhas devem ser de 6,37 MPa, enquanto que para blocos furados seja de 5,5 MPa. Na linha tracejada indicada na figura é observado que todos os índices de substituições atenderam as recomendações do autor.

De acordo com os dados apresentados, a massa cerâmica contendo de 10% de cinzas de RCA obteve o melhor resultado em relação às outras proporções de substituição de resíduo de RCA, sendo este de 9,40 MPa, ultrapassando os valores que foram estabelecidos por Souza Santos (1989), já o teor de 20% provocou a redução de resistência.

Figura 4.12 – Tensão de ruptura a flexão (TRF) dos corpos de prova contendo AV.

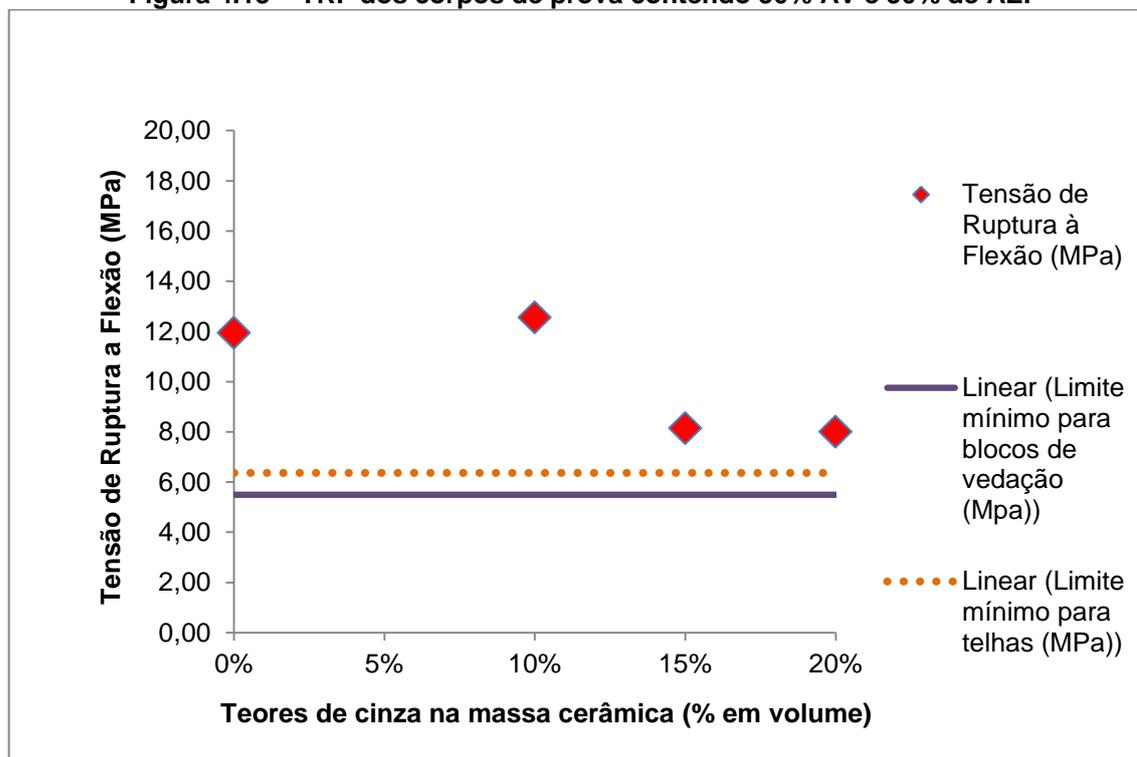


Fonte: Autoria própria, 2019.

Analisando o comportamento mecânico dos corpos de prova, é visto que o aumento do quantitativo de substituição de cinzas em sua composição influenciou no aumento da absorção de água, e, na redução da TRF, que por sua vez está relacionado ao aumento da porosidade do material. Dessa forma, quanto maior for o teor de cinzas de RCA, maior será a absorção de água e menor será a resistência mecânica das peças.

Os resultados da TRF da formulação da massa cerâmica contendo 50% de argila vermelha e 50% de argila escura com e sem adição de cinza pode ser verificado na Figura 4.13.

Figura 4.13 – TRF dos corpos de prova contendo 50% AV e 50% de AE.



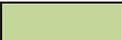
Fonte: Autoria própria, 2019.

