



Universidade Federal de Pernambuco
Centro Acadêmico do Agreste – Núcleo de Tecnologia
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental

Lupercio Luizines Cavalcanti Filho

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO SIMPLES E ABSORÇÃO DE
ÁGUA DE TIJOLOS VAZADOS DE SOLO-CIMENTO PRODUZIDOS A PARTIR
DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PELA CINZA DA LENHA DE
ALGARROBA**

Caruaru

2016

LUPERCIO LUIZINES CAVALCANTI FILHO

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO SIMPLES E ABSORÇÃO DE
ÁGUA DE TIJOLOS VAZADOS DE SOLO-CIMENTO PRODUZIDOS A PARTIR
DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PELA CINZA DA LENHA DE
ALGAROBA**

Dissertação de Mestrado para obtenção do título de Mestre, apresentada ao Programa de Pós – Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco – Centro Acadêmico do Agreste.

Área de concentração: estruturas e materiais.

Orientadora: Prof. Dr.^a Ana Cecília Vieira da Nóbrega.

Coorientadora: Prof. Dr.^a Gicélia Rodrigues.

Caruaru

2016

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Simone Xavier CRB/4 - 1242

- C376a Cavalcanti Filho, Lupericio Luizines.
Avaliação da resistência a compressão simples e absorção de água de tijolos vazados de solo-cimento produzidos a partir da substituição parcial do cimento pela cinza da lenha de algaroba. / Lupericio Luizines Cavalcanti Filho. – 2016.
95f. : Il. ; 30 cm.
- Orientadora: Ana Cecília Vieira da Nóbrega
Coorientadora: Gicélia Rodrigues
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, 2016.
Inclui Referências.
1. Algaroba. 2. Tijolos. 3. Resíduos sólidos. 4. Reaproveitamento (Sobras, refugos, etc.). I. Nóbrega, Ana Cecília Vieira da (Orientadora). II. Gicélia Rodrigues (coorientadora). III. Título.
- 620 CDD (23. ed.) UFPE (CAA 2016-083)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental
Área de Concentração em Estruturas e Materiais

A comissão examinadora da Defesa de Dissertação de Mestrado

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO SIMPLES E ABSORÇÃO DE
ÁGUA DE TIJOLOS VAZADOS DE SOLO-CIMENTO PRODUZIDOS A PARTIR DA
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PELA CINZA DA LENHA DE ALGOROBA**

LUPERCIO LUIZINES CAVALCANTI FILHO

Considera o candidato APROVADO.

Caruaru, 11 de março de 2016.

GICÉLIA RODRIGUES – DEQ/UFPB
(Coorientadora)

ANA PAULA COSTA CÂMARA – DEQ/UFRN
(Examinadora externa)

HUMBERTO CORREIA LIMA JÚNIOR – PPGECAM/UFPE
(Examinador interno)

Dedico este trabalho aos meus pais Lupercio Luizines Cavalcanti e Marlene Edite de França Cavalcanti, meus irmãos Luciana e Leonardo, meus sobrinhos Juliana e Hugo Leonardo, e a todos os pesquisadores que buscam alternativas sustentáveis para o gerenciamento de resíduos sólidos industriais em prol do meio ambiente saudável.

AGRADECIMENTOS

Ao Senhor Deus pela ajuda em todos os momentos da minha vida.

À Prof. Dr.^a Ana Cecília Vieira da Nobrega, minha orientadora, pela oportunidade e liderança executada neste trabalho.

À Prof. Dr.^a Gicélia Rodrigues, minha coorientadora, pelo apoio e empenho prestado.

A todos os servidores e prestadores de serviços do PPGECA – UFPE – Centro Acadêmico do Agreste – Núcleo de Tecnologia.

Ao Prof. Dr. Belarmino Barbosa Lira pela colaboração no desenvolvimento desse trabalho.

À Prof. Dr.^a Dulce Maria de Araújo Melo, Vitor Rodrigo de Melo e Melo e Rodolfo Luiz Bezerra de Araújo Medeiros do NUPPRAR da UFRN que colaboraram na execução dos ensaios realizados durante a pesquisa.

Ao Prof. Dr. Uílame Umbelino Gomes, servidores e pesquisadores do LMCME da UFRN que colaboraram na execução dos ensaios realizados durante a pesquisa.

Aos funcionários e prestadores de serviços do LABEME (Claudio Matias da Silva, Delby Fernandes de Medeiros Filho, João da Silva Messias e Ricardo Luiz de Carvalho), LAPAV (Sérgio Ricardo Honório de Assis), DECA (Otoniel Gomes Bonifácio) e LMPC (Sebastião Leandro Filho e Ailton) da UFPB.

E aos meus familiares e amigos pelo incentivo.

“Feliz aquele que transfere o que sabe, e aprende o que ensina”.

Cora Coralina (poetisa brasileira)

RESUMO

A utilização de resíduos nos sistemas construtivos favorece a política de preservação do meio ambiente contribuindo na redução do descarte de resíduos sólidos. A lenha de Algaroba (*Prosopis Juliflora*) utilizada como fonte de energia térmica para geração de vapor, o qual é gerado através da queima da lenha em uma fornalha que gera calor para uma caldeira, gera uma grande quantidade de cinzas. Estas cinzas se descartadas de forma inadequada, ocasionam sérios problemas ambientais. A utilização dessas cinzas, como matéria-prima para estabilizar o solo com adição de cimento (solo-cimento) contribuirá com o desenvolvimento sustentável, minimizando o descarte inadequado deste resíduo sólido no meio ambiente, reduzindo o impacto ambiental, além de tornara produção de tijolos ecológicos economicamente viáveis. O objetivo deste trabalho foi produzir tijolos ecológicos de solo-cimento utilizando da cinza da lenha de Algaroba como material estabilizante do solo. Para isto foram realizados cinco traços com diferentes teores de cinza de 0 % (referência), 10%, 30 %, 40 %, e 50 %. Estes percentuais são referentes à substituição parcial do cimento pela cinza. Os tijolos fabricados com 10% de cinza apresentaram maior resistência à compressão simples e mantiveram-se dentro da norma. Os resultados de absorção de água indicaram que todas as amostras obtiveram valores médios menores que 20 % e valores individuais menores que 22 % de acordo com os valores exigidos pela norma NBR 10834 (ABNT, 1994). Os resultados mostram que é possível utilizar a cinza da lenha de Algaroba na substituição parcial do cimento para produzir tijolos de solo-cimento-cinza com o teor de 10% de cinza.

Palavras-chave: tijolo vazado de solo-cimento, cinza, Algaroba.

ABSTRACT

The utilization of waste in construction systems favors the environmental preservation policy, contributing in reducing solid waste. The Algaroba (*Prosopis Juliflora*), used as a thermal energy source to generate steam, which is generated by wood burning in a furnace that generates heat to a boiler, it generates a lot of ash. These ashes are improperly discarded, causing serious environmental problems. The use of these ashes as a raw material to stabilizing soil with the addition of cement (soil-cement) will contribute for the sustainable development, minimizing improper disposal of solid waste in the environment, reducing environmental impact, besides making the production of ecological bricks economically viable. The objective of this work was to produce ecological bricks of soil-cement using ash mesquite (*Prosopis Juliflora*) as soil stabilizing material. For this, were done bricks with different contents ash: 0 % (reference), 10%, 30 %, 40 % and 50 %. These percentages refer to the partial replacement of cement by ash. The bricks manufactured with 10% gray have higher resistance to simple compression and remained within the standard. The results of water absorption indicates that all samples obtained average values lower than 20 % and single values lower than 22 %, in accordance with the values required by the standard NBR 10834 (ABNT, 1994). The results show that it is possible to use Algaroba wood ash in partial cement substitution to produce soil-cement-gray brick with the percentage of 10% wood ash.

Keywords: bricks soil-cement, wood ash, Algaroba.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - CINZA DA LENHA DE ALGARROBA GERADA NA CALDEIRA	14
FIGURA 2 - TIJOLOS VAZADOS DE SOLO-CIMENTO	15
FIGURA 3 - FORMAÇÃO DA ESTRUTURA ALVEOLAR	18
FIGURA 4 -FORMAÇÃO DOS ARCOS DA ESTRUTURA FLOCULENTA.....	19
FIGURA 5 - ESTRUTURA DE UMA ARGILA MARINHA	20
FIGURA 6 - MAPA GEOLÓGICO SIMPLIFICADO DO MUNICÍPIO DE SANTA RITA-PE, COM INDICAÇÃO DO LOCAL DA COLETA DO SOLO E UFPB.	35
FIGURA 7 - SOLO DO MUNICÍPIO DE SANTA RITA-PB	36
FIGURA 9 -TRANSPORTE DA CINZA DE ALGARROBA	37
FIGURA 10 - CINZA DE ALGARROBA APÓS COLETA.....	37
FIGURA 11 - PENEIRAMENTO DA AMOSTRA DE SOLO	38
FIGURA 12 - AMOSTRA DE CINZA DE ALGARROBA E DO SOLO	39
FIGURA 13 - PENEIRAMENTO DO SOLO.....	40
FIGURA 14 – MISTURA SECA.....	41
FIGURA 15 - ADIÇÃO GRADATIVA DA ÁGUA	41
FIGURA 16- MISTURA ÚMIDA	42
FIGURA 18 - MISTURA ÚMIDA PARA O ABASTECIMENTO DA PRENSA.....	43
FIGURA 19 - PRENSAGENS EM APROXIMADAMENTE TRÊS SEGUNDOS	43
FIGURA 20 - CÂMARA ÚMIDA.....	44
FIGURA 21 - EMPILHAMENTO DOS TIJOLOS	45
FIGURA 22 – DIMENSÕES DAS FACES DOS TIJOLOS.....	46
FIGURA 23 - CORTE DOS TIJOLOS	46
FIGURA 24 - CAPEAMENTO DOS TIJOLOS.....	47
FIGURA 25 - ENSAIO À COMPRESSÃO	47
FIGURA 26 - AMOSTRA DE TIJOLO SECO E ÚMIDO	48
FIGURA 27- DIFRATOGRAMA DE RAIOS-X DA CINZA DE ALGARROBA.....	51
FIGURA 28 - MICROGRAFIAS ELETRÔNICAS DE VARREDURA E EDS DA AMOSTRA DE CINZA DE ALGARROBA.....	52
FIGURA 29 - CURVAS DE TG E DTG DA CINZA DE ALGARROBA	53
FIGURA 30 - ANÁLISE TÉRMICA DIFERENCIAL (DTA) DA CINZA DE ALGARROBA.....	54
FIGURA 31 - CURVA DE GRANULOMETRIA DA CINZA DE ALGARROBA	55

FIGURA 32 - O DIFRATOGRAM DE RAIOS-X DA AMOSTRA DO SOLO DO MUNICÍPIO DE SANTA RITA –PB.....	57
FIGURA 33 - MICROGRAFIAS ELETRÔNICAS DE VARREDURA E EDS DA AMOSTRA DO SOLO	58
FIGURA 34 - TG E DTG DO SOLO DO MUNICÍPIO DE SANTA RITA-PB	59
FIGURA 35 - ANÁLISE TERMICA DIFERENCIAL (DTA)DO SOLO DO MUNICÍPIO DE SANTA RITA - PB	60
FIGURA 36 - CURVAS GRANULOMÉTRICAS DO SOLO DO MUNICÍPIO DE SANTA RITA- PB.....	61
FIGURA 37 - GRÁFICO DE RESISTÊNCIA MÉDIA DOS TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO	62
FIGURA 38 - GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA	64

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - PRODUÇÃO DOS TIJOLOS	44
TABELA 2- COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA CINZA DE ALGARROBA COLETADA EM BELO JARDIM	49
TABELA 3 - COMPOSIÇÃO DA CINZA DE ALGARROBA.....	50
TABELA 4 - RESULTADO DA ANÁLISE QUÍMICA SEMIQUANTITATIVA DAS AMOSTRAS DO SOLO DO MUNICÍPIO DE SANTA RITA - PB	56
TABELA 5 - VALORES INDIVIDUAIS, MÉDIA, DESVIO PADRÃO E ERRO PADRÃO DOS ENSAIOS DE COMPRESSÃO DOS TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO E TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO-CINZA DA LENHA DE ALGARROBA	62
TABELA 6 - VALORES INDIVIDUAIS, MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS ENSAIOS DE ABSORÇÃO DOS TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO E TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO- CINZA DA LENHA DE ALGARROBA.	64

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVOS	16
1.1.1 – Geral	16
1.1.2 - Específicos	16
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1 Definição de solo	17
2.1.1 Estrutura do solo	17
2.1.2 Principais componentes constituintes do solo	20
2.1.3 Principais propriedades do solo	22
2.1.3.1 Composição Granulométrica	22
2.1.3.2 Plasticidade	23
2.1.3.3 Retração	23
2.1.3.4 Umidade e compactação	24
2.1.4 Estabilizações do Solo	25
2.2 Hidratação do Cimento Portland	28
2.2.1 Hidratação dos silicatos	29
2.2.2 Hidratação do aluminatos	29
2.3. Algaroba (<i>Prosopis juliflora</i>)	30
2.4 Tijolos vazados de solo-cimento	30
2.4.1 Definição	30
2.4.2 Produção dos tijolos de solo-cimento	31
2.4.3 Principais propriedades dos tijolos vazados de solo-cimento	32
2.4.3.1 A resistência à compressão	33
2.4.3.2 Índice de Absorção de água	34
3 METODOLOGIA EXPERIMENTAL	35
3.1 Coleta e caracterização das matérias-primas	35
3.1.1 Coleta das matérias-primas	35
3.1.2 Caracterização das matérias-primas	38
3.1.2.1 Fluorescência de Raios-X	38
3.1.2.2 Difração de Raios-X	38
3.1.2.3 Análise térmica	39
3.1.2.4 Distribuição do tamanho das partículas	39
3.2 Fabricação dos tijolos	40
3.3 Análise dimensional, determinação da absorção de água e da resistência à compressão	45
3.3.1 Análise dimensional	45

3.3.2 Ensaio à compressão simples	46
3.3.3 Ensaio absorção de água.....	48
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
4.1. Caracterização química, microestrutural e termoanalíticos (TG/GTG e DTA) da cinza de Algaroba	49
4.2. Caracterização química, microestrutural e termoanalíticos (TG/GTG e DTA) do solo	56
4.3 Propriedades dos tijolos.....	62
5 CONCLUSÃO.....	66
6 REFERÊNCIAS	68
APÊNDICE A	74
APÊNDICE B.....	80

1 INTRODUÇÃO

O estímulo à utilização de resíduo nos sistemas construtivos favorece a política de preservação do meio ambiente, contribuindo na redução de resíduos sólidos que podem ser descartados de forma inadequada. A disposição inadequada pode levar à contaminação do solo, do ar, bem como das águas superficiais e subterrâneas.

A tendência atual das pesquisas nesse sentido foca na utilização de resíduos sólidos, tais como: cinza, lodos, resíduos agroindustriais, etc. que podem ser subprodutos industriais, em substituição de algumas matérias-primas. Nesse cenário, muitos setores industriais buscam matérias-primas alternativas, sustentáveis com menor impacto ambiental e que sejam economicamente viáveis. Dentre as alternativas destacam-se os resíduos sólidos, os quais têm contribuído significativamente na poluição ambiental.

As cinzas da lenha de Algaroba (*Prosopis juliflora*), Figura 1, coletada do poço da caldeira da indústria alimentícia localizada na cidade de Belo Jardim, agreste pernambucano – Brasil. As mesmas geradas após o processo de combustão da lenha de Algaroba, com temperatura de aproximadamente 900°C na caldeira de Vapor Saturado Horizontal de Biomassa. Estas cinzas são resíduos sólidos minerais fixos que possuem alto teor de óxidos inorgânicos, com poder poluente de águas, solo e ar, pois geram particulados finos que ocupam grandes volumes devido à sua baixa densidade (MOTA, 2014).

Figura 1 - Cinza da lenha de Algaroba gerada na caldeira



Fonte: Do Autor (2015)

A utilização dessas cinzas, como matéria-prima para fabricação de tijolos vazados de solo-cimento (Figura 2), em substituição parcial do cimento por cinza contribuirá com o desenvolvimento sustentável, tornando-se uma alternativa para o descarte desse resíduo, além de contribuir na redução do consumo do cimento, uma vez que é uma das matérias-primas mais cara da construção civil e a substituição parcial viabiliza economicamente o produto final.

Figura 2 - Tijolos vazados de solo-cimento



Fonte: Do Autor (2015)

Dependendo do perfil de solo e sua aplicação é necessária fazer uma estabilização que pode ser de duas formas fundamentais. Uma forma é por meio mecânico, utilizando a prensagem do solo, e outra por meio químico, pela adição na mistura de terra com outros materiais como o cimento, a cal, pozolanas e cinzas volantes e adições em pequenas quantidades de alguns aditivos de origem mineral ou orgânica. Assim, é possível obter um material de construção mais durável, pelas suas maiores resistências à água, a bactérias e fungos e pela sua resistência mecânica (JALALI& EIRES, 2008).

O tijolo de solo-cimento é uma alternativa favorável ao desenvolvimento sustentável, uma vez que são produzidos com baixo consumo de energia, dispensam o processo de queima e podem ser produzidos com o solo do local onde é executada a obra, porém a matéria-prima de maior custo é o cimento e a substituição parcial do cimento por materiais que possuam características similares contribuirá no processo construtivo (SEGANTINI & WADA, 2011). Diante deste contexto este trabalho teve como objetivo produzir tijolos de solo-cimento com substituição parcial do cimento pela cinza de Algaroba.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 – Geral

Avaliar a possibilidade de produção de tijolo vazado de solo-cimento-cinza da lenha de Algaroba com a substituição parcial do cimento pelo resíduo de uma caldeira, a cinza da lenha de Algaroba.

1.1.2 - Específicos

1. Realizar a caracterização química, granulométrica e morfológica das amostras de solo e da cinza da lenha de Algaroba;
2. Formular misturas contendo diferentes proporções da cinza de Algaroba na composição do solo-cimento;
3. Produzir corpos-de-prova;
4. Avaliar a resistência à compressão e a absorção de água dos tijolos de solo-cimento com idade de 7 dias.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Definição de solo

O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos definiu o solo como uma coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas, gasosas, tridimensionais e dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta. Contém matéria viva e podem ser vegetados na natureza, onde ocorrem. Ocasionalmente podem ter sido modificados por atividades humanas (EMPRABA SOLOS, 1999).

Para a engenharia, o solo é definido como agregado não cimentado de grãos minerais, e matéria orgânica decomposta (partícula sólida), com líquidos e gás nos espaços vazios entre as partículas sólidas (DAS, 2007).

O solo utilizado como matéria-prima na construção civil recebe diferentes denominações tais como: terra crua; terra sem cozer; terra para construir. O termo solo é usado principalmente quando envolve classificações e caracterizações, como os termos: solo-cimento, solo-cal e solo estabilizado, entre outros (NEVES *et al.*, 2006).

2.1.1 Estrutura do solo

A estrutura do solo é definida como arranjo geométrico de partículas do solo, uma em relação às outras. Os principais fatores que afetam a estrutura do solo são a forma. Tamanho, e composições mineralógicas das partículas do solo. De forma geral, o solo pode ser classificado em dois grupos: não coesivos e coesivos (DAS, 2007).

Estrutura em solos não coesivos são os solos compostos de pedras, pedregulhos, cascalhos e areias, ou seja, de partículas grandes (grossas). As estruturas encontradas neste tipo de solo podem ser divididas em duas categorias principais; com grãos isolados e alveolares.

Nas estruturas de grãos isolados, as partículas do solo estão em posição estáveis com cada partícula em contato com adjacentes. A forma e a distribuição de tamanho das partículas do solo e sua posição relativa influem sobre a densidade do agrupamento. Assim um grande intervalo de índice de vazio é possível (DAS, 2007). Na estrutura alveolar, areia e silte relativamente finos formam pequenos arcos com correntes de partículas. Solos que apresentam uma estrutura alveolar têm índice de vazios grandes e podem suportar uma carga

estática moderada. Entretanto, sob carga elevada ou quando submetida ao carregamento de choque a estrutura se quebra, o que resulta em uma grande quantidade de recalque.

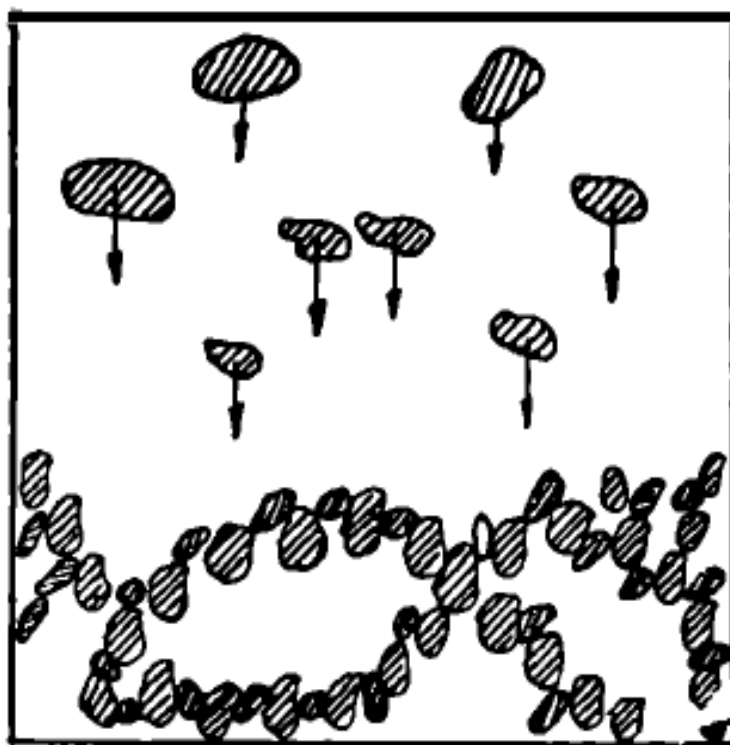
A estrutura em solos coesivos é muito complexa, uma vez que os grãos dos solos coesivos são muito finos, se aderem firmemente um a outro e os espaços vazios entre as partículas são muito pequenos (DAS, 2007).

Tradicionalmente os principais tipos de estruturas dos solos são as estrutura granular simples, estrutura alveolar ou em favo de abelha, estrutura floclulenta, e estrutura em esqueleto.

A estrutura granular simples é característica das areias e pedregulhos e a força da gravidade é predominante na disposição das partículas, as quais se apoiam umas sobre as outras. De acordo com a maneira pela qual os grãos se agrupam, a estrutura pode ser mais densa ou mais solta, o que é definido pelo "grau de compactidade" (CAPUTO, 1988).

Estrutura alveolar ou em favo de abelha é o tipo de estrutura comum nos siltes mais finos e em algumas areias. É originada quando um solo sedimentar é formado um grão cai sobre o sedimento já formado, devido à predominância da atração molecular sobre o seu peso, ele ficará na posição em que se der o primeiro contato dispondo-se em forma de arcos. A Figura 3 mostra a formação da estrutura alveolar (CAPUTO, 1988).

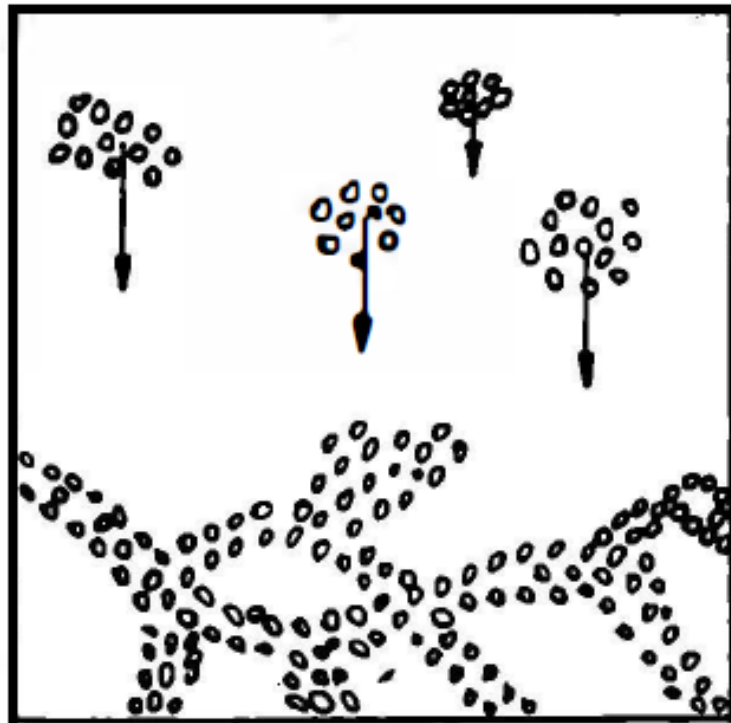
Figura 3 - Formação da estrutura alveolar



Fonte: CAPUTO, 1988

Estrutura floclulenta – as partículas destes tipos de estrutura são muito pequenas e quando sedimentam dispõem-se em arcos sucessivamente, Figura 4. Os arcos formados continuamente constituem uma estrutura de ordem dupla. Durante a formação da estrutura floclulenta ocorre uma importante função das ações elétricas que desenvolvem entre partículas, as quais são influenciadas pela natureza dos íons presentes no meio onde ocorre a sedimentação. De forma geral a estrutura molecular desses solos e aberto isto é, uma das moléculas tem como que uma carga elétrica ainda disponível, possibilitando a formação dessas estruturas.

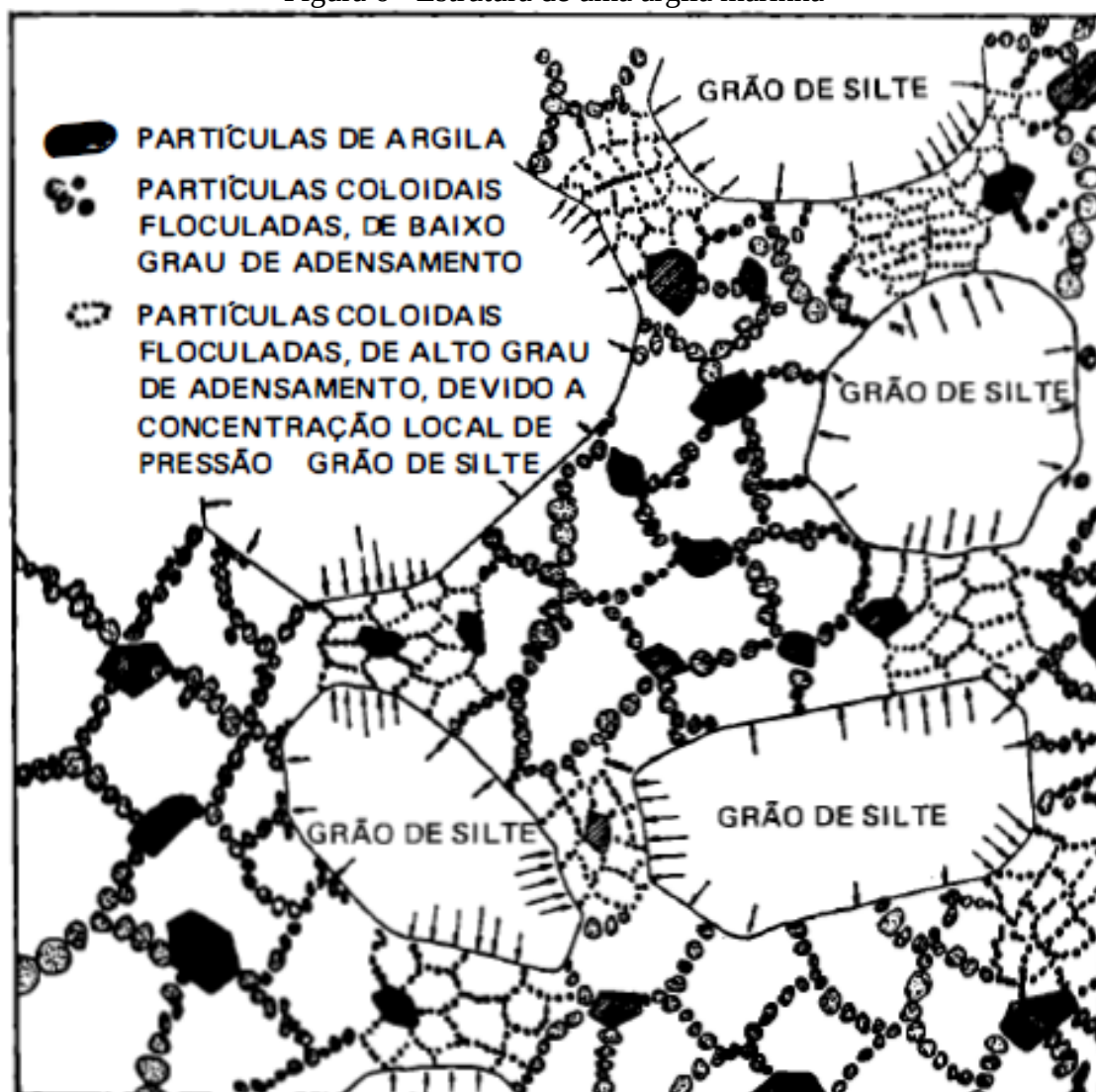
Figura 5 -Formação dos arcos da estrutura floclulenta



Fonte: CAPUTO, 1988

Estrutura em esqueleto é o tipo de estrutura em que os grãos finos e grossos dispõem-se em forma de esqueleto, cujos interstícios são parcialmente ocupados por uma estrutura de grãos mais finos. A Figura 6, na página seguinte, é um exemplo de uma complexa estrutura em esqueleto das argilas marinhas.

Figura 6 - Estrutura de uma argila marinha



Fonte: (CAPUTO, 1988)

2.1.2 Principais componentes constituintes do solo

O solo é uma mistura de vários componentes orgânicos e inorgânicos, porém neste trabalho será dada ênfase apenas para os principais componentes inorgânicos que constituem o solo. Os minerais do solo pertencem a dois grandes grupos: Minerais primários e minerais secundários. Dentre estes minerais componentes mais comuns do solo são divididos finamente em quartzo (SiO_2), argilas e siltes (SAMPAIO, 2008).

O quartzo é um dos minerais mais abundantes da crosta terrestre, constitui a fase estável da sílica (SiO_2) à temperatura ambiente é conhecida como quartzo- α . Este tipo de quartzo ocupa posição de destaque na geologia estrutural e na mineralogia é um material muito importante para várias aplicações industriais (GUZZO, 2008).

Uma das principais aplicações industriais da sílica do tipo quartzo- α é no emprego de areias e quartzitos como agregados para a construção civil. É utilizada também, em graus de pureza variados, na produção de tintas, esmaltes, porcelanas, louças sanitárias, vidros convencionais e sílica vítrea para a produção de prismas, filtros, lentes e fibras ópticas (HUNTLEY *et al.* 1985 *apud* GUZZO *et al.*, 2008).

Estruturalmente, o quartzo é um tectossilicato ou silicato de armação, apresenta uma armação tridimensional de tetraedros de silicato com SiO_2 , em que todos os tetraedros estão ocupados por Si^{4+} e apresenta a fórmula SiO_2 e o peso específico é 2,65 (GUZZO *et al.*, 2008).

Normalmente é sem cor ou branco (quartzo hialino), mas pode se apresentar colorido pela presença de impureza, apresentando as mais diversas cores (alocromático), que caracterizam suas muitas variedades de cores. A presença de Ti confere ao quartzo cor azul, e Mn (rósea), de Fe e Mn (violeta tipo ametista), de Ni (quartzo verde), de Cr (quartzo vermelha) e matéria orgânica cor fume (esfumaçado) (DANTAS, 2015).

A argila é um mineral natural, terroso, de granulação fina, que geralmente adquire, quando umedecido com água, certa plasticidade; quimicamente, são argilas formadas essencialmente por silicatos hidratados de alumínio, ferro e magnésio (SANTOS, 1989). A argila é um grupo de partículas do solo cujas dimensões estão em uma faixa de valores menores que 0,005mm. A interação da fração argila com óxidos de Fe, Si e Al requeira uma ação cimentante que resulta num aumento da coesão no solo com baixo teor de água. A argila é responsável pela coesão do solo e em parte, pela sua resistência à ação da água. A composição das propriedades da mistura de solo admite uma coesão interna, onde a argila age com a função de argamassa, enquanto a areia age como um esqueleto interno. No bloco de solo-cimento, pelas suas propriedades coesivas, é indispensável uma quantidade mínima de argila na estrutura de solo (DANTAS, 2015).

Os siltes são fragmentos minerais ou rocha menor que areia fina e maior que argila. Segundo a NBR 6502 (1995), os siltes são originados das rochas e apresentam pouca plasticidade e baixa resistência mecânica ao solo, quando seco ao ar.

O quartzo cuja composição é SiO_2 é bastante empregado como matéria-prima de materiais de construção. Os silicatos são os principais responsáveis pela resistência mecânica de compósitos preparados com o cimento (ISAIA, 2007).

A argila é um material natural, terroso, de granulação fina, que geralmente adquire, quando umedece com água, certa plasticidade, tendo certa coesão. As argilas são fáceis de serem moldadas e quando seco apresenta grande resistência (SANTOS, 1989). O solo utilizado na fabricação de solo-cimento deve conter um mínimo de 5% de argila, e como a

mesma apresenta um grande poder de coesão não é necessário que o solo contenha mais de 20 % de argila (DUARTE, 2013).

Os siltes são partículas finas de origem mineral que agem de forma semelhante à argila na coesão do solo, dando-lhe maior densidade. As dimensões das suas partículas e as suas origens influenciam no comportamento do solo, conferindo-lhe características mais argilosas ou arenosas (DUARTE, 2013).

2.1.3 Principais propriedades do solo

Na construção civil as principais propriedades do solo são relacionadas quanto à seleção e execução. Na seleção as principais propriedades são: a composição granulométrica, a plasticidade e a retração; e, no controle da execução, as principais propriedades são: umidade e grau de compactação.

2.1.3.1 Composição Granulométrica

É a proporção relativa, em porcentagem, dos diferentes tamanhos dos grãos que constituem o agregado, e caracterizar os agregados quanto ao tamanho e à distribuição de suas partículas. A granulometria de um solo tem influência direta na qualidade e no custo do solo-cimento, sendo mais indicados na sua confecção os solos com características arenosas (SOUZA *et al.*, 2008).

A análise granulométrica é a técnica utilizada para determinar o tamanho das partículas contidas no solo, as quais geralmente são classificadas em cinco frações; pedra, cascalho; areia; silte (ou cal) e argila. As identificações dessas partículas exigem um controle cuidadoso porque grãos de areia podem estar envoltos por uma grande quantidade de partículas argilosa, finíssimas, apresentando o mesmo aspecto de uma aglomeração formada exclusivamente por estas partículas argilosas. Quando secas, as duas formações são dificilmente diferenciáveis. Quando úmidas, a aglomeração de partículas argilosas se transforma em uma pasta fina, enquanto que a partícula arenosa revestida é facilmente reconhecida pelo tato. Portanto, numa tentativa de identificação através do tato ou por uma observação visual dos grãos de um solo, é fundamental que ele se encontre bastante úmido (SCHMITZ, 2005).

Segundo a NBR 7181 (1984) o procedimento para analisar a granulometria do solo é o peneiramento ou por uma combinação de sedimentação e peneiramento. No ensaio de peneiramento, determina-se a quantidade percentual das partículas que passam ou que são retidas em peneiras de aberturas normalizadas; no ensaio de sedimentação, mede-se a velocidade de decantação das partículas dispersas em água, em função da variação de densidade da solução, calculando-se as suas proporções na amostra (NEVES, 2005).

2.1.3.2 Plasticidade

De acordo com o teor de umidade, o solo pode ser líquido, plástico ou sólido. A plasticidade do solo, ou limites de consistência, é determinada através de dois ensaios: limite de liquidez (LL) e limite de plasticidade (LP).

Limite de liquidez é o teor de umidade para o qual o sulco fecha-se com 25 golpes. De acordo com os estudos do Federal Highway Administration, o LL pode ser determinado, conhecido "um só ponto", por meio da Equação 1.0, em que h representa a unidade em percentagem correspondente a n quantidade golpes.

$$LL = \frac{h}{1,419 - 0,3 \log n} \quad (1.0)$$

O limite de plasticidade (LP) é definido como o menor teor de umidade com o qual se consegue moldar um cilindro com 3 mm de diâmetro, rolando-se o solo com a palma da mão (SCHMITZ, 2005). É determinado através do cálculo da porcentagem de umidade para o qual o solo começa a se fraturar quando se tenta moldar, com ele, um cilindro de 3mm de diâmetro e cerca de 10 cm de comprimento (CAPUTO, 1988).

2.1.3.3 Retração

A retração e a expansão permitem identificar a quantidade e o tipo de argila (inerte ou ativa) presente no solo.

A determinação da qualidade do solo a ser utilizado na produção de solo-cimento é de fundamental importância, uma vez que a presença de argila ativa pode comprometer o tijolo após a secagem com surgimento de fissuras e partículas desagregadas (NEVES *et al.*, 2005).

Os movimentos de retração e expansão são observados quando há variação de umidade. Nas paredes de terra, os movimentos de retração e expansão da argila provocam fissuras, que podem gerar lesões internas e ou superficiais e permitem a penetração de água, e a ocorrência de patologias que conseqüentemente contribuem para a perda de resistência do material e a degradação da parede (NEVES *et al.*, 2005).

O limite de retração (LR) marca a passagem do estado sólido com retração para o estado sólido sem retração, e é determinado pelo teor de umidade a partir do qual o volume do solo permanece constante quando se processa a evaporação da água. A evaporação da água abaixo do limite de retração mantém o volume de solo, mas a retração sucede com a abertura de trincas (GRANDE, 2003; NEVES, 2005).

2.1.3.4 Umidade e compactação

Pitta (1984 *apud* ALMEIDA FILHO, 2008) define compactação como um processo pelo qual uma massa de solo, constituída de partículas sólidas, ar e água, é reduzida em volume pela aplicação de carga, tal como rolamento, socamento e vibração.

A compactação de um solo é um processo manual ou mecânico que visa reduzir o volume de vazios presentes no solo e, assim, aumentar sua resistência, tornando-se mais estável. É uma operação simples e de grande importância pelos seus consideráveis efeitos sobre a estabilização de maciços terrosos, relacionando-se, intimamente, com os problemas de pavimentação e barragens de terra. A compactação de um solo visa o melhoramento de suas características, não só quanto à resistência, mas também, em relação à permeabilidade, compressibilidade, absorção d'água e, principalmente, estabilidade. É importante ressaltar que o aumento do peso específico de um solo, produzido pela compactação, depende fundamentalmente da energia dispendida e do teor de umidade do solo. 'Observe-se que na "compactação" há expulsão de ar, e no "adensamento" a expulsão é da água. A compactação se enquadra na categoria dos problemas relativos a "solos não saturados", onde a Mecânica dos Solos se depara ainda com dificuldades e, até mesmo, com certa insegurança (CAPUTO, 1988).

A umidade (h) de um solo é a razão entre o peso da água (P_a) contida num certo volume de solo e o peso da parte sólida (P_s) existente neste mesmo volume, expressa em porcentagem (CAPUTO, 1988). A Equação 2 expressa matematicamente como determinar a umidade de um solo.

$$h(\%) = \frac{P_a}{P_s} \times 100 \quad (2.0)$$

Cada solo possui uma característica própria de peso específico aparente seco versus teor de umidade para uma determinada energia de compactação. Para cada esforço de compactação existe uma determinada umidade, denominada umidade ótima de compactação na qual ocorrem as condições em que se pode obter o melhor adensamento, ou seja, a maior massa específica seca. Nesta condição, o solo também apresenta menor porosidade, caracterizando assim um material mais durável e mais resistente mecanicamente estas condições também são aplicadas para o solo-cimento (NEVES,2005; ALMEIDA FILHO, 2008).

2.1.4 Estabilizações do Solo

A estabilização do solo é um processo natural ou artificial que consiste em modificar as características do sistema solo-água-ar com o efeito de cargas aplicadas ao solo, tornando-o mais resistente à deformação e ao deslocamento do que o solo original (HOUBEN, 1994). A finalidade da estabilização do solo é melhorar as propriedades do solo tais como: estabilidade dimensional; aumento da resistência mecânica para patamares definidos pela utilização; diminuição da permeabilidade; controle da fissuração por retração do processo de secagem; resistência à erosão e abrasão superficial e aumento da durabilidade do material (Ingles e Metcalf, 1972 *apud* GRANDE, 2003).

A estabilização mecânica consiste em aplicar uma carga ao solo a fim de compactá-lo. Segundo Cook (1983 *apud* CARVALHO, 2011), o objetivo do processo de compactação é elevar a densidade do solo, aumentando ao mesmo tempo a sua resistência. Os solos que possuem grãos de tamanhos diferentes e com pequena quantidade de argilas proporcionam melhores resultados de compactação (CARVALHO, 2011).

Estabilização física consiste na adição de grãos de diferentes granulometrias, atuando diretamente sobre a textura do solo, otimizando as proporções entre argilas, areia e silte, fator que causa maior empacotamento do grão (GRANDE, 2003).