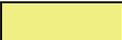
Conforme os resultados obtidos, a incorporação de cinza que apresentou o melhor resultado de tensão a ruptura a flexão foi referente a 10% (12,56 MPa) em que o mesmo chegou a ultrapassar o valor da peça de referência. Com relação às recomendações de Souza Santos (1989), foram satisfatórios todos os valores alcançados pela as formulações.

Na Tabela 4.3 segue o resumo dos resultados obtidos com os ensaios das propriedades tecnológicas e seus respectivos valores. É possível observar os melhores resultados, resultados medianos e aqueles que não atenderam as recomendações.

Tabela 4. 3 – Resumo dos resultados dos ensaios físicos e mecânicos.

TEOR DE CINZA %	% EM VOLUME DE MATÉRIA - PRIMA		ENSAIOS				
	Argila Vermelha	Argila Escura	Absorção de água (%)	Porosidade aparente (%)	Massa específica (g/cm ³)	Retração linear (%)	TRF (Mpa)
0	100	0	16,96	31,24	1,85	4,10	11,10
	0	100	15,84	29,28	1,86	4,05	11,95
10	90	0	16,45	30,11	1,84	4,71	9,40
	45	45	16,51	31,56	1,78	4,55	12,56
15	85	0	18,97	33,07	1,74	4,78	8,10
	42,5	42,5	17,30	33,06	1,75	4,63	8,14
20	80	0	20,67	35,21	1,70	4,85	8,00
	40	40	19,13	35,95	1,67	4,81	7,40

 Melhores resultados

 Resultados Medianos

 Não atenderam

Fonte: Autoria própria, 2019.

É observado que a incorporação de cinzas a massa cerâmica foi positiva no teor de 10%, pois os resultados obtidos atenderam as exigências necessárias para fabricação de peças da cerâmica vermelha. No entanto, o aumento do resíduo à composição foi menos favorável nas propriedades técnicas analisadas, apresentado resultados medianos e não satisfatórios.

Na Tabela 4.4 são apresentados os quantitativos de resíduos do caroço de açaí produzidos no estado do Pará por semana e no município de Tucuruí no ano de 2019, assim como a quantidade de resíduo que pode ser coletado para suprir a demanda de queima na olaria e a porcentagem de cinzas aproveitadas no processo de fabricação dos materiais cerâmicos.

Tabela 4. 4 – Geração e aproveitamento de RCA.

Insumos	Locais	
	Pará	Tucuruí
RCA_produzido (m ³ /semana)	22.517,78	740,83
RCA_coletado (m ³ /semana)		156
% de Resíduo de RCA coletado (semana)		21,06%
Cinzas de RCA_produzidas (m ³ / semana)		1,94
% de Cinzas de RCA aproveitadas (semana)		99,94%

Fonte: Autoria própria, 2019.

5 CONCLUSÕES

Nesta pesquisa foi realizada a coleta do RCA para a queima dos produtos cerâmicos e as cinzas provenientes desta queima foram utilizadas na confecção de corpos de prova. Foram realizados teores de substituição de 0%, 10%, 15% e 20% de cinzas na composição de massas argilosas e posteriormente realizados ensaios de desempenho tecnológicos.

Foi verificado na caracterização química e mineralógica que a cinza de RCA pode ser utilizada nas massas argilosas, pois as composições apresentaram elementos minerais e granulometria compatíveis com a matéria – prima utilizada na confecção dos materiais cerâmicos.

A cinza de RCA influenciou na redução da plasticidade das massas argilosas, pois as composições que continham as cinzas apresentaram os menores índices de plasticidade, portanto, reduzindo a quantidade de água necessária para moldagem e melhorando a trabalhabilidade das massas.

Os resultados mostraram que a utilização no teor de 10% da cinza de RCA contribuiu positivamente no desempenho dos corpos de prova de argila vermelha, diminuindo a porosidade aparente, absorção de água e aumentando a resistência mecânica, propriedades relevantes para produção de telhas e tijolos.

As composições contendo a argila vermelha, argila escura e cinza de RCA apresentou aumento na porosidade aparente, elevação gradativa da absorção de água e da retração linear, apesar desta mistura ter apresentado o menor índice de plasticidade quando utilizado 20% de cinzas de RCA.

Os valores de resistência mecânica foram maiores para todas as misturas com cinzas, superando o resultado da massa de referência e da faixa padrão sugeridas por Souza Santos (1989), portanto todos os valores obtidos foram satisfatórios.