Estabilização química é um procedimento que ocorre quando são adicionados aditivos químicos ao solo, a fim de gerar uma mudança no seu comportamento, visando à melhoria na resistência e estabilidade, tais mudanças podem influenciar na permeabilidade e na forma do solo. Os aditivos adicionados reagem com os minerais presentes no solo (fração coloidal),

e/ou com a água presente nos poros da massa do produto. As reações solo-cimento são caracterizadas por um processo físico-químico o qual os cátions Ca^{2+} são liberados na hidratação do aglomerante reagindo com os argilominerais modificando o pH da solução eletrolítica.

A estabilização química mais utilizada é de solo-cimento, na qual o cimento propicia um ganho na resistência ao solo, fazendo uso das reações pozolânicas. A partir da sílica ativa presente no solo. Um dos motivos pela preferência por cimento à cal, é que a resistência é atingida em idades inferiores a cal; outro pode ser pelo cimento ter afinidade em estabilizar uma variedade de solos (PEREIRA, 2012).

Antônio Segantini e Wada (2011) estudaram uma dosagem ótima para o solo-cimento, composto de resíduos de construção e demolição, visando à confecção de tijolos prensados (RCD). Eles estudaram cinco misturas com diferentes proporções entre a massa de solo e a de RCD. Os resultados obtidos indicaram que a adição dos RCD possibilitou a confecção de tijolos com qualidade, mesmo com reduzido consumo de cimento, contribuindo positivamente para a melhoria de suas propriedades. No estudo conclui-se que o solo-cimento é uma excelente matriz para o aproveitamento dos RCD, possibilitando a adição de até 100% de RCD em relação à massa de solo, sem prejuízos para a qualidade do produto final.

Lima (2012) investigou a influência da adição das cinzas do bagaço da cana-de-açúcar (BTCs) por meio de ensaios de resistência à compressão e de absorção. Para as análises, os blocos foram produzidos em duas séries, uma com 6 % e outra com 12 % de cimento em adição a mistura de solo. O solo utilizado foi proveniente da região de Aveiro, Portugal, e para a correção do teor de finos, utilizou-se o caulino. Para cada série de blocos, utilizaram-se teores de adição de CBC nos valores de 0 %, 2 %, 4 % e 8 %. Os resultados obtidos permitiram concluir que a CBC pode ser incorporado aos blocos produzidos com terra crua sem alterar suas características mecânicas.

Mota (2012) estudou o aproveitamento dos resíduos de granito e caulim como materiais aditivos na produção de tijolos ecológicos. Diante dos resultados de ABS, percebeu-se que os valores obtidos foram satisfatórios, abaixo de 20 % e os resultados de RCS foram inferiores aos padrões mínimos exigidos pela norma regulamentadora, isso provavelmente pela granulometria do resíduo de caulim, considerado grosso. Assim, visando um estudo mais abrangente, conclui-se que os resíduos de granito e caulim são materiais promissores que podem promover a sustentabilidade.

Dallacort *et al.*(2012) estudaram a resistência à compressão do solo-cimento com substituição parcial do cimento Portland por resíduo cerâmico moído. Para tanto, os

pesquisadores fizeram ensaios de 81 corpos-de-prova cilíndricos desse material à compressão, em que parte do cimento foi substituída por material cerâmico moído. Eles realizaram uma programação fatorial, na qual três variáveis foram selecionadas para estudo: o teor de material ligante (cimento + resíduo cerâmico), a umidade do solo e o teor de resíduo cerâmico adicionado. É apresentado um estudo estatístico utilizando-se a análise de variância da massa específica do material e da resistência à compressão. Tal estudo permitiu concluir que substituições de 25 e 57 % do teor de cimento por material cerâmico podem produzir blocos de solo-cimento com resistências superiores a 2 MPa, com teor de material ligante de 6 e 8 %, respectivamente.

Moura & Leite (2011) estudaram a viabilidade de utilização do resíduo de serragem de rochas ornamentais (RSRO) na produção de blocos pré-moldados para alvenaria de vedação. O RSRO foi utilizado em substituição parcial do cimento, nos teores de 5 %, 10 % e 15 %, em massa. Os blocos produzidos foram avaliados quanto à resistência à compressão e à absorção. Os resultados mostraram viabilidade da utilização do RSRO como substituição parcial do cimento.

Milani & Ferreira (2008) investigaram a avaliação física, mecânica e térmica de misturas de solo-cimento adicionadas de cinza de casca de arroz sem atividade pozzolânica. Eles confeccionaram os corpos-de-prova de solo-cimento-cinza de casca de arroz na umidade ótima de compactação e após cura úmida durante 7 dias, submeteram os corpos-de-prova aos ensaios de compressão simples, de absorção de água, de ultrassom, de durabilidade; de condutividade térmica e de calor específico. Os resultados obtidos indicaram que o solo arenoso, quando substituído pelo teor de 7,5 % de cinza e estabilizados com 10 % e 13 % de cimento, apresentou-se como promissor material alternativo a ser utilizado em construções rurais e/ou urbanas.

Rodrigues *et al.* (2013) estudaram a Influência da incorporação de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades tecnológicas de tijolos solo-cimento. Os autores observaram que a quantidade do lodo de ETA incorporado nos tijolos de solo-cimento não influenciou nas propriedades mineralógicas dos corpos cimentícios os quais foram identificados as mesmas fases cristalinas. No entanto, as intensidades dos picos de difração apresentaram pequenas diferenças em relação às amostras incorporadas com o lodo de ETA. Segundo o autor, isto pode estar relacionado ao fato de que o lodo de ETA é rico em partículas finas de caulinita e matéria orgânica, que influenciam as reações de hidratação do cimento. Observou-se também, que a microestrutura das amostras incorporadas com o lodo ETA forma textura rugosa típica de misturas de solo-cimento e que na distribuição entre as

partículas solo/lodo e pasta de cimento hidratada constituída principalmente de portlandita, silicato de cálcio hidratado e etringita. Os aglomerados de lodo de ETA identificados na microestrutura cimentícia pode ter dificultado o processo de homogeneização da matéria-prima na mistura. O processo de hidratação do cimento pode ser prejudicada pela capacidade de absorção de água do lodo de EDTA que está relacionado com quantidade de pasta de cimento.

2.2 Hidratação do Cimento Portland

O cimento é um ligante hidráulico, isto é, um material inorgânico finamente moído que quando misturado com água, forma uma pasta que endurece por meio de reações de hidratação. A pasta endurecida mantém sua estabilidade, mesmo em contato com água. O endurecimento hidráulico do cimento ocorre principalmente devido à hidratação dos silicatos de cálcio, porém outros compostos químicos, como por exemplo, os aluminatos podem participar do processo de endurecimento. No cimento, a soma dos teores do óxido de cálcio (CaO) reativo e da sílica (SiO₂) reativa deve ser pelo menos igual a 50% (LEA'S, 2004).

Os principais constituintes presentes na composição do cimento Portland são os silicatos de cálcio, aluminatos de cálcio e gipsita que é adicionada para inibir a tendência á pega instantânea ocasionada por grande reatividade do aluminato tricálcio. A representação e formula química do silicato de cálcio são: C₂S (silicato dicálcio - (CaO)₂SiO₂) e C₃S (silicato tricálcio- (CaO)₃SiO₂). Para os aluminatos de cálcio são: C₂S(aluminato tricálcio - (CaO)₃Al₂O₃) e C₄AF (Ferroaluminato tetracálcico (CaO)₄Al₂O₃Fe₂O₃) (MEHTA & MONTERIRO, 1994).

O mecanismo de hidratação do cimento ocorre mediante o processo de dissolução e precipitação. Primeiramente o grão anidro é dissolvido em meio aquoso, formando várias espécies químicas. Quando a dissolução atinge o nível de saturação, ocorre à combinação das espécies químicas dissolvidas com água, é os sólidos hidratados precipitam-se. O mecanismo de dissolução-precipitação termina quando não houve mais água suficiente na reação. Os pequenos núcleos dos produtos hidratados formados inicialmente vão crescendo, unindo-se uns aos outros e formando e formando um novo sólido contínuo (ISAIA, 2007).

As partículas sólidas que constituem o cimento Portland são compostas, principalmente, por silicatos e aluminatos anidros. Com a hidratação estes compostos formam cristais em torno dos grãos de cimento, que com o passar do tempo crescem em tamanho, aumentando a densidade, solidificando e dando resistência mecânica à pasta a microestrutura

da pasta, cheia de vazios, com o passar do tempo vai se tornando cada vez mais compacta (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

2.2.1 Hidratação dos silicatos

Os silicatos presentes no cimento Portland são solúveis em água. No entanto, a hidratação ocorre após o início da hidratação do cimento. A hidratação do C_2S e C_3S origina silicato de cálcio hidratado ($CaO-SiO_2-H_2O$), de estequiometria variável e são representados genericamente por C-S-H e hidróxido de cálcio $Ca(OH)_2$. Os hidróxidos de cálcio preenchem o espaço ocupado pela água e pelas partículas do cimento em dissolução. Os cristais formados de C-S-H- são pequenos e em forma de fibras, apresenta estrutura em camada, com arranjo irregular e alta superfície específica enquanto que os cristais formados pelo $Ca(OH)_2$ são grandes e em forma de prisma (MEHTA e MONTEIRO, 1994). Em uma pasta de cimento Portland completamente hidratada o C-S-H, composto responsável pela resistência da pasta a esforços mecânicos, representa 50 a 60 % do volume do sólido. O $Ca(OH)_2$ ocupa 20 a 25 % do volume de sólidos da pasta e são responsáveis pelo pH elevado da pasta ($pH \cong 13$). O hidróxido de sódio contribui pouco para a resistência da pasta de cimento endurecido em virtude de sua baixa superfície específica (MEHTA e MONTEIRO, 1994) (ISAIA, 2007).

2.2.2 Hidratação do aluminatos

Os aluminatos de cálcio reagem rapidamente com a água originando os aluminatos de cálcio hidratados. Devido à reação rápida com a água adiciona-se sulfato para retardar a reação o que resulta em um composto ($C_3A \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$) de nome etringita, esta possui forma aciculares e em monossulfatos hidratados com forma de placas delgadas (ISAIA, 2007). Após o início da hidratação os aluminatos atingem formação de agulha, esta é responsável pelo fenômeno de pega e desenvolvimento da resistência inicial. Dependendo da quantidade de alumina-sulfato do cimento Portland, a etringita ($C_6AS_3H_{32}$) pode tornar-se instável e decompor-se para formar o monossulfato hidratado mais estável. O processo de hidratação do C_4AF origina uma série de compostos e tem pouca influência na pasta endurecida e seus compostos resultantes são similares aos formados a partir de C_3A (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

2.3. Algaroba (*Prosopis juliflora*)

A Algaroba, também conhecida como Algarobeira, é uma árvore da família das leguminosas (*Leguminosae*, subfamília *Mimosoideae*) pertencente ao gênero *Prosopis*, do qual são conhecidas mais de 40 espécies, distribuídas em três continentes: América, Ásia e África. No continente americano estão às maiores concentrações dessas espécies, ocorrendo nas regiões ocidentais mais secas, desde o sudeste dos Estados Unidos até a Patagônia. Na América do Sul, são encontradas aproximadamente 70 % das espécies do gênero e, dessas, 93% são nativas da Argentina (Comunicado Técnico, 240 – EMBRAPA 2009).

As sementes de Algaroba oriundas de Piura, no Peru foram introduzidas no Brasil em 1942, em Serra Talhada, no estado de Pernambuco, e em 1946 e 1948 foram introduzidas com sementes do Sudão (Comunicado Técnico, 240 – EMBRAPA 2009). Na década de 60 o seu cultivo foi favorecido devido à implementação de uma série de ações governamentais voltadas para a expansão da cultura (GOMES & BARBOSA, 2008). No entanto, pesquisas revelam que a falta de manejo adequado tem causado sérios problemas ambientais. O cultivo desta árvore, durante as décadas de 40 e 60, foi uma alternativa economicamente viável, principalmente por causa da sua adaptação ao clima semiárido, possuía qualidade para a produção de madeira e lenha, forragem, além de produzir frutos com importante fonte de carboidratos e proteínas, principalmente para as regiões mais secas (FABRICANTE & SIQUEIRA FILHO, 2013; RIBASKI *et al.* 2009). A lenha apresenta-se como uma solução viável como matriz energética, devido a um bom rendimento gravimétrico de carbonização na ordem de 43% e geração de cinza de 1,6 % (Comunicado Técnico, 240 – EMBRAPA 2009).

As Caracterizações físico-químicas e microestruturais da cinza de Algaroba indicaram que é rica em óxido de cálcio e uma percentagem de carbono fixo. O óxido de cálcio possibilita uma manutenção da alcalinidade nos materiais cimentícios, favorecendo a termodinâmica e cinética das reações de hidratação do cimento Portland, bem como sua incorporação ao sistema não estaria agregando efeito degradante (NASCIMENTO, 2014).

2.4 Tijolos vazados de solo-cimento

2.4.1 Definição

Segundo a definição descrita na Norma NBR 8491 (2012), os tijolos de solo-cimento são componentes de alvenaria constituídos de uma mistura homogênea, compactada e endurecida de solo, cimento Portland, água e, eventualmente, aditivos e/ou pigmentos em

proporções que permitam atender aos requisitos da Norma NBR 8491 (2012), cuja altura seja menor que a largura.

Para os tijolos vazados de solo-cimento, a NBR 8491 (2012) exige que o volume total seja inferior a 85 % do volume total aparente e os furos tenham espessura mínima das paredes no seu entorno de 25 mm e a distância mínima entre os dois furos de 50 mm.

2.4.2 Produção dos tijolos de solo-cimento

Os tijolos de solo-cimento são produzidos por prensagem com a utilização de prensas manuais ou hidráulicas, porém a matéria-prima deve atender as exigências estabelecidas na NBR 11798 (2012). Segundo esta norma o solo pode ser proveniente de jazidas ou do próprio local devendo ser homogêneo e estar perfeitamente identificado com as amostras ensaiadas em laboratório. O solo deve se enquadrar preferencialmente nas classificações A1, A2 e A4, conforme a ASTM D 3282,

a) 100 % de material que passa na peneira com abertura de malha de 75 mm, de acordo com a ABNT NBR NM 3310-1;

b) máxima de 30% de material retido na peneira com abertura de malha de 4,75mm de acordo com a ABNT NBR NM 3310-1.

O cimento deve ser armazenado em local suficientemente protegido da ação das intempéries, da umidade e de outros agentes nocivos à sua qualidade. O cimento quando fornecido em sacos, deve ser mantido em sua embalagem original até a ocasião de seu emprego. Deve ser armazenado em pilhas que não excedam dez sacos, admitindo-se quinze sacos quando o tempo de armazenamento for de, no máximo, 15 dias.

A água deve atender aos requisitos estabelecidos na ABNT NBR 15900-1.

Na produção dos tijolos de solo-cimento há uma grande economia de energia, porém é utilizada uma expressiva quantidade de cimento. Diante disto, pesquisas estão sendo realizadas, utilizando uma variedade de resíduos que tenham propriedades aglomerantes, ou que tenha propriedades pozolânica, ou seja, capaz de melhorar a compacidade no solo prensado, possibilitando assim a substituição parcial do cimento.

2.4.3 Principais propriedades dos tijolos vazados de solo-cimento

De forma geral a estrutura atômica dos materiais é uma característica que determinar o tipo de materiais pela diferença de intensidade de cada ligação interatômicas. Esta estrutura pode ser rompida à medida que as forças internas de atração entre as partículas elementares dos materiais são quebradas. As propriedades de um material devem ser conhecidas a fim de que seja possível relacionar a deformação medida no material com a tensão associada a ela.

A produção de tijolos de solo-cimento com a substituição parcial do cimento por matérias-primas derivadas de resíduos que tenham características semelhantes ao cimento estão crescendo constantemente. No entanto, um dos grandes desafios é manter as propriedades dos tijolos dentro das normas, uma vez que a estabilidade dimensional, a resistência à compressão e a absorção de água norteiam a qualidade dos tijolos de solo-cimento.

As principais propriedades dos tijolos de solo-cimento que constituem os parâmetros de controle dos mesmos são a resistência à compressão, a precisão dimensional e o índice de absorção de água. Para os tijolos de solo-cimento as determinações dessas propriedades são realizadas mediante as exigências segundo a Norma ABNT NBR 8492 (2012).

Ferrari *et al.* (2014), afirmou que a substituição de cimento pela cinza do bagaço da cana-de-açúcar nas misturas de solo-cimento, a resistência à compressão dos tijolos sempre diminui. Porém, com a substituição parcial de 10 % de cimento pela cinza na mistura, a queda na resistência a compressão foi de 40 %. No entanto, a resistência dos tijolos manteve-se superior ao valor mínimo estabelecido pela norma, podendo dessa forma quando da substituição parcial de 10 % de cimento pela cinza na mistura, a queda na resistência dos tijolos aos 21 dias de idade foi da ordem de 40 % para todas as composições estudadas. Porém, entanto, a resistência dos tijolos manteve-se superior ao valor mínimo recomendado pela norma e os teores de absorção de água dos tijolos mantiveram-se abaixo do valor máximo de 20 %, recomendado pela norma; podendo dessa maneira, por considerações econômicas e ambientais, incorporar a cinza numa taxa não superior a 10 % para a fabricação de tijolos sem função estrutural.

Picchi *et al.* (1990) utilizaram solo latossólico e cal cálcica para a confecção de tijolos de solo-cal em prensa manual. Após a realização dos ensaios, os autores concluíram que a resistência à compressão do tijolo cresce com o teor de cal, mas apresenta um pico para o teor de 10 % de cal e para o tempo de cura ambiente de 28 dias, tendo este teor apresentado melhor comportamento frente à variação dimensional, absorção d'água, durabilidade e

resistência à compressão simples. Observaram, também, o comportamento dos tijolos com relação ao tipo de cura durante 91 dias e ressaltaram a importância da manutenção da umidade. Os valores de resistência dos tijolos de solo-cal, após cura de 28 dias em ambiente natural, atingiram 2 MPa, estando os teores de absorção d'água compreendidos entre 20,6 % e 25,6 %.

Villamizar et al. (2012) estudaram o efeito da adição de carvão de cinza e cascas de mandiocas nas propriedades dos blocos de terra comprimidas, amostras foram testadas quanto à flexão, compressão e absorção, a fim de observar o seu desempenho. Os resultados mostrados, por eles, indicaram que os testes de flexão de compressão revelam que o bloco de terra comprimido estabilizados com carvão de sódio produziu os melhores resultados utilizando uma dose menor ou igual a 5 %. No entanto, eles observaram que as doses maiores do que 5 % geram blocos de terra comprimido mais flexíveis e frágeis e a adição de cascas de mandioca para o solo argiloso aumenta o teor de água necessária para a extrusão (plasticidade aparente).

2.4.3.1 A resistência à compressão

A resistência é uma medida de forças externas aplicadas ao material, as quais são necessárias para vencer as forças internas entre as partículas elementares. A resistência de um material depende de sua capacidade de suportar uma carga sem deformação excessiva ou ruptura (ISAIA, 2007). A propriedade mecânica dos materiais é determinada através de métodos experimentais, como o ensaio de tração ou compressão. Para os tijolos de solo-cimento os ensaios à compressão simples são realizados segundo a referencia normativa ABNT NBR 8492: 2012, segundo esta norma, os valores individuais de resistência à compressão (f_t), expressa em megapascals (MPa), dos tijolos de solo-cimento são obtidos dividido a carga máxima (F) observada durante o ensaio, expressa em newtons (N), pela área da face de trabalho (S), expressa em milímetros quadrados (mm^2), a Equação 3.0 define matematicamente a resistência à compressão.

$$f_t = \frac{F}{S} \quad (3.0).$$

2.4.3.2 Índice de Absorção de água

O índice de absorção permite definir a quantidade de água que um material é capaz de absorver, representado na forma de percentagem. A absorção de água é uma propriedade importante, pois permite avaliar a hidratação do cimento. Uma baixa absorção de água pode prejudicar a aderência uma vez que, impede a penetração dos ligantes nos poros. Uma elevada absorção de água pode prejudicar a hidratação do cimento e consequentemente provocar fissuras por retração. Segundo a Norma ABNT NBR 8492/2012 os cálculos para os ensaios de absorção de água são obtidos pela Equação 4.0, em que A é a absorção de água expressa em percentagem (%); m_1 é a massa do copo de prova seco em estufa, expressa em gramas(g) e m_2 é a massa do corpo de prova saturado, expressa em gramas(g).

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (4.0)$$

3 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Este capítulo aborda o procedimento para coleta e armazenamento das matérias-primas utilizadas nos ensaios padrão de solo-cimento; as técnicas utilizadas na caracterização das mesmas; metodologia empregada para realização dos ensaios padrão do solo-cimento, bem como os ensaios de resistência à compressão simples e taxa de absorção de água por imersão dos blocos de solo – cimento.