A substituição de 10 % de teor de cinzas de RCA apresentou o melhor desempenho nas misturas das composições argilosas e possui contribuições positivas. A incorporação de cinzas de RCA na cerâmica vermelha mostrou-se uma alternativa tecnicamente viável, pois além de possibilitar a redução do consumo de matérias-primas naturais, também é uma alternativa de reaproveitamento dos resíduos do açaí descartados na região de Breu Branco e Tucuruí.

Este trabalho demonstrou a viabilidade técnica para o fechamento do ciclo de vida do caroço do açaí, utilizando o RCA na alimentação de fornos cerâmicos e reaproveitando as cinzas oriundas da queima na produção de materiais cerâmicos, evitando o descarte na natureza.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AINETO, Mónica; ACOSTA, Anselmo; IGLESIAS, Isabel. The role of a coal gasification fly ash as clay additive in building ceramic. **Journal Of The European Ceramic Society**, [s.l.], v. 26, n. 16, p.3783-3787, jan. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2006.01.011>. Disponível em: <<https://kundoc.com/pdf-the-role-of-a-coal-gasification-fly-ash-as-clay-additive-in-building-ceramic.html>>. Acesso em: 12 jun. 2019.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA (ANICER) – **Relatório anual 2015**. Disponível em: <https://www.anicer.com.br/wp-content/uploads/2016/11/relatorio_2015.pdf>. Acesso em: 05 set. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15270-1**: Componentes cerâmicos. Parte 1: Blocos e tijolos para alvenaria - Requisitos. Rio de Janeiro, 2017. 26p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15270-2**. Componentes cerâmicos. Parte 2: Blocos e Tijolos para alvenaria - Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro, 2017.29p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7181**. Solo – Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 2016. 12p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6502** Rochas e Solos. Rio de Janeiro, 1995. 18p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13818** Placas Cerâmicas para Revestimento - Terminologia. Rio de Janeiro, 1997. 78p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7211** Agregado para concreto Rio de Janeiro, 2019. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA – ABC. **Fluxogramas**. Disponível em: <<https://abceram.org.br/fluxograma/>>. Acesso em: 05 set. 2018.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM C 373-88** - Standard Test Method for Water Absorption, Bulk Density, Apparent Porosity, and Apparent Specific Gravity of Fired Whiteware Products. West Conshohocken: ASTM International; 2006.

AGUIAR, Amália Gabriela Rocha. **Manejo de população de açaizeiro (Euterpe oleracea Mart.) em parcelas de produção de frutos em área de várzea**. 2016. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Agriculuras Amazônicas, Núcleo de Ciências Agrárias e Desenvolvimento Rural, Universidade Federal do Pará, Belém, 2016. Disponível em: <http://ppgaa.propesp.ufpa.br/dissertacoes_mafds/Turma%202014/Amália%20Aguiar.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2018.

ALMEIDA, A. V. C.; Melo, I. M.; Pinheiro, I. S.; Freitas, J. F.; Melo, A. C. S.; **Revalorização do caroço de açaí em uma beneficiadora de polpas do município de Ananindeua/PA: proposta de estruturação de um canal reverso orientado pela PNRS e logística reversa.** GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, Bauru, Ano 12, nº 3, jul-set/2017, p. 59-83.

ALMEIDA, Melise Carina Duarte de. **Estudo da Incorporação de Cinza e Chamote Gerado pela Cerâmica Vermelha ao Próprio Processo Industrial.** 2015. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/21044/1/MeliseCarinaDuarteDeAlmeida_DISSERT.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2018.

BASTOS, Frederico Assis. **Avaliação do processo de fabricação de telhas e blocos cerâmicos visando a certificação do produto.** 2003. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Programa de PÓS-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. Cap. 2. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/30367548.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2019.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. **Relatório Final.** 2018. – Rio de Janeiro: EPE, 2018. Disponível em: <http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018__Int.pdf>. Acesso em: 05 abr.2018

BARREIRA, Rachel Margalho. **Caracterização físico-química do endocarpo do açaí (euterpe oleracea mart.) para aplicação em síntese de poliuretana.** 2009. 85 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Mecânica. Área de concentração: Materiais e Processos de Fabricação)- Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará,, Belém, 2009. 1. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp144272.pdf>>. Acesso em: 05 set. 2018.

BAUER, L.A Falcão. Materiais de Construção: Novos Materiais para Construção Civil. In: BAUER, L.A Falcão. **Materiais de Construção. 5. ed.** Minas Gerais: Editora S.A., 2009. cap. 18, p. 523-531. v. 2.