3.1 Coleta e caracterização das matérias-primas

3.1.1 Coleta das matérias-primas

O solo utilizado para a fabricação dos tijolos de solo-cimento foi o mesmo utilizado para o Projeto Casa dos Sonhos do município de Santa Rita do Estado da Paraíba, Brasil. A Figura 6 indica o mapa com indicação geográfica que fica a uma distância aproximadamente de 13 Km da UFPB (Universidade Federal da Paraíba).

Figura 7 - Mapa geológico simplificado do Município de Santa Rita-PE, com indicação do local da coleta do solo e UFPB.



Fonte: Do Autor (2016)

O solo foi retirado do local de armazenamento, Figura 7 o qual se encontrava peneirado, porém antes de ser utilizado na mistura para preparação dos tijolos, o mesmo passou por um novo processo de peneiramento a fim de retirar alguns materiais indesejados, como por exemplo, folhas que caíam no local de armazenamento. O cimento Portland utilizado foi o CP II-Z-32, o mesmo é bastante utilizado na região e é encontrado com facilidade.

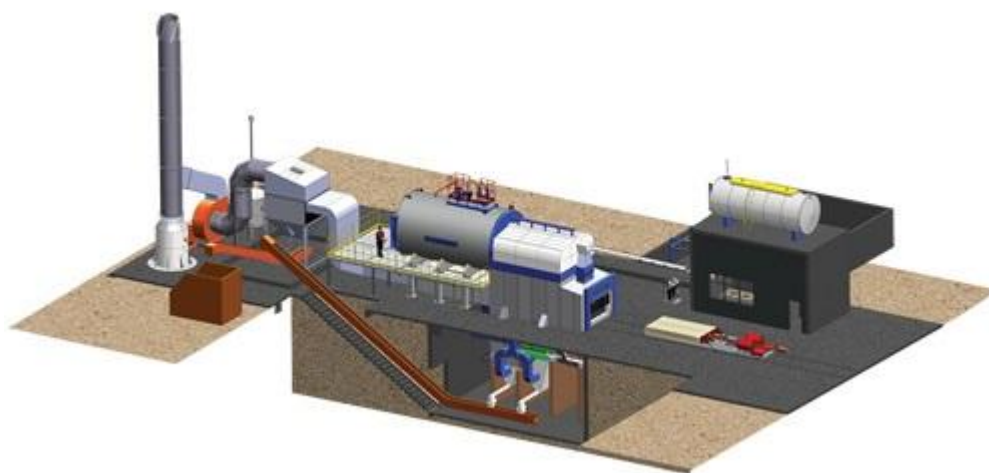
Figura 8 - Solo do Município de Santa Rita-PB



Fonte: Do Autor (2016)

A cinza da lenha de Algaroba foi fornecida pela empresa Notaro Alimentos LTDA – Belo Jardim – PE. A Figura 8 ilustra um esquema semelhante à caldeira utilizada na empresa.

Figura 8 - Esquema da Caldeira de Vapor Saturado Horizontal a Biomassa.



Fonte: arauterm.com.br

A cinza da lenha de Algaroba encontrava-se no local de armazenamento, da própria indústria, a espera da coleta para o descarte, ela foi coletada em sacos e transportada, Figura 9, até o local de preparo da massa.

Figura 9 -Transporte da cinza de Algaroba



Fonte: Do Autor (2016)

A Figura 10 mostra a cinza preparada para caracterização e preparo da mistura para produção dos tijolos de solo-cimento. A mesma não passou por nenhum tratamento para ser utilizada, visto apresentar características muito fina e não possuía materiais contaminantes, como por exemplo, resto de lenha que não foram queimadas completamente. A água utilizada para a preparação dos tijolos foi fornecida pelo sistema de abastecimento de água da UFPB (Universidade Federal da Paraíba).

Figura 100 - Cinza de Algaroba após coleta



Fonte: Do Autor (2010)

3.1.2 Caracterização das matérias-primas

3.1.2.1 Fluorescência de Raios-X

A técnica de fluorescência de raios X foi utilizada para determinar a análise química das amostras de Solo e da Cinza de Algaroba. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Ensaios de Materiais, localizado no Centro de Tecnologias do Gás e Energias Renováveis-CTGAS-ER. Os espectros de fluorescência de Raios-X foram obtidos utilizando o equipamento EDX-720 da marca Shimadzu. Por limitação do método, somente elementos entre Na (11) e U (92) foram analisados. Para a avaliação da perda ao fogo, o material, após seco em estufa por 24 h em temperatura de 110 °C, foi aquecido até 1000 °C por 60 minutos.

3.1.2.2 Difração de Raios-X

A caracterização via difração de Raios-X das amostras foram realizadas no Laboratório de difração de Raios-X, localizado no segundo andar do NUPPRAR na Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Os difratogramas de raios X foram obtidos em um difratômetro Shimadzu modelo XRD 7000 utilizando radiação Cu α (1,542 Å). A varredura angular de 2θ foi realizada nas regiões de 20 a 80 ° e 25 a 35 ° com velocidades de varredura correspondentes a 1,20 °/min-1 e de 0,4 °/min-1, respectivamente. Antes das análises apenas a amostra do solo foi peneirada, Figura 11, em uma peneira de 200 mesh e secas em estufa a 110 °C. Como a amostra de cinza era muito fina não foi necessário passar pelo processo de peneiramento. A Figura 12 mostra as amostras de cinza de Algaroba e do solo do Município de Santa Rita.

Figura 11 - Peneiramento da amostra de solo



Fonte: Do Autor (2016)

Figura 12 - Amostra de cinza de Algaroba e do solo



Fonte: Do Autor (2016)

3.1.2.3 Análise térmica

As análises térmicas (TGA e DTA) realizadas no Laboratório de Ensaaios de Materiais, localizado no Centro de Tecnologias do Gás e Energias Renováveis-CTGAS-ER. O equipamento utilizado foi SDT-Q600 de marca TA Instruments. Aproximadamente 11 mg de cada amostra foram conduzidas a um cadinho de platina e mantidas sob atmosfera de ar com vazão de 100 ml/min, a uma faixa de temperatura de 30 °C a 1000 °C com taxa de aquecimento de 20 °C/min.

3.1.2.4 Distribuição do tamanho das partículas

A distribuição do tamanho das partículas realizada na UFRN no Laboratório de Materiais Cerâmicos e Metais Especiais (UFRN-LMCME). As medidas de distribuição dos tamanhos das partículas foram realizadas através da análise de granulometria a laser utilizando um equipamento de difração de laser marca CILAS 920 com líquido condutor e faixa de leitura variando 0.30 a 400 μm . Como o solo aglomera-se facilmente e isto dificulta a análise pelo equipamento, foi necessário utilizar um tenso ativo como gente dispersante para

evitar a aglomeração e assim dispersar as partículas do solo. O agente dispersante utilizado foi detergente.

3.2 Fabricação dos tijolos

A produção dos tijolos de solo-cimento e solo-cimento-cinza da lenha de Algaroba foi seguindo a formulação do Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas – Labeme, localizado na Universidade Federal da Paraíba. Os tijolos de solo-cimento foram fabricados conforme os requisitos de fabricação estabelecidos pela NBR 10833 (2012).

Antes de iniciar o processo de mistura o solo foi peneirado, como mostra a Figura 13. Após o processo de peneiramento misturou-se o solo, manualmente, com cimento ou com a cinza + cimento sem adição de água. A Figura 14 etapa de mistura seca.

Figura 13 - Peneiramento do solo



Fonte: Do Autor (2016)

Figura 14 – Mistura seca



Fonte: Do Autor (2016)

Em seguida a água foi adicionada gradativamente, Figura 15. O procedimento de mistura foi realizado manualmente, como mostra a Figura 16, até obter uma mistura homogênea, ou seja, o ponto ótimo de umidade, Figura 17.

Figura 15 - Adição gradativa da água



Fonte: Do Autor (2016)

Figura 166- Mistura úmida



Fonte: Do Autor (2016)

Figura 17 - Ponto ótimo de umidade



Fonte: Do Autor (2016)

Após o procedimento de preparo da mistura, a mesma foi transportada utilizando o recipiente, Figura 18, para caixa de alimentação da prensa hidráulica da Eco Máquinas, Linha

Eco Brava, que tem capacidade de compactação de até 6 toneladas, e realizada as prensagens em aproximadamente três segundos, como ilustra a Figura 19.

Figura 17 - Mistura úmida para o abastecimento da prensa



Fonte: Do Autor (2016)

Figura 18 - Prensagens em aproximadamente três segundos



Fonte: Do Autor (2016)

A Tabela 1 mostra o volume dos traços e a quantidade de tijolos que foram moldadas. Para cada traço foram moldados 20 corpos de prova obtendo uma somatória de 100 tijolos. As amostras estão identificadas como TVSC (Tijolos Vazados de Solo-Cimento), TVSCCLA 10 (Tijolos Vazados de Solo-Cimento-Cinza da Lenha de Algaroba Otimizado com 50% de Cinza e 10% a menos de cimento), TVSCCLA 30 (Tijolos Vazados de Solo-Cimento-Cinza da Lenha de Algaroba com 30% de Cinza), TVSCCLA 40 (Tijolos Vazados de Solo-Cimento-Cinza da Lenha de Algaroba com 40% de Cinza), TVSCCLA 50 (Tijolos Vazados de Solo-Cimento-Cinza da Lenha de Algaroba com 50% de Cinza).

Tabela 1 - Produção dos tijolos

Amostra	Traço em Volume	Quantidade moldada
TVSC	1: 10	20
TVSCCLA 10	0,9: 0,5: 10	20
TVSCCLA 30	0,7: 0,3: 10	20
TVSCCLA 40	0,6: 0,4: 10	20
TVSCCLA 50	0,5: 0,5: 10	20
Total		100

Fonte: Do Autor (2015)

Após a prensagem, os tijolos foram conduzidos à câmara úmida, Figura 20 para o processo de cura durante o período de 3 dias. Após o tempo de cura, os mesmos foram retirados da câmara úmida e armazenados em galpão aberto do LABEME-UFPB por 4 dias, Figura 21, à espera do momento de serem submetidos aos ensaios de análise dimensional, resistência à compressão simples e de absorção de água. Os procedimentos foram realizados no Laboratório de Ensaios de Materiais e Estruturas (LABEME)- Localizado na Universidade Federal da Paraíba.

Figura 19 - Câmara Úmida



Fonte: Do Autor (2016)

Figura 201 - Empilhamento dos tijolos



Fonte: Do Autor (2016)

3.3 Análise dimensional, determinação da absorção de água e da resistência à compressão

Os ensaios para estes procedimentos foram realizados seguindo o procedimento descrito pela NBR 8492:2012.

Para execução destes ensaios foram retirados 10 tijolos, de cada traço, os quais foram marcados de maneira a ser identificado facilmente. Primeiramente, as amostras foram submetidas ao ensaio de análise dimensional e em seguida, 7 tijolos submetidos aos ensaios de compressão simples e 3 tijolos aos ensaios de absorção de água. O total de tijolos rompidos foram trinta e cinco e para absorção de água foram um total de quinze tijolos.

3.3.1 Análise dimensional

A análise dimensional dos tijolos foi realizada utilizando um paquímetro. Para cada dimensão do corpo de prova foi executado três determinações em pontos distintos de cada face, realizando-se uma determinação em cada extremidade e uma no meio do corpo de prova, com exatidão de 0,5 mm. A Figura 22 ilustra o procedimento das medidas das faces dos tijolos.

Figura 212 – Dimensões das faces dos tijolos



Fonte: Do Autor (2016)

3.3.2 Ensaio à compressão simples

De cada traço preparou-se sete corpos de prova da seguinte maneira:

Os tijolos foram cortados ao meio, perpendicularmente à sua maior dimensão, como ilustra a Figura 23.

Figura 223 - Corte dos tijolos



Fonte: Do Autor (2016)

Os tijolos cortados foram superpostos, por suas faces maiores, as duas metades obtidas com as superfícies cortadas invertidas, foram ligados com uma camada fina de pasta de cimento Portland pré-contraída, mantida em repouso por 30 min, com variação entre 2 mm a 3 mm de espessura, e aguardou o endurecimento da pasta (24 h). A Figura 234 ilustra a etapa do capeamento.

Figura 234 - Capeamento dos tijolos



Fonte: Do Autor (2016)

Após o endurecimento os tijolos foram imersos em água por 6 horas. Após este tempo os mesmos retirou-se da água e enxutos superficialmente com um pano levemente umedecido. Os tijolos enxutos foram colocados diretamente sobre o prato inferior da maquina de ensaios à compressão (Figura 245), de maneira a ficar centrado em relação a este. Foram rompidos com aplicação gradativa de carga à razão de 500 N/s. Esta operação foi realizada em aproximadamente 3 min.

Figura 24 - Ensaio à compressão

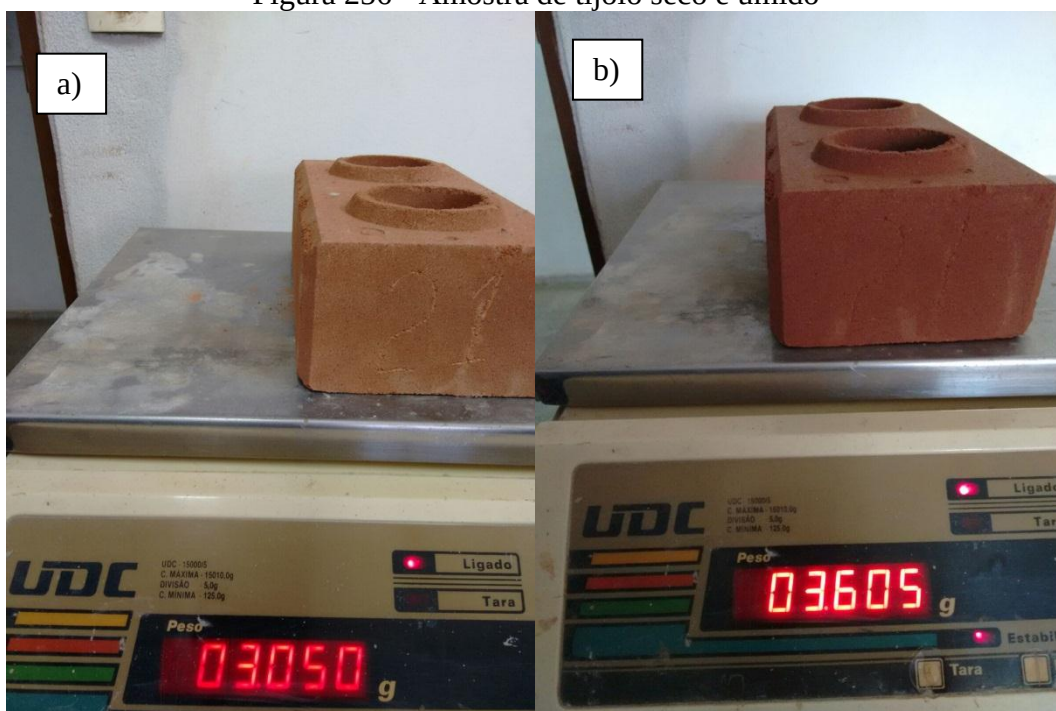


Fonte: Do Autor (2016)

3.3.3 Ensaio absorção de água

Os três tijolos restantes de cada traço foram utilizados para o ensaio de absorção de água. O procedimento iniciou-se com o processo de secagem dos tijolos em estufa a 110 °C por 24 horas, em seguida foram pesados e obtido a massa m_1 , em grama, dos tijolos secos. Estes foram imersos em um tanque durante 24 horas. A Figura 256: (a) ilustra um tijolo seco e (b) depois de imersos em água.

Figura 256 - Amostra de tijolo seco e úmido



Fonte: Do Autor (2016)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização química, microestrutural e termoanalíticos (TG/GTG e DTA) da cinza de Algaroba

Os resultados da análise química semiquantitativa da cinza de Algaroba (*Prosopis Juliflora*) realizados por Fluorescência de Raio-X estão expostos na Tabela 2.

Tabela 2- Composição química da cinza de Algaroba coletada em Belo Jardim

Amostra de cinza de Algaroba	
Óxidos	(%)
CaO	65,27
MgO	4,49
K ₂ O	3,98
SO ₃	2,84
SiO ₂	1,93
SrO	0,57
Fe ₂ O ₃	0,54
MnO	0,07
CuO	0,02
P.F.	18,37

Fonte: Do Autor (2016)

A composição química da cinza de Algaroba indica que a mesma não possui propriedade pozolânica, uma vez que a somatória do teor de SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ foi inferior a 50%; SO₃ inferior a 5% e perda ao fogo superior a 10%, estes resultados descaracterizam quimicamente a cinza como pozolânica (NBR 12653/2012). No entanto, elevado teor de cálcio pode indicar a presença de carbonato de cálcio, hidróxido de cálcio ou óxido de cálcio, cujas partículas finas podem proporcionar um melhor empacotamento dos materiais granulares.

Fazendo um comparativo com os resultados de composição química da cinza de Algaroba utilizada em trabalhos realizados por (LELOUP, 2013) e (NASCIMENTO, 2014), observou-se que a cinza utilizada por eles, Tabela 3, houve uma diferença de óxidos presentes na composição da cinza, ou seja, não há presença de óxido de magnésio o que pode ter

influenciado no maior teor de CaO. A presença do MgO pode ser devido a origem da matéria-prima, a mesma pode sofrer modificação na composição originando cinza com teores diferentes, a diferença na composição das cinzas também pode estar relacionada com as condições de queima da madeira na caldeira, uma vez que a caldeira utilizada na indústria Notaro Alimentos LTDA proporciona uma queima uniforme e completa da lenha da madeira.

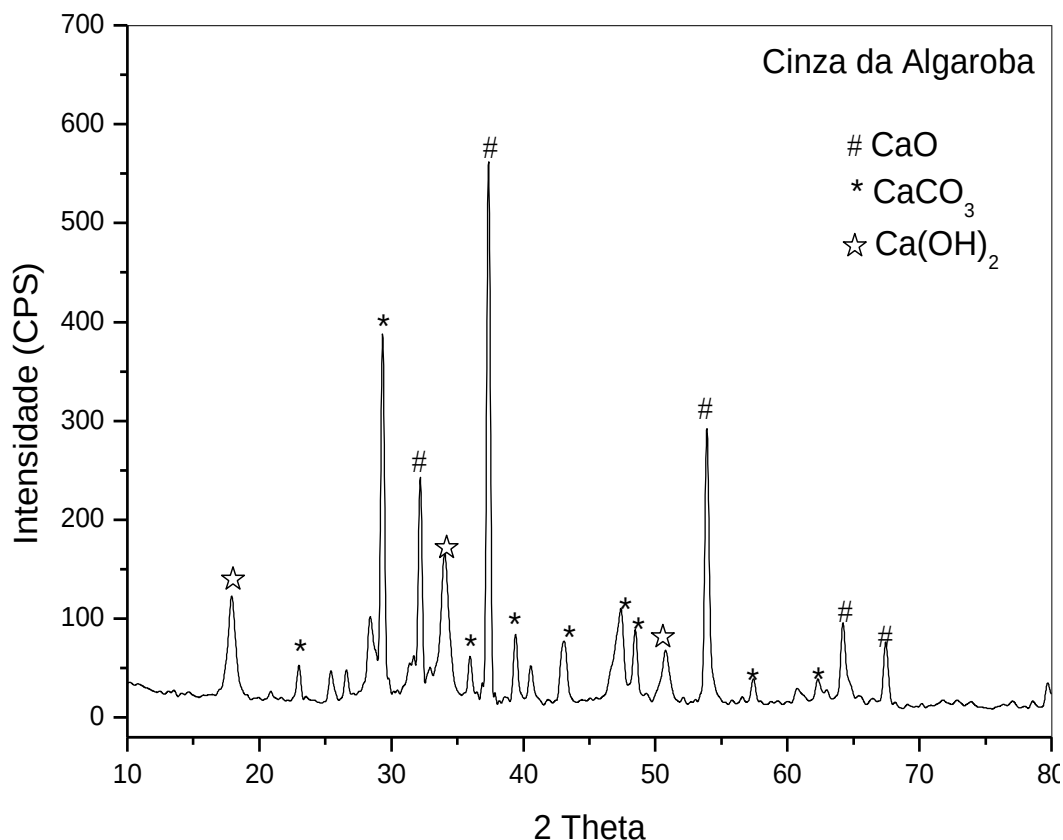
Tabela 3 - Composição da Cinza de Algaroba

Óxidos	(%)
CaO	77,85
K ₂ O	13,81
SiO ₂	4,09
Fe ₂ O ₃	2,14
MnO	1,12
Sc ₂ O ₃	0,27
MnO	0,12
CuO	0,03

Fonte: (LELOUP, 2013; NASCIMENTO, 2014),

O Difratoograma de Raios-X da amostra da cinza de Algaroba pode ser visto na Figura 267.