BETINI, Daniele Gioppo. **Inovação na tecnologia de produtos de cerâmica vermelha com uso de chamote em são Miguel do Guamá.** 2007. 145 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil)- Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará, Universidade Federal do Pará, Belém, 2007. Disponível em: <<http://www.ufpa.br/ppgec/data/producaocientifica/danielebetini.pdf>>. Acesso em: 05 set. 2018.

BRASIL. Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010). Brasília: **Diário Oficial da União**, 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, **Estudo técnico aborda a sustentabilidade na construção civil**. Brasília, 2014.

BORLINI, M.C et al. **Cinza da lenha para aplicação em cerâmica vermelha Parte I: características da cinza**. 2005. 5 p. Artigo (Centro de Ciências e Tecnologia - CCT)- Universidade Estadual do Norte Fluminense, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/ce/v51n319/26791.pdf>>. Acesso em: 09 mar. 2018.

CABRAL JUNIOR, Marsis et al. **Rochas & Minerais Industriais**. 2. ed. Rio de Janeiro: Cetem/mct, 2008. 990 p. Disponível em: <[file:///E:/Downloads%20SSD/Rochas%20Min.Ind.2a%20edicao%20\(Adao%20e%20F.Lins\).pdf](file:///E:/Downloads%20SSD/Rochas%20Min.Ind.2a%20edicao%20(Adao%20e%20F.Lins).pdf)>. Acesso em: 10 jul. 2018.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações: Fundamentos**. 6. ed. Rio de Janeiro: Ltc - Livros Técnicos e Científicos Editora S.a, 1998. 234 p. Disponível em: <<file:///F:/mecanica-solos-fundamentos-vol1-6ed-caputo.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2019.

CARVALHO, Luiz Filipe Guimarães Bentes de et al.. **Origem e aplicação de cinzas vegetais na construção civil**.. In: Anais da Mostra de Pesquisa em Ciência e Tecnologia 2017. Anais...Fortaleza(CE) DeVry Brasil - Damásio - Ibmec, 2019. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/mpct2017/47500-ORIGEM-E-APLICACAO-DE-CINZAS-VEGETAIS-NA-CONSTRUCAO-CIVIL>>. Acesso em: 13/03/2018 18:54

CORDEIRO, Luciana de Nazaré Pinheiro et al. **Caracterização da cinza de caroço de açaí residual para adição ao concreto**. **Ambiente Construído**, [s.l.], v. 19, n. 1, p.45-55, mar. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212019000100292>.

CRUZ, Francisco José Ribeiro da. **Utilização de cinzas de aveloz de fornos cerâmicos para produção de tijolos e telhas**. 2012. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Centro Acadêmico do Agreste, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2012. Cap. 3. Disponível em: <<https://www3.ufpe.br/ppgecam/images/documentos/Dissertacoes/2012-dissertao-franciscocruz.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2019.

DELPHIM, Adriano Cezar. **Efeito de tratamentos com cloreto de cálcio, metil jasmonato e Aminetoxivinilglicina na conservação pós - colheita de frutos de açaí (euterpe oleraceae)**. 2014. 84 F. Dissertação (Mestre em Engenharia de Alimentos)- Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014. 1. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/41356/R%20-%20D%20-%20ADRIANO%20CEZAR%20DELPHIM.pdf?sequence=2&isAllowed=y>>. Acesso em: 04 out. 2018.

DUTRA, Ricardo Peixoto Suassuna. **Efeito da Velocidade de Aquecimento nas Propriedades de Produtos da Cerâmica Vermelha**. 2007. 136 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós - Graduação do Centro de Ciências Exatas e da Terra, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007. Disponível em: <file:///E:/Downloads%20SSD/RicardoPSD%20(1).pdf>. Acesso em: 25 maio 2019.

EDER, Karina. **Aplicação de Metodologias para Análise e Previsão do Preço do Fruto do Açaí**. 2011. 125 p. Dissertação (Mestre em Biotecnologia)- Pós-Graduação em Biotecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011. 1. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/6991/3991.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 14 set. 2018.

FEIO, Vanessa Farias. **Verificação da Tratabilidade de Água Residuária Oriunda do Beneficiamento do Açaí por Processo Físico-Químico**. 2016. 81 f. Dissertação (Mestre)- Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará, Universidade Federal do Pará, Belém, 2016. 1. Disponível em: <http://repositorio.ufpa.br/jspui/bitstream/2011/7950/1/Dissertacao_VerificacaoTratabilidadeAgua.pdf>. Acesso em: 13 set. 2018.