Figura 26- Difratoograma de Raios-X da cinza de Algaroba.

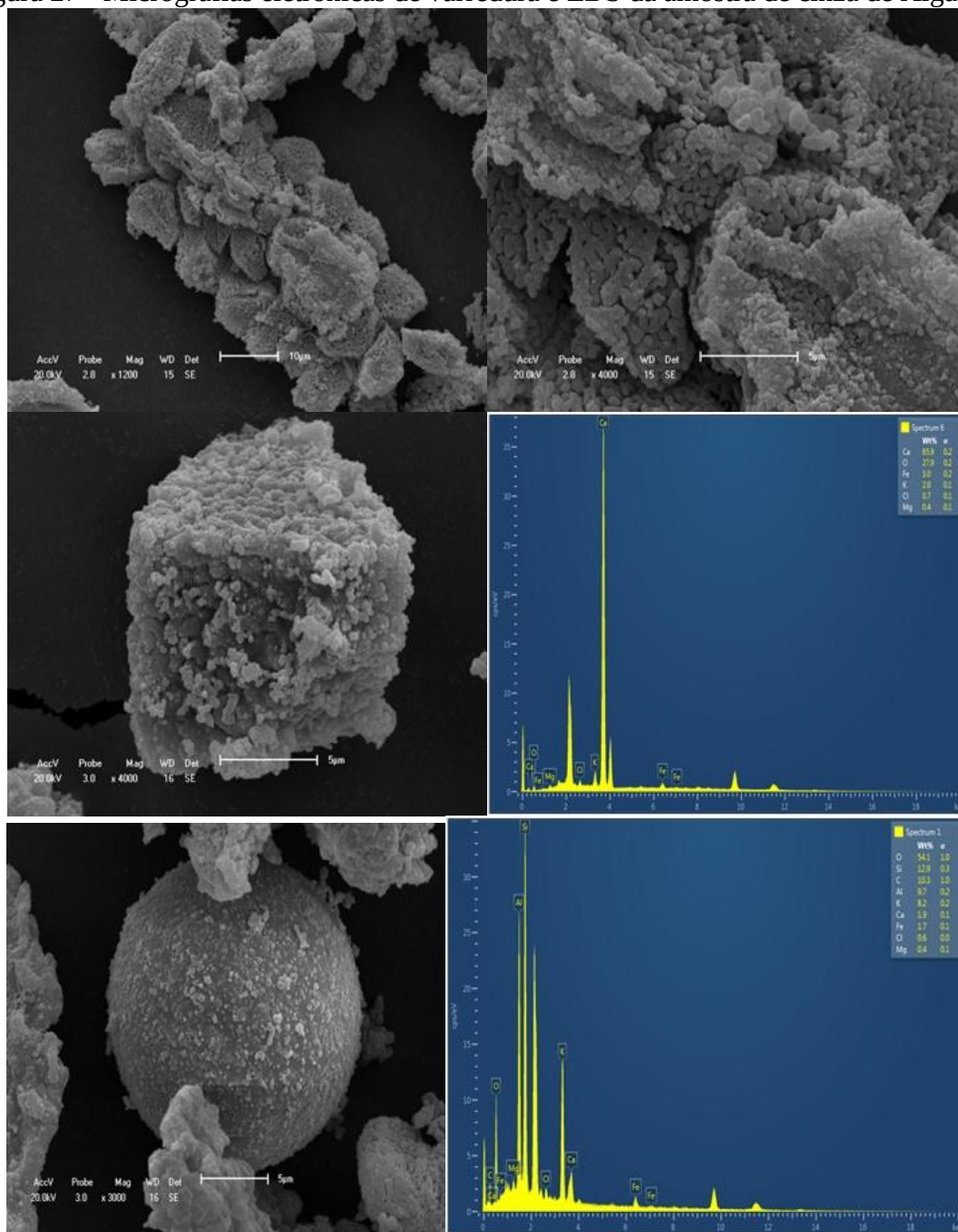


Fonte: Do Autor (2016)

Utilizando-se os resultados do DRX é possível identificar as fases cristalinas e compara com os padrões Joint Committee on Power Diffraction Standards (JCPDS). Os picos referentes à calcita (CaCO_3), Hidróxido de Cálcio (Ca(OH)_2) e óxido de cálcio (CaO) estão em concordância com padrões, cuja carta pode ser identificada com o código (PDF – 01-084-1271) para o fase Ca(OH)_2 ; o código (PDF – 01-072-1937) para fase CaCO_3 e o código (PDF-84-1271) para a fase CaO . Os resultados dos difratogramas da cinza de Algaroba, estão em concordância com os resultados do FRX, indicados na Tabela 1.

A Figura 27 ilustra as imagens da microscopia eletrônica de varredura (MEV) e Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS) da amostra de cinza de Algaroba. . Observa-se que a morfologia da cinza de Algaroba possui estrutura arredondada com aglomerados e grãos na faixa de 1-1000 μm . Os espectro de EDS indentificam a presença Ca, Fe, Si, Al, Cl, Mg, C, Fe e K, estes resultados estão em concordância com o resultado do DRX. Em anexo estão os mapas e as composições químicas pontuais gerados durante a análise do MEV e EDS para uma melhor visualização.

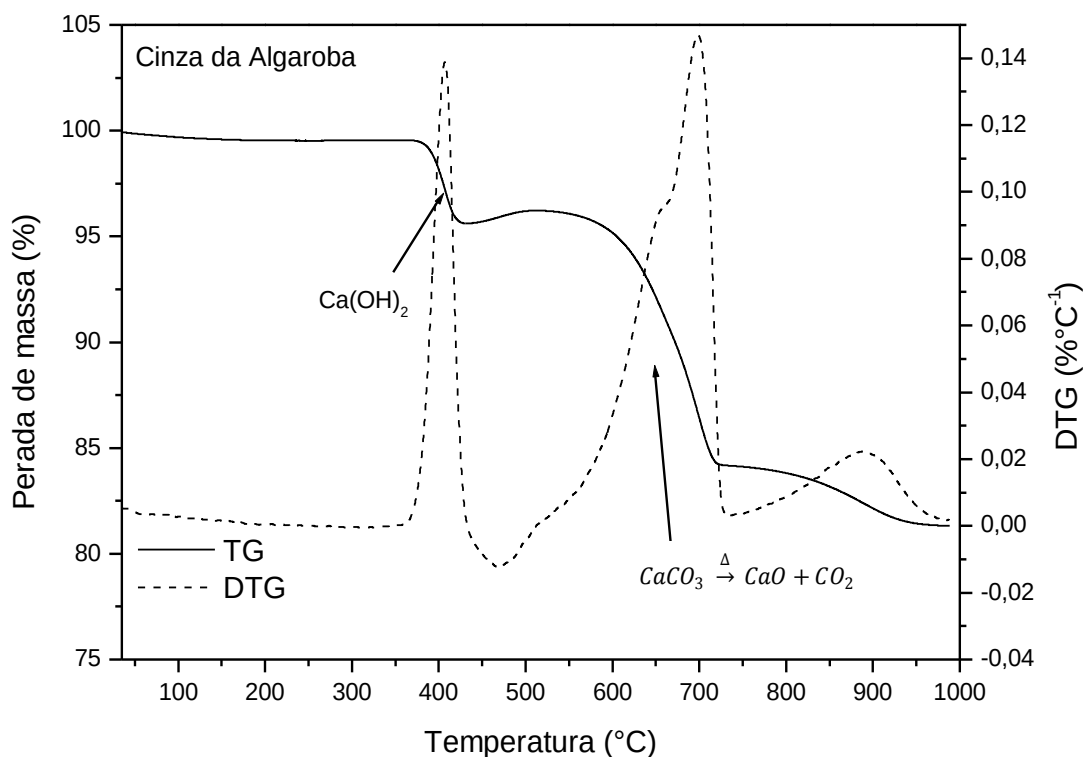
Figura 27 - Micrografias eletrônicas de varredura e EDS da amostra de cinza de Algaroba



Fonte: Do Autor (2016)

A Figura 28 ilustra os resultados das análises de termogravimetria e termogravimetria derivada (TG, DTG) da cinza de Algaroba. Podem ser identificados três eventos de perda de massa nas curvas da TG e DTG.

Figura 28 - Curvas de TG e DTG da cinza de Algaroba



Fonte: Do Autor (2016)

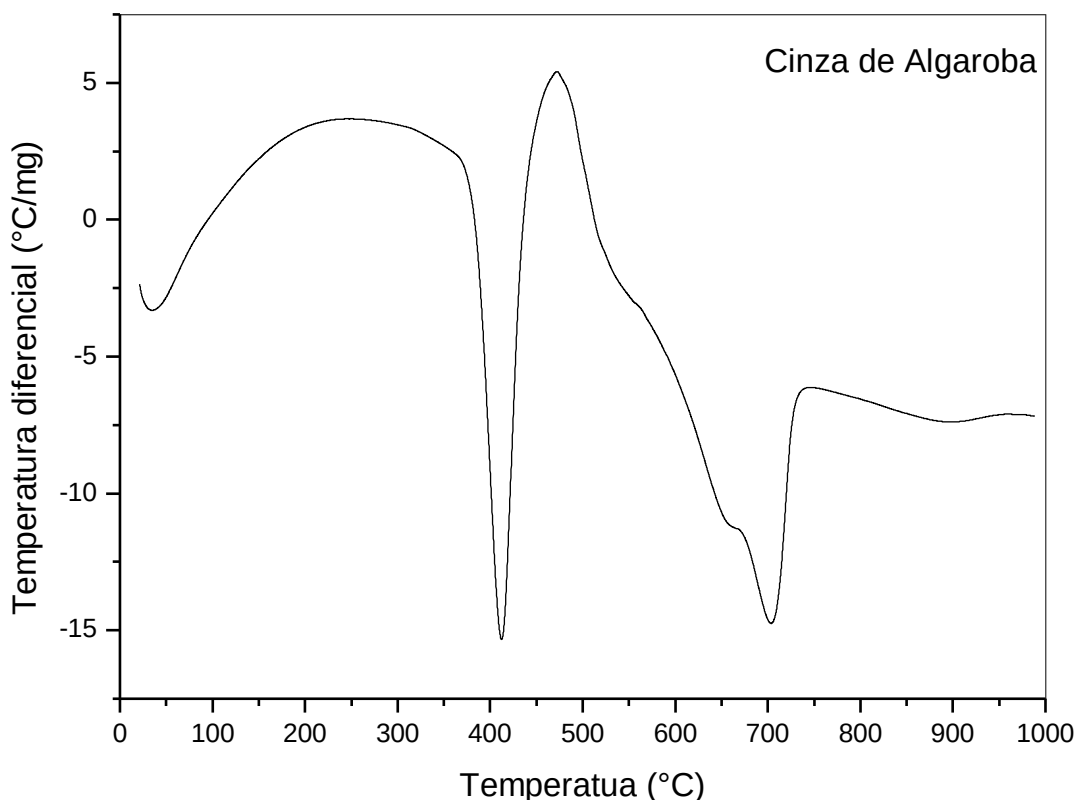
O primeiro evento ocorre na faixa de temperatura de 350–450 °C e a percentagem de perda de massa nesta faixa de temperatura foi de 3,686 % que corresponde a 0,4115 mg da amostra. Esta percentagem pode ser atribuída à perda de massa referente ao hidróxido de cálcio presente na amostra, uma vez que nesta faixa de temperatura ocorre a liberação da água estrutural resultante dos hidroxilos (OH) da rede (IONASHIRO, 2004).

O segundo evento ocorre na faixa de temperatura de 450–710 °C e a percentagem de perda de massa neste evento foi de 11,70% que corresponde a 1,306 mg; nesta etapa tem-se a decomposição do carbonato de cálcio (IONASHIRO, 2004).

O terceiro evento ocorre na faixa de temperatura de 890 – 1000°C com perda de massa de 2,856 % o que corresponde a 0,8188mg, nesta faixa pode estar ocorrendo a decomposição de outra substância com reorganização dos átomos na rede estrutural da cinza, e formação de outro componente.

A Figura 29 ilustra os resultados da Análise Térmica Diferencial (DTA). É possível observar 3 picos endotérmicos.

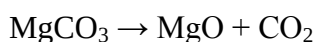
Figura 29 - Análise Térmica Diferencial (DTA) da cinza de Algaroba



Fonte: Do Autor (2016)

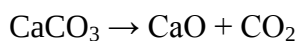
O primeiro pico endotérmico ocorre a uma temperatura de 37,03°C; este pico refere-se ao desvio da linha de base e está relacionado ao cadinho de referência e a estabilização do procedimento.

O segundo pico endotérmico ocorre à temperatura máxima de 412,44°C; esta temperatura corresponde ao instante no qual a velocidade de absorção de calor por parte da amostra se iguala à velocidade do fluxo térmico diferencial na amostra e pode estar relacionado à reação de decomposição do carbonato de magnésio (MgCO_3), Reação 5.1, uma vez que os resultados do FRX evidenciaram a presença de óxido de magnésio (MgO).



Reação (5.1)

O terceiro pico endotérmico ocorre à temperatura máxima de 702,58°C. É provável que a esta temperatura ocorra decomposição do carbonato de cálcio (CaCO_3), Reação 5.2, uma vez que os resultados da análise do DRX mostram a presença de óxido de cálcio (CaO).

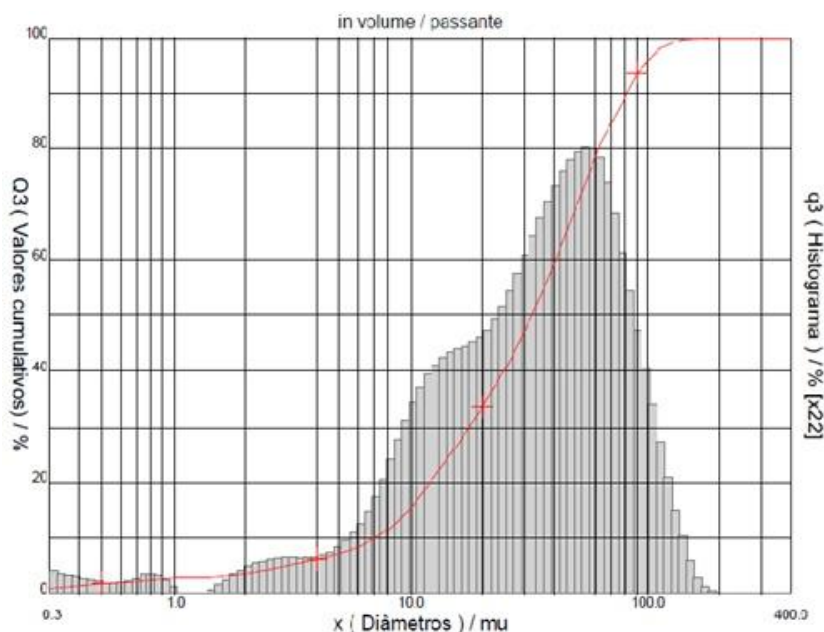


Reação (5.2)

Os resultados de DTA estão em concordância com os resultados da análise térmica TG e DTG. Observa-se eventos semelhantes de decomposição do CaCO_3 nestas duas análises.

A Figura 30 ilustra o resultado da análise de granulometria a laser da cinza de Algaroba. Estas curvas representam os diâmetros das suas partículas em função da porcentagem acumulada passante. Os resultados destas curvas indicaram que o diâmetro médio da cinza de Algaroba foi de $39,03\mu\text{m}$.

Figura 30 - Curva de granulometria da cinza de Algaroba



Fonte: Do Autor (2016)

Observando os resultados dos diâmetros é um indicativo de que a cinza da Algaroba pode ser misturada ao solo a fim de obter uma estabilização granulométrica do solo a partir do contato grão a grão. A análise granulométrica reforça a possibilidade de usar a cinzas em substituição ao cimento ou como material de enchimento (filler); como filler é possível intensificar a hidratação do cimento agindo como ponto de nucleação, uma vez que o CaCO_3 é parcialmente incorporado à fase C-S-H (ISAIAS,2007).

4.2. Caracterização química, microestrutural e termoanalíticos (TG/GTG e DTA) do solo

A composição química do solo coletado no Município de Santa Rita está indicada na Tabela 4. Os resultados da composição química do solo mostraram que os teores de dióxido de silício (SiO_2), óxido de alumínio, (Al_2O_3) foram predominantes e os teores de (Fe_2O_3), (K_2O), (SO_3), (TiO_2) e MnO foram em pequenas proporções. Estes teores indicam que o solo pode ser usado como matéria-prima para produção de solo-cimento.

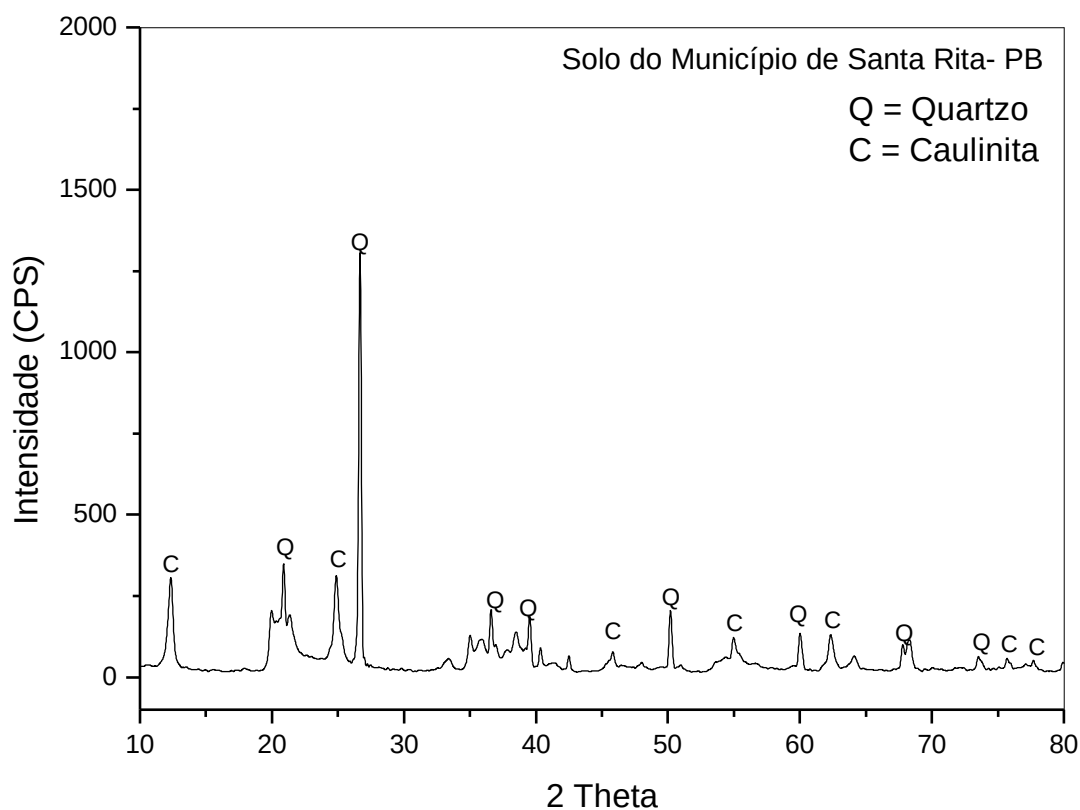
Tabela 4 - Resultado da análise química semiquantitativa das amostras do Solo do Município de Santa Rita - PB

Óxidos	(%)
SiO_2	44,16
Al_2O_3	43,79
Fe_2O_3	5,15
TiO_2	1,37
K_2O	0,18
SO_3	0,12
CaO	0,04
ZrO_2	0,04
Cr_2O_3	0,02
MnO	0,02
P.F.	5,11

Fonte: Do Autor (2016)

O Difractograma de Raios-X da amostra do solo pode ser visto na Figura 31. Observa-se a presença de quartzo (SiO_2) e caulinita ($\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$). Estes resultados foram obtidos com a identificação das fases cristalinas quando comparadas com os padrões Joint Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS). Os picos referentes ao quartzo e a caulinita estão em concordância com os picos padrões, cuja carta pode ser identificada com código (PDF – 01-083-0539) referente ao quartzo e o código (PDF – 00-001-0527) referente à caulinita.