FEAM – Fundação Estadual de Meio Ambiente. **Guia Ambiental da Indústria de Cerâmica Vermelha**, 2013. Disponível em: <http://www.sindicermg.com.br/estudante/GuiaAmbientalCeramicaVermelha.pdf>. Acesso em: 10 mai.2019.

FIEMG – Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais. **Guia Ambiental da Indústria de Cerâmica Vermelha**, 2013. Disponível em: <http://www.sindicermg.com.br/estudante/GuiaAmbientalCeramicaVermelha.pdf>. Acesso em: 10 mai.2019.

GALASSI, Cristiane; TAVARES, Dra. Célia Regina Granhen. **Processo produtivo de blocos cerâmicos**. In: SIMPÓSIO MARINGAENSE DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - UEM, Não use números Romanos ou letras, use somente números Arábicos., 2016, Maringá. **Anais...** . Maringá: Simepro, 2013. p. 1 - 4. Disponível em: <file:///E:/Downloads%20SSD/824-1984-1-SM%20(5).pdf>. Acesso em: 07 jun. 2019.

GIL, A. C. **Como redigir o projeto de pesquisa?**. In: **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2008 Pp. 144-149.

GODOY, A. S. **Pesquisa qualitativa tipos fundamentais**. **Revista de Administração de Empresas São Paulo**, v. 35, n.3, p, 20-29 Mai./Jun. 1995.

GOUVEIA, Fernanda Pereira. **Efeito da incorporação de chamote (resíduo cerâmico queimado) em massas cerâmicas para a fabricação de blocos de vedação para o Distrito Federal - DF. Um estudo experimental**. 2008. 94 P. Dissertação (Mestre em Estruturas e Construção Civil)- Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília -DF, 2008. Disponível em: <http://www.pecc.unb.br/wp-

content/uploads/dissertacoes/M08-6A-Fernanda-Gouveia-.pdf>. Acesso em: 06 set. 2018.

GUIMARAES, Carlos Alberto de Oliveira. **Avaliação do ciclo de queima nas propriedades tecnológicas de cerâmica vermelha**. 2017. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós - Graduação em Engenharia e Ciência de Materiais, Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2017. Cap. 2. Disponível em: <http://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/Dissertação_CarlosAOGuimaraes.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2019.

HERRAIZ, Aurélio Diaz. Opções sustentáveis: **Manejo e cultivo de açaí na calha do rio Madeira, Sul do Amazonas**. Humaitá - AM: Projeto Fronteiras Florestais, 2013. 19 p. Disponível em: <https://iieb.org.br/wp-content/uploads/2019/02/Aai_lpa_site.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2019.

HOMMA, Alfredo Kingo Oyama et al. Açaí: **Sistemas de Produção 4**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2005. 137 p. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/408196/1/SISTEMAP ROD4ONLINE.pdf>>. Acesso em: 13 abr. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA (INT). **Cerâmica Vermelha. Projeto EELA no Brasil**, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <[http://www.int.gov.br/docman/biblioteca/1443-livro-cerâmica-vermelha---projeto-eela-no-brasil/file](http://www.int.gov.br/docman/biblioteca/1443-livro-ceramica-vermelha---projeto-eela-no-brasil/file)>. Acesso em: 09 mar. 2018.

CPRM- Serviço Geológico do Brasil. Minerais Argilosos. 2018. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/Canal-Escola/Minerais-Argilosos-1255.html>>. Acesso em: 09 set. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Estatísticas Econômicas 2017**. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/16821-safra-de-acai-foi-de-1-1-milhao-de-toneladas-em-2016>> Acesso e: 28 fev. 2018.

JUNIOR, Orlando Ferreira Cruz. **Produção de carvão ativado a partir de produtos residuais de espécies nativas da região amazônica**. 2010. 73 f. Dissertação (Mestre em Engenharia)- Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Área de Concentração em Engenharia de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Manaus, 2010. 1. Disponível em: <<http://www.utfpr.edu.br/curitiba/estruturauniversitaria/diretorias/dirppg/programas/ppgem/banco-teses/dissertacoes/2010/JUNIOROrlandoFerreiraCruz.pdf>>. Acesso em: 09 mar. 2018.

KAZMI, Syed M.S et al. **Manufacturing of sustainable clay bricks: Utilization of waste sugarcane bagasse and rice husk ashes. Construction and Building Materials**, Paquistão, v. 120, p. 29-41, maio. 2016. Disponível em:

<[http://file:///E:/Downloads%20SSD/1-s2.0-S0950061816308108-main%20\(1\).pdf](http://file:///E:/Downloads%20SSD/1-s2.0-S0950061816308108-main%20(1).pdf)>. Acesso em: 05 out. 2018.