Figura 31 - O Difratoqram de Raios-X da amostra do solo do Município de Santa Rita –PB

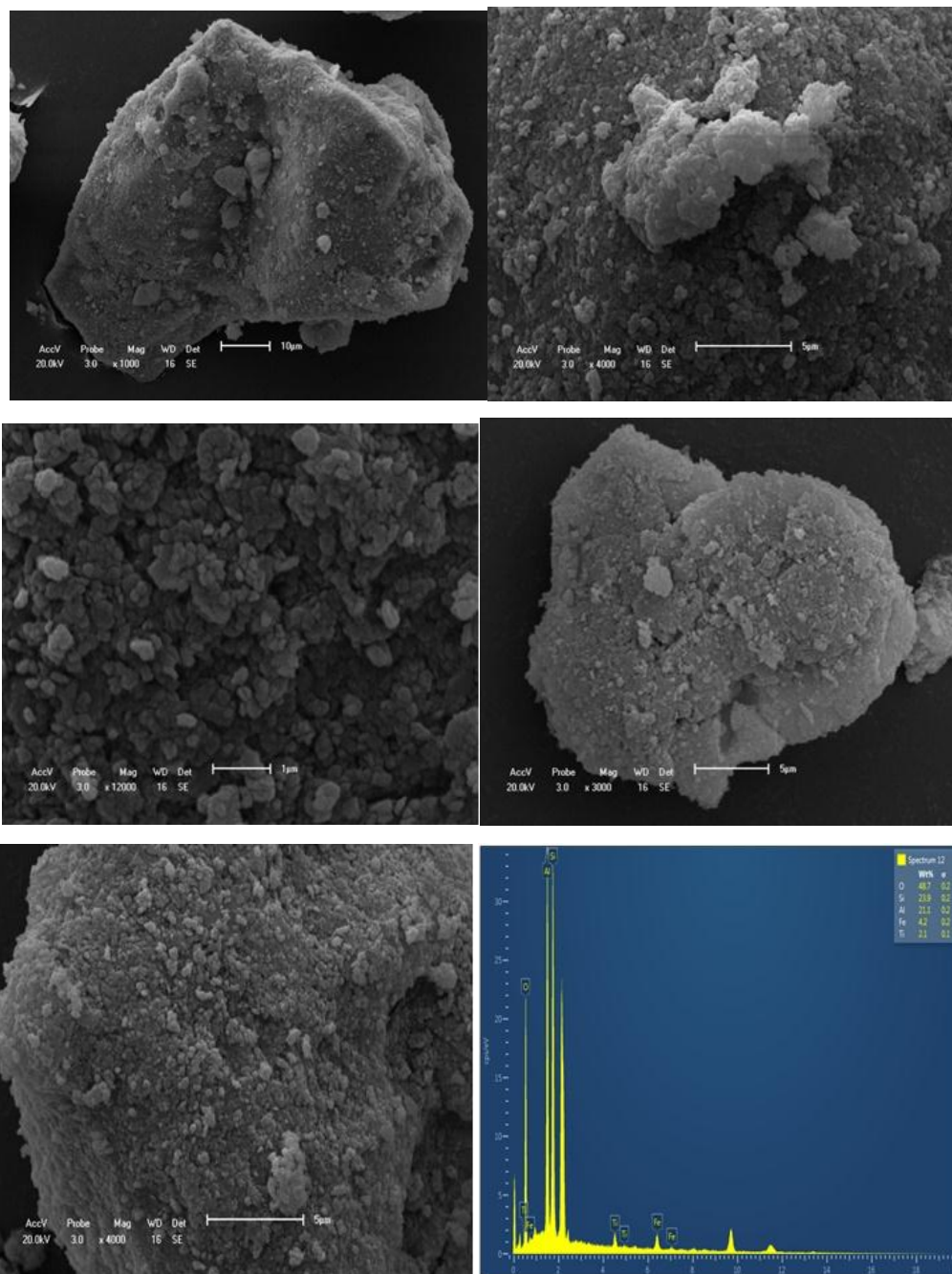


Fonte: Do Autor (2016)

A fim de analisar a morfologia em termos microestruturais das amostras de solo realizou-se análise de microscopia eletrônica de varredura em conjunto com o EDS. O MEV acoplado ao EDS permite identificar os constituintes químicos da amostra.

Pode-se observar na Figura 32 que a morfologia do solo possui agregados arredondados na faixa de 1-10 μm . A análise do EDS que determinou a presença Si, Al, Fe e Ti como caracterização química pontual das amostras. Estes resultados estão em concordância com os resultados do EDS e DRX. Em anexo estão os mapas e as composições químicas pontuais gerados durante a análise do MEV e EDS para uma melhor visualização.

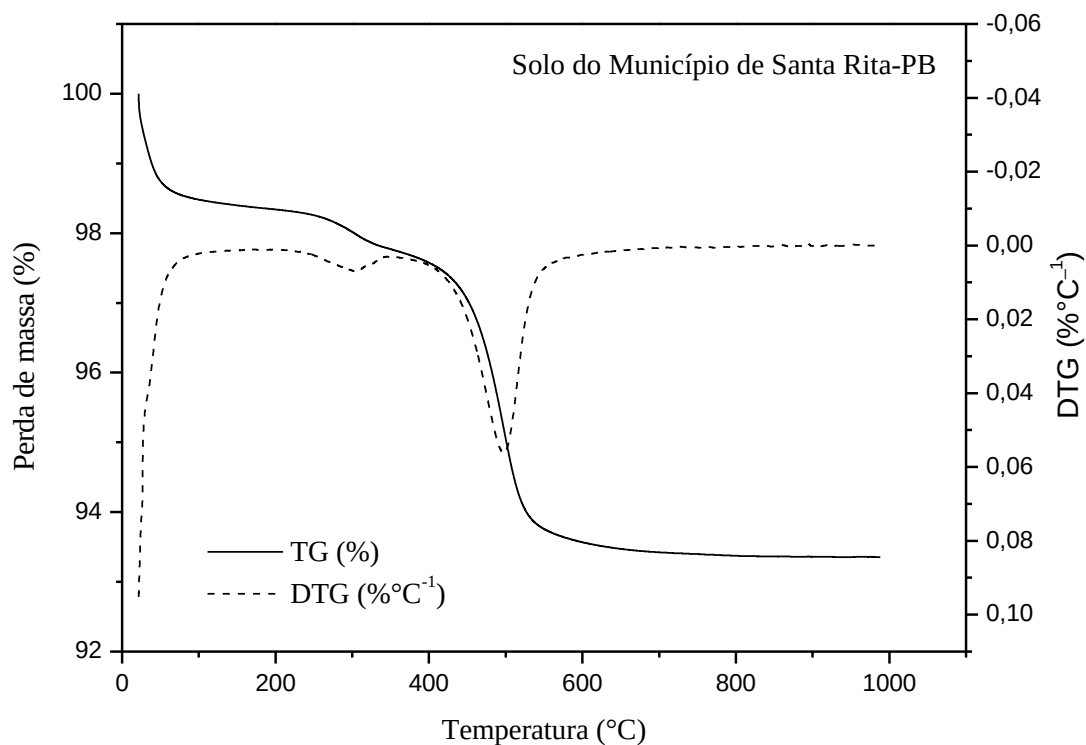
Figura 32 - Micrografias eletrônicas de varredura e EDS da amostra do solo



Fonte: Do Autor (2016)

A Figura 33 mostra a TG e DTG do solo do município de Santa Rita-PB. Na TG é possível observar uma pequena perda de massa de 1,499 % correspondente a 0,3003 mg em aproximadamente 100 °C; esta perda está relacionada à água adsorvida no solo. Na DTG é possível observar claramente dois eventos de perda de massa.

Figura 33 - TG e DTG do solo do Município de Santa Rita-PB

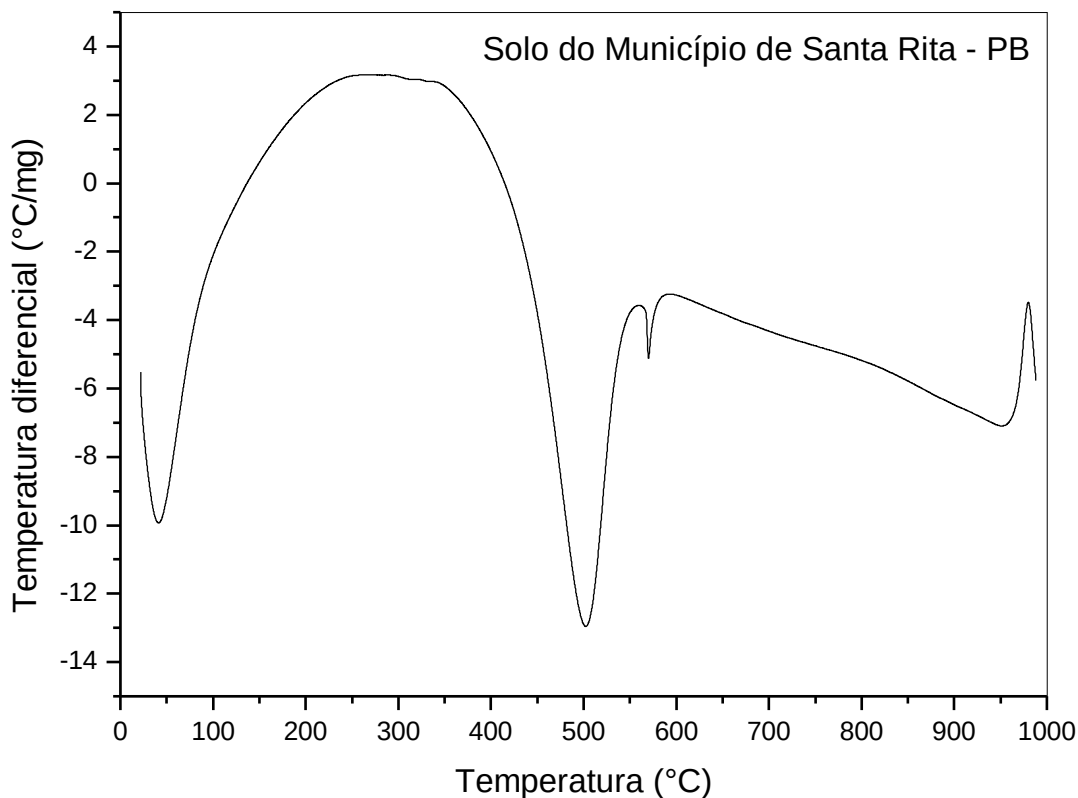


Fonte: Do Autor (2016)

No primeiro evento, em aproximadamente 300 °C, observa-se uma perda de massa de 0,5911 % que corresponde a 0,1148 mg; esta perda de massa está associada com a decomposição dos hidróxidos de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ e $\text{Al}(\text{OH})_3$ (IONASHIRO, 2004), uma vez que o resultado do FRX indicou a presença de Fe_2O_3 e Al_2O_3 . O segundo evento ocorre na faixa de 320 a 550 °C, com perda de massa de 4,202 %, o que corresponde a 0,8416 mg; esta perda de massa corresponde à perda de água constitucional, ou seja, a quantidade de água estrutural da caulinita.

A Figura 34 ilustra os resultados da Análise Termica Diferencial (DTA). É possível observar 3 picos endotermicos.

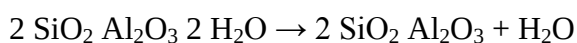
Figura 34 - Análise Termica Diferencial (DTA)do solo do município de Santa Rita - PB



Fonte: Do Autor (2016)

O primeiro pico endotérmico ocorre a uma temperatura de 41,53 °C; este pico refere-se ao desvio da linha de base e está relacionado ao cadinho de referência e a estabilização do procedimento. O segundo pico endotérmico que surge à temperatura máxima de 500,57 °C é devido à quebra da estrutura caulinita (IONASHIRO, 2004), com liberação da água estrutural resultante dos hidróxidos (OH) da rede.

O terceiro pico endotérmico surge em 570,14 °C. É possível que haja a formação de uma nova fase cristalina, metacaulinita, uma vez que esta fase surge com o tratamento térmico da caulinita na faixa de 550-600 °C. A Reação 5.3, mostra a formação da metacaulinita (IONASHIRO, 2004).



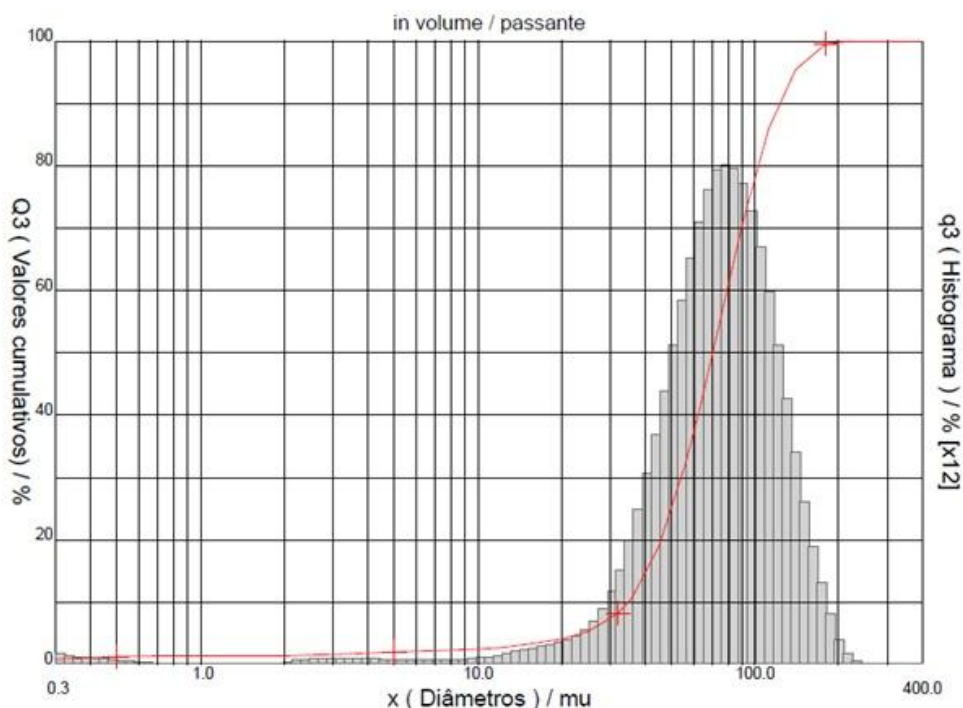
Reação 5.3

O pico exotérmico que ocorre em temperatura média de 979,64°C indica a reorganização da fase metacaulinita para formar mulita ($3\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2$). Esta nova fase é formada quando a sílica (SiO_2) e alumina (Al_2O_3) se combinam em temperatura acima de 950°C. Estes resultados estão em concordâncias com descritos na literatura NACIMENTO & SILVA, 2012. É importante ressaltar que as análises térmicas TG e DTA estão em concordância com as análises de DRX e FRX.

Os resultados mostram que o solo não apresentou matéria orgânica em sua composição, o que dificultaria a hidratação do cimento, bem como apresenta em sua composição agentes cimentantes (óxido de Fe, Al e argilominerais). porém o teor de argila na composição do solo necessário para uso em solo-cimento deve ser superior a 20 % , o que se faz necessário corrigi-lo. Os resultados comprovaram que o solo do Município de Santa Rita-PB é excelente matéria-prima para fabricação dos tijolos de solo-cimento.

A Figura 35 ilustra o resultado da análise de granulometria a laser do solo município de Santa Rita. Estas curvas representam os diâmetros das suas partículas em função da porcentagem acumulada passante. Os resultados destas curvas indicaram que o diâmetro médio da solo foi de 75,07µm.

Figura 35 - Curvas granulométricas do solo do município de Santa Rita- PB



Fonte: Do Autor (2016)

4.3 Propriedades dos tijolos

Os resultados, da análise dimensional, de todas as medições são apresentados no APÊNDICE A (Tabelas A.1 a A.4).

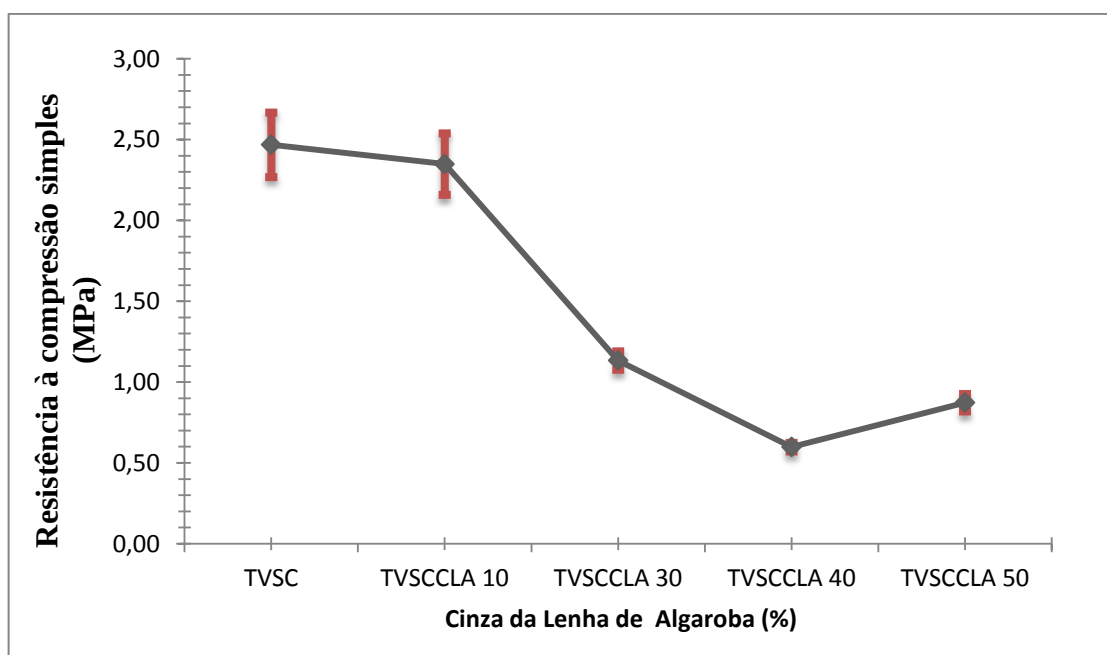
Os valores individuais de resistência a compressão, a média, desvio padrão e o erro padrão estão expostos na Tabela 5. A Figura 36 ilustra o gráfico de resistência média dos tijolos de solo-cimento em função da quantidade de cinza de Algaroba.

Tabela 5 - Valores individuais, média, desvio padrão e erro padrão dos ensaios de compressão dos tijolos de solo-cimento e tijolos de solo-cimento-cinza da lenha de Algaroba

TVSC		TVSCCLA 10	TVSCCLA 30	TVSCCLA 40	TVSCCLA 50
141,6	3,20	3,08	1,17	0,61	1,03
	3,10	2,32	1,15	0,61	0,99
	2,11	2,03	1,01	0,60	0,80
	2,04	3,34	1,08	0,46	0,93
	2,06	2,35	1,13	0,70	0,60
	2,75	2,09	1,43	0,57	0,89
	2,02	2,74	0,96	0,63	0,86
Media	2,47	2,35	1,13	0,60	0,87
Desvio	0,53	0,50	0,15	0,07	0,14
Tamanho	7	7	7	7	7
Erro	0,19988	0,19009	0,0569391	0,0271899	0,053610079

Fonte: Do Autor (2016)

Figura 36 - Gráfico de resistência média dos tijolos de solo-cimento



Fonte: Do Autor (2016)

A resistência a compressão simples é um dos parâmetros mais importantes do solo-cimento. De acordo com a ABNT NBR 8492 (2012) os tijolos vazados de solo-cimento não podem apresentar a média dos valores de resistência à compressão menores que 2,0 MPa (20Kgf/cm²), nem valor individual inferior a 1,7 MPa (17Kgf/cm²). Os valores individuais e a média da resistência à compressão simples de cada amostra de tijolos de solo-cimento e dos tijolos de solo-cimento-cinza da lenha de Algaroba estão expostos na Tabela 5. Observa-se que os tijolos fabricados sem adição da cinza (TVSC) atingiram o valor médio de 2,47 MPa e os fabricados com substituição parcial do cimento pela cinza da lenha de Algaroba (TVSCCLA10) atingiu o valor médio de 2,35 mantendo-se dentro do requisito da NBR 8492 (2012), enquanto que os tijolos fabricados com substituição parcial da cinza da lenha de Algaroba pelo cimento de 30% (TVSCCLA30), 40%(TVSCCLA40) e 50% (TVSCCLA50) atingiram o valor médio de resistência a compressão simples de 1,13, 0,60 e 0,87, respectivamente. É possível observar a diminuição ocorrida na resistência à compressão com a substituição parcial do cimento pela cinza de Algaroba em todos teores de cinza estudados. Redução de cimento pela cinza pode ter afetado o contato das fases sólidas solo, cimento e cinza, uma vez que quando duas superfícies sólidas são colocadas justapostas, de modo que ocorra uma união entre elas, o contato se dá apenas alguns pontos e está associado a forças de van der Waals (ISAIA, 2007). Esta força está diretamente relacionada com a força de atração intermoleculares muito forte. No entanto, a substituição da cinza pelo cimento pode ter reduzido a atração intermoleculares, ou seja, afetou as ligações de hidrogênio durante o processo de hidratação. Para o TVSCCLA10 ocorreu uma redução da resistência a compressão, porém atingiu o valor próximo aos tijolos fabricados sem adição de cinza (Tijolos de Referência) e mantendo-se dentro dos requisitos estabelecido pela ABNT NBR 8492 (2012). Através destes resultados é possível constatar que valores acima de 10% de cinza da lenha de Algaroba em substituição ao cimento pode ocorrer redução da resistência a compressão com valores individuais e média inferiores aos estabelecidos pela ABNT NBR 8492 (2012).