LA CASA, José A. de et al. **Recycling of washed olive pomace ash for fired clay brick manufacturing**. Construction and Building Materials, Jaén, Spain, v. 61, p. 320-326, mar. 2014. <[http://file:///E:/Downloads%20SSD/1-s2.0-S0950061814002803-main%20\(1\).pdf](http://file:///E:/Downloads%20SSD/1-s2.0-S0950061814002803-main%20(1).pdf)>. Acesso em: 05 out. 2018.

LUCENA, Maurílio de Medeiros. **Efeito da introdução de resíduo de cinza de forno cerâmico em massa para cerâmica estrutural**. Dissertação (Mestre em engenharia mecânica)- Programa de Pós -graduação em engenharia mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.84<<http://repositorio.ufrn.br:8080/jspui/bitstream/123456789/15556/1/MaurilioM L.pdf>>. Acesso em: 09 mar. 2018.

MACEDO, R. S. et al. **Estudo de argilas usadas em cerâmica vermelha**. Cerâmica, [s.l.], v. 54, n. 332, p.411-417, dez. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0366-69132008000400005>. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ce/v54n332/05.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2019.

MARINS, L.F.B et al. **Incorporação da cinza do caroço de açaí em formulações de cerâmica estrutural**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 21º., 2014, Cuiabá. Anais... Cuiabá: [s.n.], 2014. p. 1538-1544. Disponível em: <<http://www.metallum.com.br/21cbecimat/CD/PDF/116-003.pdf>>. Acesso em: 28 fev. 2018.

MENDES, Adriana de Nazaré Moraes Mendes de. **Qualidades intrínsecas para inovação de produtos em piso e revestimento de cerâmica vermelha do apl de São Miguel do Guamá**. 2008. 147 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil)- Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2008. 1. Disponível em: <<http://www.ufpa.br/ppgec/data/producaocientifica/Adriana%20Mendes.pdf>>. Acesso em: 09 mar. 2018.

MENEZES, Romualdo R.; NEVES, Gelmires de A.; FERREIRA, Heber C.. **O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas**. Rev. bras. eng. agríc. ambient., Campina Grande , v. 6, n. 2, p. 303-313, 2002. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141543662002000200020&lng=en&nrm=iso>.access on 18 Mar. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662002000200020>.

MENDONÇA, Gabryella Cerri et al. **ANÁLISE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA EM CORPOS DE PROVA CERÂMICOS COM CINZAS DE ORIGEM ANIMAL**. Anais do VII Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, Alegrete, v. 7, p.1-2, 21 mar. 2016. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/6dd9/c8ed7c206222f7c24e0d1ed9c3c3d800e35a.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2018.

MILAK, P. et al. Valorization of rice husk ash in ceramic bricks. **Cerâmica**, [s.l.], v. 63, n. 368, p.490-493, dez. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132017633682137>. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ce/v63n368/1678-4553-ce-63-368-490.pdf>>. Acesso em: 08 jun. 2019.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Anuário Estatístico–Setor de transformação de não metálicos**. Brasília, 2018. Disponível: <http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1732813/ANUÁRIO+NÃO-METALICOS+2019_21.11.2019.pdf/8eadeac0-6337-4a01-8455-f87554e11c2f>. Acesso em: 08 jun.2019.

MOURA, Cristiane de. **Potencial antioxidante de extratos hidroalcoólicos de mirtilo, polpa de açaí e goji berry: efeito na estabilidade oxidativa e sensorial em queijo petit suisse**. 2016. 110 f. Dissertação (Mestre em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos)- Pós-graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016. 1. Disponível em: <http://www.utfpr.edu.br/patobranco/estrutura-universitaria/diretorias/dirppg/pos-graduacao/mestrados/ppgtp/discentes/PB_PPGTP_M_MOURACristiane_2016.pdf>. Acesso em: 05 set. 2018.

MONTEIRO, Carolina Tavares Sancho. **INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE CINZA DA QUEIMA DE MADEIRA NA PRODUÇÃO DE TIJOLOS CERÂMICOS ORNAMENTAIS**. 2018. 82 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de PÓS-graduaÇÃO em Engenharia Ambiental, Programa de PÓS-graduaÇÃO em Engenharia Ambienta, Instituto Federal de EducaÇÃO, Ciência e Tecnologia Fluminense, Macaé/rj, 2018. Cap. 5. <[file:///E:/Downloads%20SSD/Carolina+Sancho+-+Dissertação+-+Versão+Final-R08%20\(2\).pdf](file:///E:/Downloads%20SSD/Carolina+Sancho+-+Dissertação+-+Versão+Final-R08%20(2).pdf)>. Acesso em: 15 jul. 2019.

MORAIS, Maria Monize et al. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos Industriais e a Produção Mais Limpa, Estudo de Caso em Indústria de Cerâmica Vermelha**. 5th International Workshop Advances In Cleaner Production, São Paulo, n. 5, p.1-10, 20 jun. 2015. Disponível em: <http://www.advancesincleanerproduction.net/fifth/files/sessoes/5A/1/morais_mm_et_al_academic.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2019.

MOTTA, José Francisco Marciano. **As Matérias-Primas Cerâmicas.: Parte I: O Perfil das Principais Indústrias Cerâmicas e Seus Produtos**. Cerâmica Industrial, São Carlos, v. 6, p.1-12, 05 abr. 2001. Disponível em: <<https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/5876570b7f8c9d6e028b4643/pdf/ci-6-2-5876570b7f8c9d6e028b4643.pdf>>. Acesso em: 07 mar. 2018.

NECKEL JUNIOR, Lorenço. **Processamento de telhas cerâmicas por compactação de pós e queima em forno a rolo**. 2008. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduaÇÃO em Ciência e Engenharia de Materiais, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008. Cap. 2. Disponível em:

<<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/91500/259194.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 15 jun. 2019.

NUNES, Mônica Belo. **Impactos ambientais na indústria da cerâmica vermelha**. In.: ed. Rio de Janeiro: [s.n.], 2012. p. 1-27. v. 1. Disponível em: <<http://respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/NTcwNQ==>>. Acesso em: 28 set. 2018.

PASCHOAL, Jose Antonio Armani. **Estudos de parâmetros de qualidade para cerâmica estrutural vermelha**. 2003. 188 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Pos-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2003. Cap. 3. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/4629/DissJAAP.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 10 jul. 2019

PARANHOS, Raimundo Jorge Santos. **Aproveitamento de resíduos da cana de açúcar em massas cerâmicas**. 2010. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010. Disponível em: <[file:///E:/Downloads%20SSD/RaimundoJSP%20\(2\).pdf](file:///E:/Downloads%20SSD/RaimundoJSP%20(2).pdf)>. Acesso em: 18 set. 2018.

PÉREZ-VILLAREJO, L. et al. **Recycling of ash from biomass incinerator in clay matrix to produce ceramic bricks**. Journal of Environmental Management, (Jaén), Spain, n. 95, p. 349-354, set. 2010. Disponível em: <[http://file:///E:/Downloads%20SSD/1-s2.0-S0301479710003543-main%20\(1\).pdf](http://file:///E:/Downloads%20SSD/1-s2.0-S0301479710003543-main%20(1).pdf)>. Acesso em: 05 out. 2018.

PEDRASSANI, Jaime. **Argila em abundância na natureza**. Revista Nova Cer. Ed. 41, set, 2013. Disponível em: <https://issuu.com/revistanovacer/docs/novacer_setembro2013_ed041_205x275m>. Acesso em: 20 set. 2018.

PRACIDELLI, Sebastião; MELCHIADES, Fábio Gomes. **Importância da Composição Granulométrica de Massas Para a Cerâmica Vermelha**. Cerâmica Industrial, Rio de Janeiro, v. 2, n. 1/2, p.31-35, 10 abr. 2007. Disponível em: <<https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/587656fc7f8c9d6e028b45e7>>. Acesso em: 03 jun. 2018

QUESADA, D. Eliche et al. **Comparative Study of the Use of Different Biomass Bottom Ash in the Manufacture of Ceramic Bricks**. Journal of Materials in Civil Engineering, Jaén, Spain, v. 29, p. 1-11, set. 2017. Disponível em: <<https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29MT.1943-5533.0002078>>. Acesso em: 05 out. 2018.

ROCHA, Alexandre Lobo. **Alternativa de abastecimento energético dos fornos de indústrias cerâmicas localizadas no município de São Miguel do Guamá-PA**. 2013. 126 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, 2013. 1.

Disponível em:
<http://www.repositorio.ufpa.br/jspui/bitstream/2011/6009/6/Dissertacao_Alternativas_AbastecimentoEnergetico.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2018.