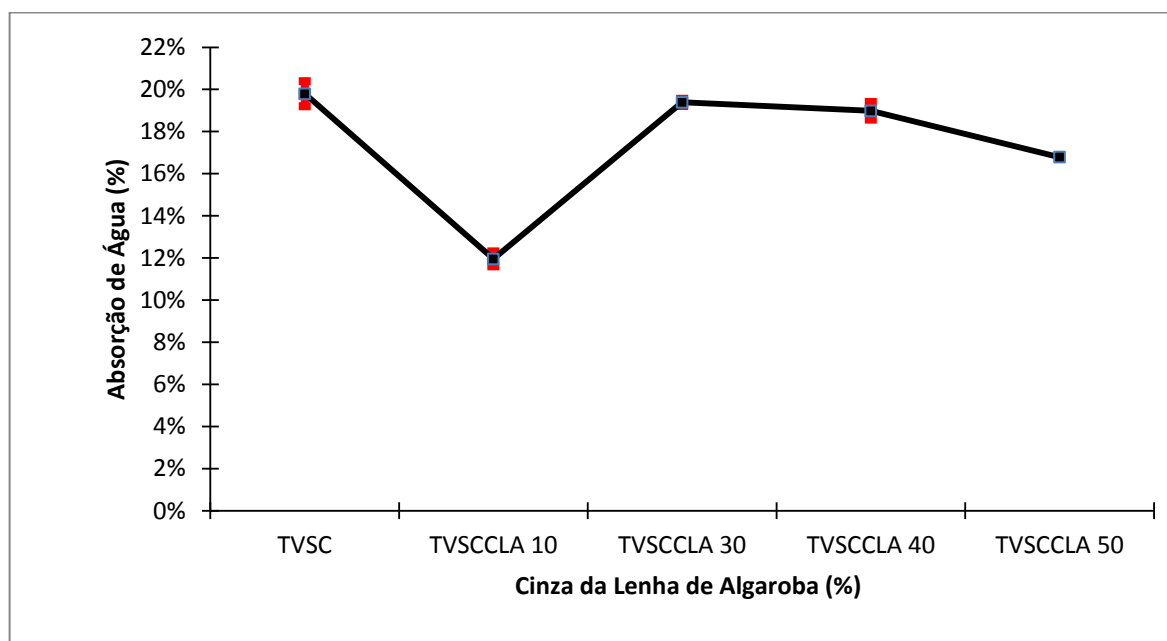
Os valores individuais, a média, desvio padrão e o erro padrão dos ensaios de absorção de água estão expostos na Tabela 6. A Figura 37 mostra o gráfico dos valores médios de absorção de água. A idade dos tijolos foram de 7 (sete) dias.

Tabela 6 - Valores individuais, média e desvio padrão dos ensaios de absorção dos tijolos de solo-cimento e tijolos de solo-cimento- cinza da lenha de Algaroba.

		Teor de Cinza da Lenha de Algaroba			
	TVSC	TVSCCLA 10	TVSCCLA 30	TVSCCLA 40	TVSCCLA 50
1	18,62%	11,37%	19,38%	18,20%	15,44%
2	20,21%	12,60%	19,69%	19,59%	16,77%
3	20,56%	11,90%	19,09%	19,17%	18,14%
Média	19,80%	11,96%	19,39%	18,99%	16,78%
Desvio Padrão	0,010300983	0,006168155	0,003012677	0,007162362	0,013455233
Tamanho	3	3	3	3	3
Erro padrão	0,005947275	0,003561186	0,00173937	0,004135192	0,007768382

Fonte: Do Autor (2016)

Figura 37 - Gráfico dos valores médios de absorção de água



Fonte: Do Autor (2016)

O requisito específico para absorção de água segundo a norma ABNT 8491 (2012) diz que as amostras produzidas com idade mínima de sete dias, não podem apresentar a média dos valores de absorção de água maior que 20 %, nem valores individuais superiores a 22 %.

Os valores individuais e a média dos ensaios de absorção de água de cada amostra de tijolos de solo-cimento e dos tijolos de solo-cimento-cinza da lenha de Algaroba estão expostos na Tabela 6 estes resultados estão representados graficamente na Figura 38. Os resultados mostram que todas as amostras atendem aos requisitos estabelecidos pela norma ABNT 8491 (2012). Os tijolos fabricados sem adição da cinza (TVSC) atingiram o valor médio

de absorção de água de 19,89 %, enquanto que os tijolos fabricados com substituição parcial do cimento pela cinza da lenha de Algaroba de 10 % + a adição de 40% de cinza a massa total do tijolo (TVSCCLA 10), 30 % (TVSCCLA30) e 40 % (TVSCCLA40) e 50 % (TVSCCLA50) atingiram o valor médio de absorção de água de 11,96 % ; 19,39 % e 18,99 % e 16,78 %, respectivamente. É possível observar que o aumento do teor de cinza diminui a absorção de água. A cinza de Algaroba é muito fina e isto pode ter influenciado no efeito de permeabilidade da água .Uma vez que a retenção da água pode está realacionada com a quantidade de cinza adicionada. A morfologia da cinza contribui no efeito labirinto que a água tem que percorrer,uma vez que as partículas de cinza forçam a água a desviar o caminho durante a absorção de água (BARBOZA,2011).

5 CONCLUSÃO

A presente dissertação teve como objetivo geral estudar a influência da substituição parcial da cinza de Algaroba pelo cimento na resistência à compressão simples e absorção de água em tijolos vazados de solo-cimento-cinza da lenha de Algaroba.

As análises de FRX constataram que a cinza de Algaroba não possui propriedade pazolônica, porém o elevado teor de óxido cálcio pode indicar a presença de carbonato de cálcio ou hidróxido de cálcio, isso possibilitou que a cinza de Algaroba fosse empregada na fabricação de solo-cimento, uma vez que a mesma possui partículas finas que podem proporcionar um melhor empacotamento dos materiais granulares.

Com os resultados de caracterização do DRX foi possível identificar a fase cristalina da cinza de Algaroba com a presença de picos referentes à calcita (CaCO_3), Hidróxido de Cálcio (Ca(OH)_2) e óxido de cálcio (CaO). Através destes resultados, em concordância com o FRX, conclui-se que a cinza de Algaroba pode ser usada em substituição parcial do cimento para produção de tijolos de solo-cimento.

Constatou-se que, a lenha da Algaroba foi queimada completamente, uma vez que o procedimento de quima da lenha na Industria Notaro Alimentos LTDA – Belo Jardim – PE produz cinza finas com características uniformes sem restos de lenha. Outro indicativo da qualidade da cinza de Algaroba de Belo Jardim é observado nos resultados das curvas termogravimétricas e termogravimétricas derivada nestas curvas não foi possível observar o perfil de perda de água, constatou-se que o procedimento de queima da lenha de Algaroba produz cinza sem umidade.

Constatou-se que, em termos de caracterização do solo, o qual é bastante usado como matéria-prima para produção de tijolos de solo-cimento, e da cinza propostas, os mesmos podem ser empregados na fabricação de tijolos de solo-cimento.

Os resultados de resistência à compressão simples dos tijolos de solo-cimento fabricados com teores de cinza de lenha de Algaroba de 30 % (TVSCCLA30) e 40 % (TVSCCLA40) e 50 % (TVSCCLA50), foram inferiores aos valores estabelecidos pela NBR 8491 (2012). Observou-se que a resistência à compressão e a absorção de água diminuíam com o aumento do teor de cinza. Esta observação possibilitou concluir que, com o maior teor de cinza pode ter influenciado na reação de hidratação que consequentemente diminuía a resistência. Por outro lado, para o TVSCCLA10 os valores de resistência à compressão simples mantiveram-se dentro da norma. Os resultados de absorção de água tanto dos valores

individuais como da média de todas as amostras, atenderam aos limites mínimos exigidos pela norma.

De acordo com estas observações, conclui-se que é possível produzir tijolos de solo-cimento-cinza com substituição parcial do cimento pela cinza da lenha de Algaroba com teor de cinza de 10%, este teor possibilita a utilização deste resíduo na substituição parcial do cimento.

6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - **ABCP**. Fabricação de Tijolos de Solo-Cimento com a Utilização de Prensas Manuais. Publicações ABCP, São Paulo, 1985.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - **ABCP**. Dosagem das misturas de solo-cimento: Normas de dosagem e métodos de ensaios. Publicações, ABCP, São Paulo, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - **ABCP**. Fabricação de Tijolos de Solo-Cimento com a Utilização de Prensas Manuais: Prática Recomendada. Publicações ABCP, São Paulo, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro, RJ, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182**: Solo ensaio de compactação. Rio de Janeiro, RJ, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502**: Rochas e solos. Rio de Janeiro, RJ, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM-ISO 3310-1**: Peneiras de ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900-1**: Água para amassamento do concreto. Rio de Janeiro, RJ, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8491**: Tijolo de solo-cimento: Requisitos. Rio de Janeiro, RJ, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653**: Materiais Pozolânicos: Rio de Janeiro, RJ, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11798**: Materiais para base de solo-cimento: Requisitos. Rio de Janeiro, RJ, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8492**: Tijolo de solo-cimento - Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água. Rio de Janeiro, RJ, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10834**: Bloco de solo-cimento sem função estrutural. Rio de Janeiro, RJ, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13553**: Materiais para emprego em parede monolítica em de solo-cimento sem função estrutural. Rio de Janeiro, RJ, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13554**: Solo cimento Ensaio de durabilidade por molhagem e secagem. Rio de Janeiro, RJ, 1996.

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

ASTM – American Society for Testing and Materials: **ASTM D 3282**.

ALMEIDA, W. B.F. **Emprego da mistura solo-cimento em bases e sub-bases de pavimentos**. Monografia (Projeto de Pesquisa) – Curso de Engenharia Civil, UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO. ITATIBA, 2008.

BARBOZA, A.A.S., **Desenvolvimento de argamassas de revestimento com adição concomitante de cinzas de lenha e lodo têxtil gerados no APL de confecções pernambucano**. Trabalho de Conclusão de Curso, UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO, CAA. Engenharia Civil, 2011.

BORGES, J. C.; SALES, R. J. DE M.; OLIVEIRA, M. E. D. DE; CABRAL, A. E. B. **Avaliação da Absorção de Água de Tijolos de Concreto Produzidos Parcialmente com Agregados Reciclados**. IV Congresso de Pesquisa e Inovação de Rede Norte e Nordeste de Educação Tecnológica. Belém-PA, 2009.

CARVALHO, A.L., **Análise do efeito da estabilização mecânica e física em matrizes de terra**. UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO. Dissertação (Mestrado), Rio de Janeiro, 2011.

CAPUTO, H.P. **Mecânica dos Solos - E Suas Aplicações**. Edição: 6ª, Revista e Ampliada, VOLUME 1, 1988.

CID-FALCETO, J. MAZARRÓN, F. R. CAÑAS, I. **Assessment of compressed earth blocks made in Spain: International durability tests**. Construction and Building Materials 37 (2012) 738–745.

CRUZ, M. L. S., JALALI, S. **Melhoramento do desempenho de misturas de solo-cimento Enhancing Performance of Soil-Cement Mixtures**; Instituto Politécnico de Bragança, Portugal, lurdes@ipb.pt. Jalali, Said, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, said@civil.uminho.pt; 2010.

DANTAS, V. B. **Desenvolvimento de blocos de solo cimento utilizando argissolo com incorporação de material armazenador de calor por mudança de fase (MMFS)**. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal – Brasil, 2015.

DALLACORT, R. LIMA JÚNIOR, H.C.; WILLRICH, F.L.; P. BARBOSA, N.P. **Resistência à compressão do solo-cimento com substituição parcial do cimento Portland por resíduo cerâmico moído**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.6, n.3, p.511-518, 2002 Campina Grande, PB, DEAg/UFCG - <http://www.agriambi.com.br>.

DAS, B. M. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica**. São Paulo: Thomson Learning, 2007. 560 p.

DIAS, J. J. DA F. M. S. **Tratamento de solos com cimento para obtenção de melhores características mecânicas**. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Ciências e Tecnologia, UNIVERSIDADE DE LISBOA, 2012.

DUARTE, S.R. **Construir com a terra. Uma proposta de intervenção no Bairro do Barruncho**. Dissertação (Mestrado), UNIVERSIDADE DE LISBOA, Lisboa, 2013.

EMBRAPA: Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento Boletim de Pesquisa n. 11 ISSN 1517-5219. **Levantamento de Reconhecimento de Baixa e Média Intensidade dos Solos do Estado de Pernambuco**, Dezembro, 2000.

EMBRAPA: **Sistema Brasileiro de Classificação de Solo**. Brasília: Produção de informação; Rio de Janeiro, 1999.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2006.

EMBRAPA: **Comunicado Técnico Algaroba (Prosopis juliflora): Árvore de Uso Múltiplo para a Região Semiárida Brasileira**, 2009.

FABRICANTE, J.R.; SIQUEIRA, F. J. **A Algaroba: uma solução ou mais um problema para o Semiárido Nordeste**. Centro de Referência para Recuperação de Áreas Degradadas (CRAD/UNIVASF), publicado em 01 de novembro de 2013. (<http://www.portaldomeioambiente.org.br/artigos/7093-Algaroba-uma-solucao-ou-mais-um-problema-para-o-semiarido-nordestino#>) Acesso em: 23 de novembro de 2014.

FERRARI, V.J. SOUZA, A.H.C.; BALTZAR, H.P.; DOTTO, W.; VIEIRA, J.G.N. **Tijolos vazados de solo-cimento produzidos com solo da Região do Arenito Caiuá do Paraná**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 3, p. 131-148.

GRANDE, F. M. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa**. Dissertação (Mestrado)– Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2003. 165p.

GOMES, R.; BARBOSA, A.G. **A ecologia política da Algaroba: uma análise das relações de poder e mudança ambiental no Cariri Ocidental - PB1**, Trabalho apresentado na 26ª. Reunião Brasileira de Antropologia, realizada entre os dias 01 e 04 de junho de 2008, Porto Seguro, Bahia, Brasil, 2008.

GUILLAUD, H.; JOFFROY, T.; ODUL, P. CRATERRE- EAG. **Compressed Earth blocks: Manual of Design and Construction**. Volume II. Manual of design and construction. GmbH in coordination with BASIN, 1985.

GUZZO, P.L. **Quartzo- Rochas e Minerais Industriais** – CETEM, 2ª Edição, 2008.

HOUBEN, H., & GUILLAUD, H. (1994). **Earth Construction: A Comprehensive Guide**. Southampton Row, London: Intermediate Technology Publications. Disponível em http://www.ufsm.br/engcivil/Material_Didatico/Material_Estabilizado_Granulo_metricamente_Base.pdf. Acesso em 23 agosto de 2015.

ISAIA, G. C. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**, Editora: IBRACON, 2007.

IONASHIRO, M. **Princípios básicos da termogravimétrica e análise térmica diferencial/calorimetria exploratória diferencial**, 2004.

JALALI, S. EIRES, R. **Inovações científicas de construção em terra crua**. Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, Campus de Azurém, Portugal said@civil.uminho.pt, rute@civil.uminho.pt, 2008.

LEA'S. **Chemistry of Cement and Concrete**. 4 ed, London: Elsevier Science & Tecnology, 2004

LELOUP, W. A. **Efeito da adição de lodo têxtil e cinzas de lenha gerados no APL de confecções pernambucano em argamassas de cimento Portland**. Dissertação (Mestrado), UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO, Caruaru- Brasil, 100 p, 2013.

LIMA, S. A. VARUM, H.; SALES, A. **Análise da resistência mecânica e da absorção de blocos de terra comprimida feitos com cinza do bagaço da cana-de-açúcar**. Tese (Doutorado), UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS, São Carlos, SP, 2012.

LIMA, R. DO. DE. **O Estudo da durabilidade de paredes monolíticas e tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito**. Dissertação (Mestrado), UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE, 2010.

M. CARMEN JIMENEZ DELGADO, IGNACIO CANÂS GUERRERO. **The selection of soils for unestablished earth building: A normative review**. Construction and Building Materials,21 (2007) 237–251.

MARTINS, A.; MERCADÉ, S.R.; AOKI, J; MADI, F.; MARCONDES, C.G.; NEVES, I.F. **Apostila de cimento**, 2010.

MEDEIROS, J.C.; CARVALHO, M.C.; FERREIRA. G.B. **Embrapa, 2006** (http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Algodao/AlgodaoIrigado_2ed/solos.html). Acesso em: 08 de janeiro de 2014.

MEHTA, P. K. & MONTEIRO, P. J. M. **Concreto - Estrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: PINI, 1994.

MILANI, A.P.; FREIRE, W.J. **Avaliação física, mecânica e térmica de misturas de solo-cimento adicionadas de cinza de casca de arroz sem atividade pozolânica**. Teoria e Prática na Engenharia Civil, n.11, p.23-30, Abril, 2008.

MOTA, J. D.; OLIVEIRA, D.F.; TRAJANO, M.F; SANTIAGO, N. de. O; SILVA, A.P.A. **Aproveitamento dos resíduos de granito e caulim como materiais aditivos na produção de tijolos ecológicos**. Av. das Baraúnas, 351, Campus Universitário, Bodocongó, CEP 58109-753, Campina Grande / PB. 2012.

MOTA, M. H.A. **Concreto seco com incorporação de cinzas de madeira de Algaroba (Prosopis juliflora) moldado sob pressão**. Dissertação (Mestrado), UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO, Centro Acadêmico do Agreste-Brasil, 2014.

MOURA, W.A.; LEITE, M.B. **Estudo da viabilidade da produção de blocos com utilização de resíduo de serragem de rochas ornamentais para alvenaria de vedação.** Red. de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal Sistema de Información Científica vol. 64, núm. 2, pp. 147-154, 2011.

NASCIMENTO, J. E. M. F. **avaliação dos efeitos da substituição da cal hidratada por cinzas de Algaroba em argamassas de revestimento.** Dissertação (Mestrado), UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO, Centro Acadêmico do Agreste-Brasil, 2014.

NETO, C. A. B. DOS. **Estratégia para caracterização do edificado em adobe em Aveiro.** Dissertação (Mestrado), UNIVERSIDADE DE AVEIRO, 2008.

NEVES, C.M.M ., FARIA,O.B.F., ROTONDARO, R., PATRÍCIO CEVALLOS SALAS, P.C., HOFFMANN, M. **Seleção de solos e métodos de controle em construção com terra – práticas de campo.** PROTERRA Projeto de Investigação XIV.6, 2005.

PEREIRA, K.L.P., **Estabilização do solo com cimento e cinza de lodo para usar em pavimentos.** Dissertação (Mestrado), UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE, 2012.

PICCHI, F. A.; CINCOTTO, M. A.; BARROS, J. M. C. **Tijolos de solo-cal.** Revista A Construção, São Paulo, p. 93-8, 1990.

RAMONILDES GOMES, R., BARBOSA, A. G. **A ecologia política da Algaroba: uma análise das relações de poder e mudança ambiental no Cariri Ocidental – PB.** Trabalho apresentado na 26ª. Reunião Brasileira de Antropologia, realizada entre os dias 01 e 04 de junho, Porto Seguro, Bahia, Brasil, 2008.

RIBASKI, J.DRUMOND, M. A., OLIVEIRA,V.R.;NASCIMENTO, C.E. S. **Algaroba (Prosopis juliflora): Árvore de Uso Múltiplo para a Região Semiárida Brasileira.** Técnico Comunicado Embrapa SSN 1517-5030 Colombo, PR Outubro, 2009.

RODRIGUES, L. P., HOLANDA, J. N. F. **Influência da incorporação de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades tecnológicas de tijolos solo-cimento.** Cerâmica 59, p. 551-556, 2013.

ROLIM,M.M.; FREIRE, W.J.; BERALDO.; A.L. **Análise Comparativa da Resistência à Compressão Simples de Corpos-De-Prova, Tijolos e Painéis de Solo-Cimento.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.3, n.1, p.89-92, 1999 Campina Grande, PB, DEAg/UFPB.