ROCHA, F. N.; SUAREZ, P. A. Z.; GUIMARÃES, E. M. **Argilas e suas Aplicações em Utensílios e Materiais Cerâmicos. Revista Virtual de Química, [S.I.], v. 6, p. 1105-1120, ago. 2014.** Disponível em:
<<http://rvq.sbq.org.br/imagebank/pdf/v6n4a21.pdf>>. Acesso em: 02 out. 2018.

SALES, J. C. et al. **As argilas para fabricar cerâmica vermelha no nordeste brasileiro.** In: 60º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 60., 2016, Águas de Lindóia,SP: [s.n.], 2016. p. 601-612. v. 1. Disponível em:
<<http://www.metallum.com.br/60cbc/anais/PDF/03-062TT.pdf>>. Acesso em: 06 set. 2018.

SANTOS, C. J. G. dos. **Tipos de pesquisa, 2006.** Disponível:
http://www.oficinadapesquisa.com.br/APOSTILAS/METODOL/_OF.TIPOS_PESQUI SA.PDF. Acesso: 22/10/2018.

SANTOS, Filipe dos. **INFLUÊNCIA DO RESÍDUO DE CINZA DE SERRAGEM DE MADEIRA NAS PROPRIEDADES TÉCNICAS DE CERÂMICA VERMELHA.** 2016. 59 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia dos Materiais, Universidade Estadual do Norte Fluminense – Uenf, Campos dos Goytacazes - Rj, 2016. Disponível em: <<http://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/dissertação-filipe-dos-santos.pdf>>. Acesso em: 05 mar. 2019.

SANTOS, Persio de Souza. **Ciencia e Tecnologia de Argilas.** 2. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1989. 408 p. Disponível em:
<file:///E:/Downloads%20SSD/kupdf.net_ciecircncia-e-tecnologia-de-argilas-peacutersio-de-souza-santos-1.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2019.

SERRA, Florence Rios. **Açaí- Análise mensal - maio 2019.** 2019. Disponível em:
<<https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-acai>>. Acesso em: 12 jul. 2019.

SEBRAE. **Cerâmica vermelha: estudo de mercado** SEBRAE/ESPM 2008: relatório completo. [S.I.], 2008. Disponível em : < <http://www.sebraemercados.com.br/wp-content/uploads/2015/09/ESTUDO-CERAMICA-VERMELHA.pdf>> . Acesso em: 10 abr.2018.

SEDAP, Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e da Pesca -. **Panorama Agrícola do Pará - Açaí - 2017.** 2017. Disponível em:
<<http://www.sedap.pa.gov.br/content/açai>>. Acesso em: 10 jul. 2019.

SILVA, Aline Márcia Ferreira dias da. **Incorporação de cinza de capim-elefante em cerâmica vermelha.** 2013. 102 p. Dissertação (Mestre em Engenharia e Ciência de Materiais)- Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte

Fluminense, CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ, 2013. 1. Disponível em: <http://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/Aline-Silva_LAMAV_Dissertação-Mestrado.pdf>. Acesso em: 02 out. 2018.

TAGORE, Márcia de Pádua Bastos. **O aumento da demanda do açaí e as alterações sociais, ambientais e econômicas: o caso das várzeas de Abaetetuba, Pará.** 2017. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Gestão dos Recursos Naturais e Desenvolvimento, Núcleo de Meio Ambiente, Universidade Federal do Pará, Universidade Federal do Pará, Belém, 2017. Cap. 8. Disponível em: <http://repositorio.ufpa.br/jspui/bitstream/2011/9548/1/Dissertacao_AumentoDemandaaAcai.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2018.

VÁSQUEZ, Gilberto Antonio Gorrichátegui. **Avaliação da conformidade dos blocos cerâmicos produzidos em algumas cerâmicas do Rio Grande do Norte.** 2005. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2005. Cap. 2. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/19830/1/GilbertoAntonioGorrichateguiVasquez DISSERT.pdf>>. Acesso em: 08 ago. 2018.

ZANIN, T. L.; KLITZKE, W.; LUZ JUNIOR, L. F. L.. **Estudo da influência da adição de cinzas de carvão mineral nas propriedades da cerâmica vermelha.** Cerâmica, [s.l.], v. 59, n. 350, p.231-234, jun. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0366-69132013000200006>. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ce/v59n350/06.pdf>>. Acesso em: 06 jun. 2019.