ROSA, M.A.; SANTOS, A.C. **Determinação de traço, com o solo da região de Cascavel-PR, para tijolos em solo-cimento.** Revista Varia Scientia Agrárias v. 03, n.01, p. 25-41 Ano de Impressão, 2013.

SAMPAIO, J. A., ALMEIDA, S. L. M.. **Calcário e dolomito. Rochas e minerais industriais.** CETEM, 2ª edição, 2008.

SANTOS, P. S. **Ciência e Tecnologia de Argilas** – volume 1. São Paulo: Edgard Blücher, 1989, 2ª edição revista e ampliada.

SCHMITZ, C.S., **Mecânica dos Solos**, Centro Federal de Educação Tecnológica de Pelotas CEFET-RS- Curso Técnico de Edificações, 2005.

SEGANTINI, A. A.; WADA, H. P. **Estudo de dosagem de tijolos de solo-cimento com adição de resíduos de construção e demolição**. Acta Scientiarum Technology. Maringá, v. 33, n.2, p. 179-183, 2011.

SKOOG, D.A.; HOLLER, F.J.; NIEMAN, T. A. **Princípios de Análise Instrumental**, 5ª ed. Porto Alegre: Bookman, p. 31-36; p. 317-342, 2009.

SOUZA, M.I.B., SEGANTINI, A.S., PEREIRA, J.A., **Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.12, n.2, p.205–212, 2008.

VALENTE, T.; GOMES, C.A., MACHADO,V.J., CEBOLA, D. COELHO, S. **Estudo Laboratorial De Misturas De Solo-Cimento Para Aplicação Em Jet Grouting** Universidade do Minho, Guimarães, Portugal.; 2008.

VILLAMIZAR,M.C. N.; ARAQUE,V.S.; REYES,C.A.R. SILVA,R.S. **Effect of the addition of coal-ash and cassava peels on the engineering properties of compressed earth blocks**. Construction and Building Materials 36 (2012) 276–286.

VITALI,O.P. M. **Efeito da composição de misturas de solo-cimento nos parâmetros de rigidez e de resistência**. Dissertação: Mestre em Engenharia Civil — Especialização em Geotecnia. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008.

APÊNDICE A
RESULTADOS DA ANÁLISE DIMENSIONAL DOS TIJOLOS

Tabela A.1 – Dimensões de cada tijolo do traço 1:10

Dimensões (mm) - TSC			
Tijolo	Comprimento (C)	Largura (L)	Altura (H)
1	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75
2	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75
3	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75
4	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75
5	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75
6	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75
7	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75
8	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75
9	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75
10	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75

Tabela A.2 – Dimensões de cada tijolo do traço 0,9:0,5:10

Dimensões (mm) – TSCCLA 10			
Tijolo	Comprimento (C)	Largura (L)	Altura (H)
1	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75
2	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75
3	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75
4	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75
5	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75
6	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75
7	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75
8	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75
9	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75
10	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75

Tabela A.3 – Dimensões de cada tijolo do traço 0,7:0,3:10

Dimensões (mm) – TSCCLA30			
Tijolo	Comprimento (C)	Largura (L)	Altura (H)
1	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75
2	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75
3	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75
4	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75
5	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75
6	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75
7	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75
8	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75
9	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75
10	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75

Tabela A.4 – Dimensões de cada tijolo do traço 0,6:0,4:10

Dimensões (mm) – TSCCLA40			
Tijolo	Comprimento (C)	Largura (L)	Altura (H)
1	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75
2	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75
3	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75
4	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75
5	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75
6	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75
7	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75
8	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75
9	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75
10	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75

Tabela A.5 – Dimensões de cada tijolo do traço 0,5:0,5:10

Dimensões (mm) – TSCCLA50			
Tijolo	Comprimento (C)	Largura (L)	Altura (H)
1	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75
2	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75
3	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75
4	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75
5	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75
6	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75
7	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75
8	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75
9	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75
10	250	125	75
	250	125	75
	250	125	75

APÊNDICE B
COMPOSIÇÃO QUÍMICA PONTUAL E MAPA DO MEV E EDS DA CINZA DE
ALGAROA E DO SOLO DO MUNICÍPIO DE SANTA RITA-PB

Figura B.1 – Composição Química Pontual do MEV e EDS da Cinza de Algaroba

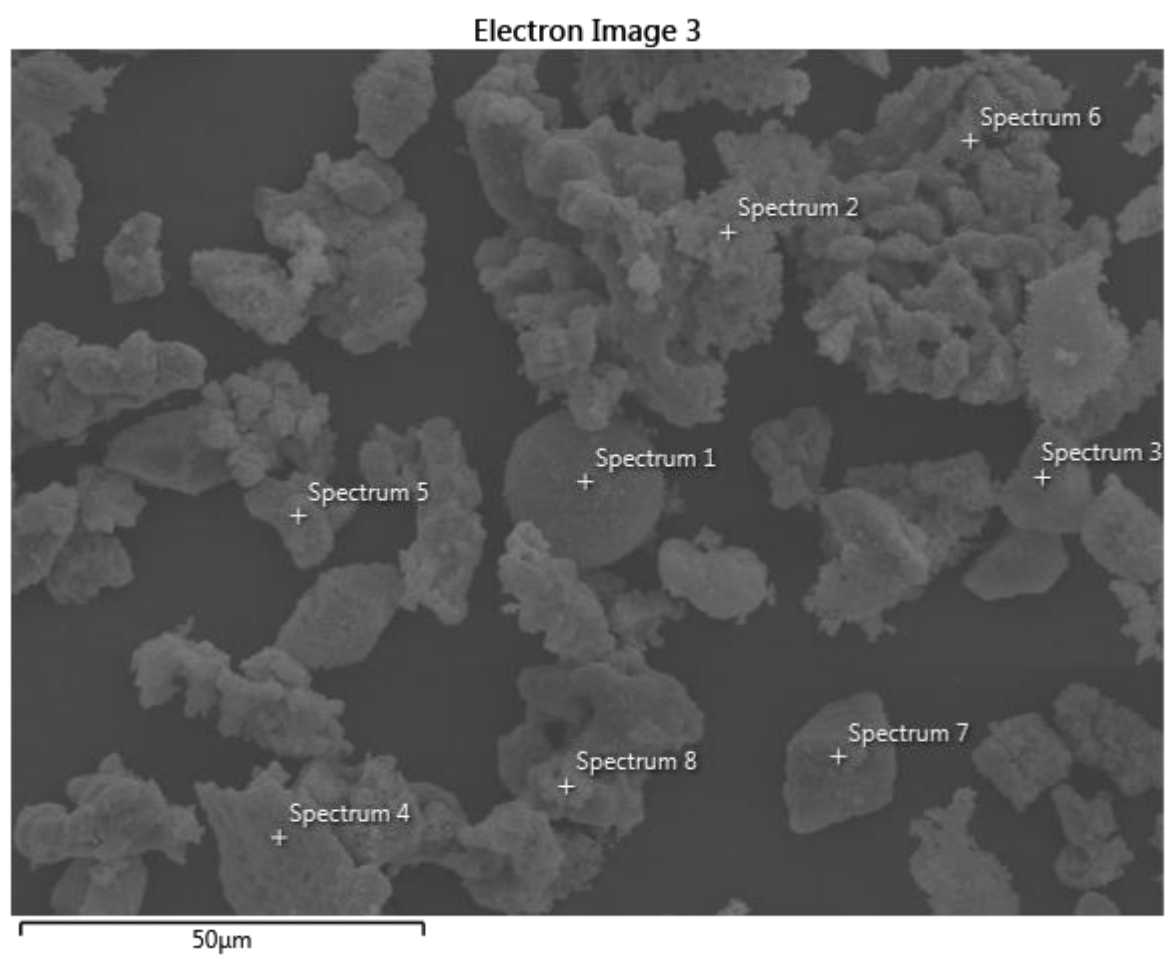


Figura B.2 – Composição Química Pontual do MEV e EDS da Cinza de Algaroba

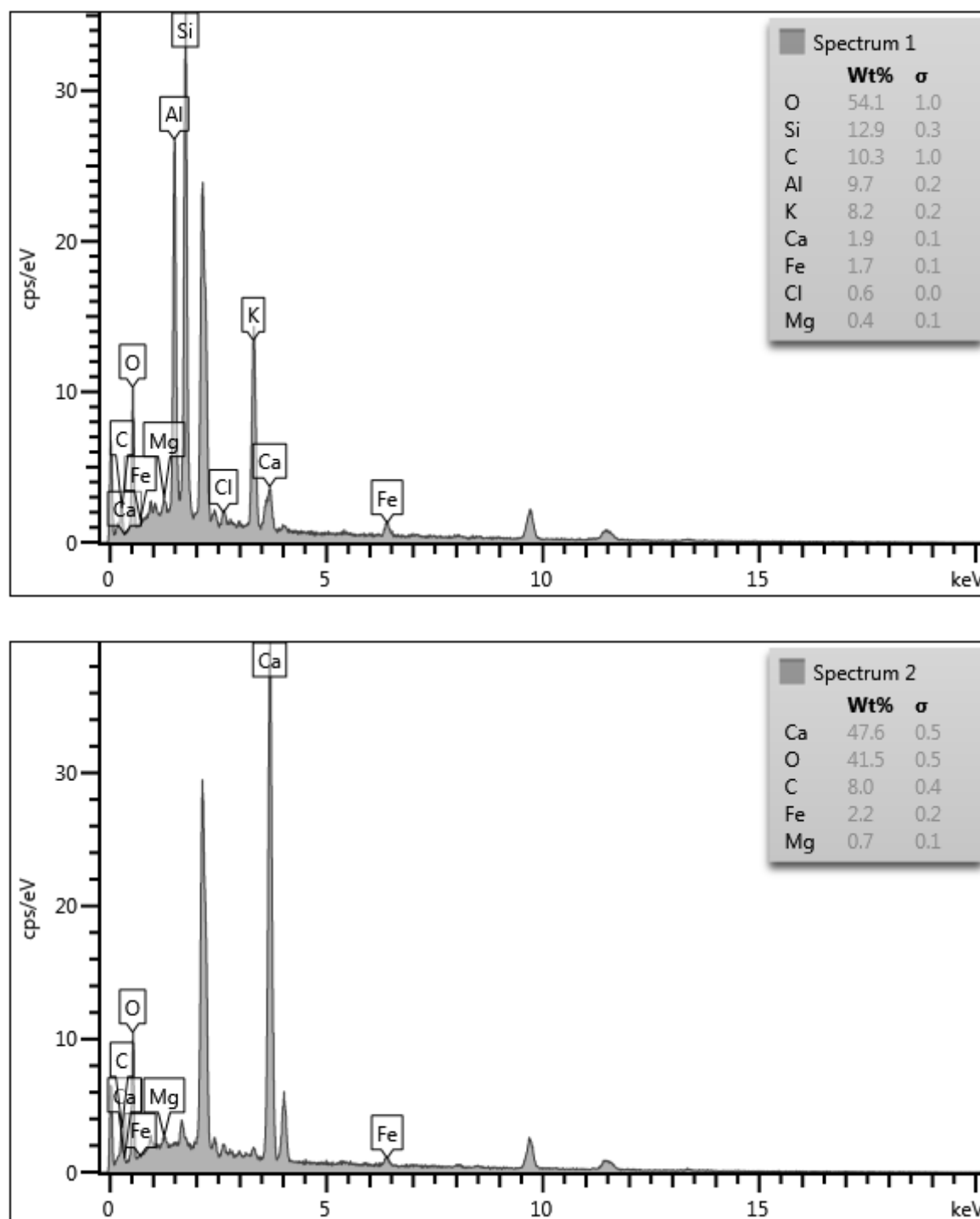


Figura B.3 – Composição Química Pontual do MEV e EDS da Cinza de Algaroba

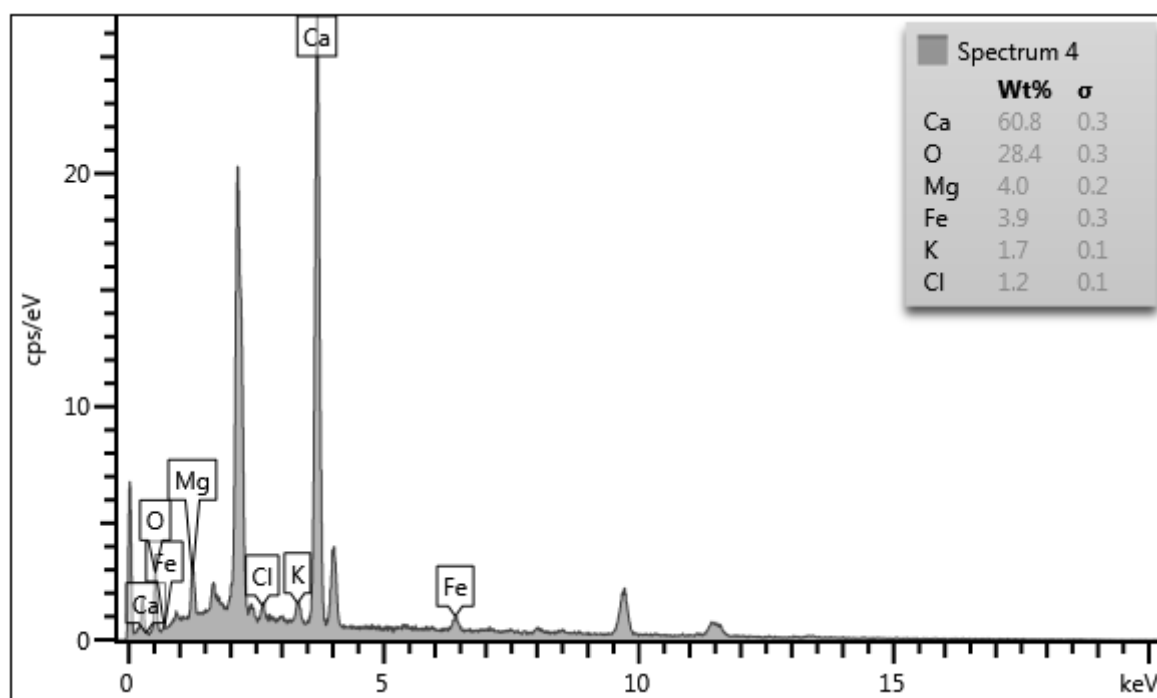
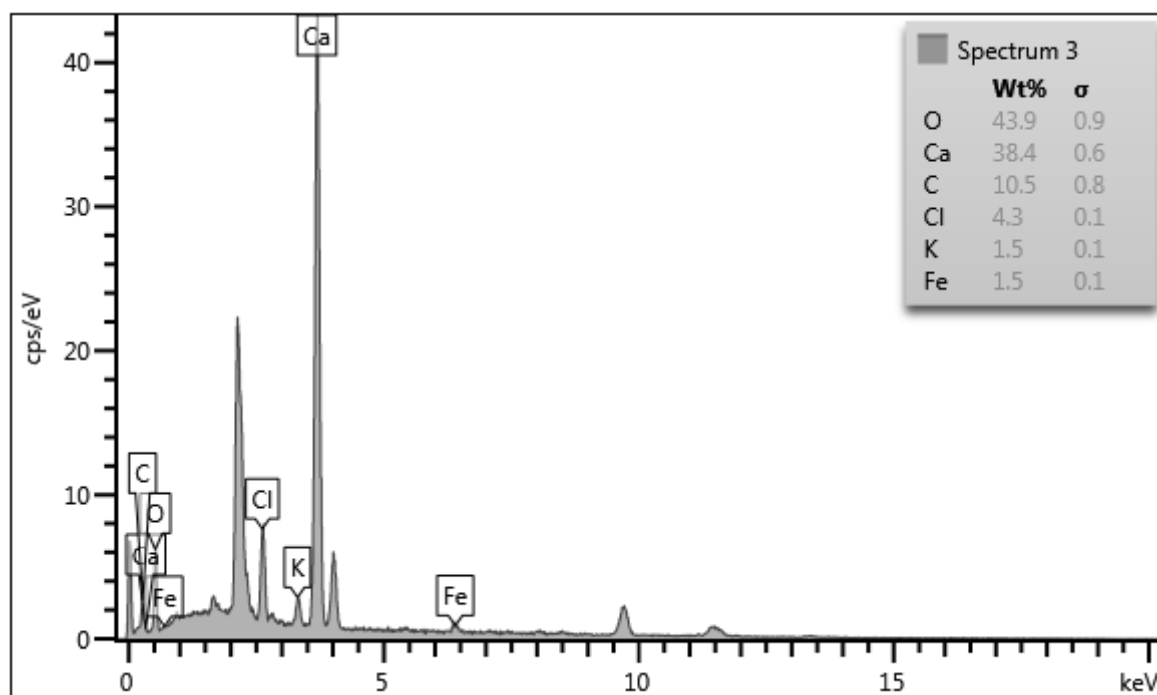


Figura B.4 – Composição Química Pontual do MEV e EDS da Cinza de Algaroba

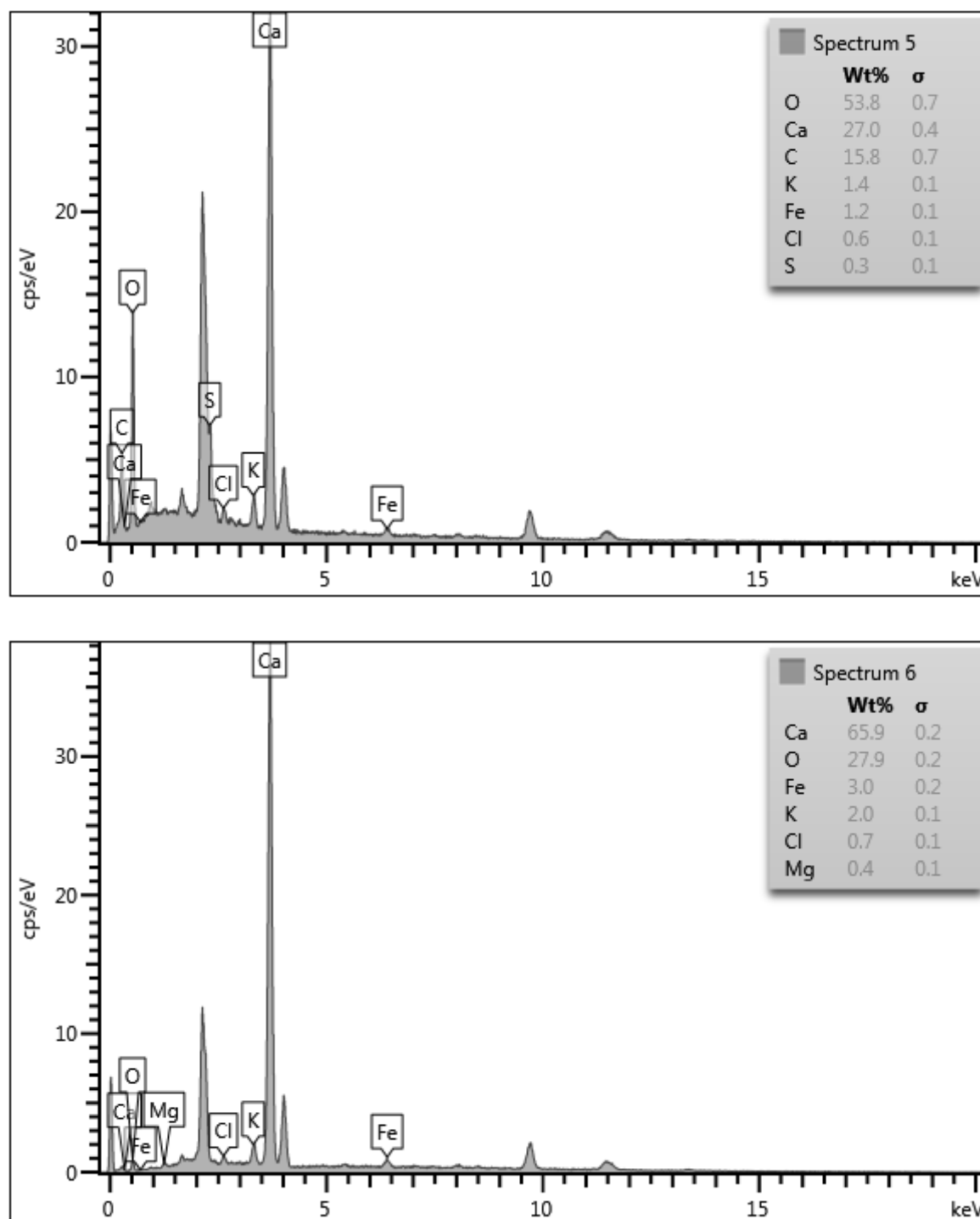


Figura B.5 – Composição Química Pontual do MEV e EDS da Cinza de Algaroba

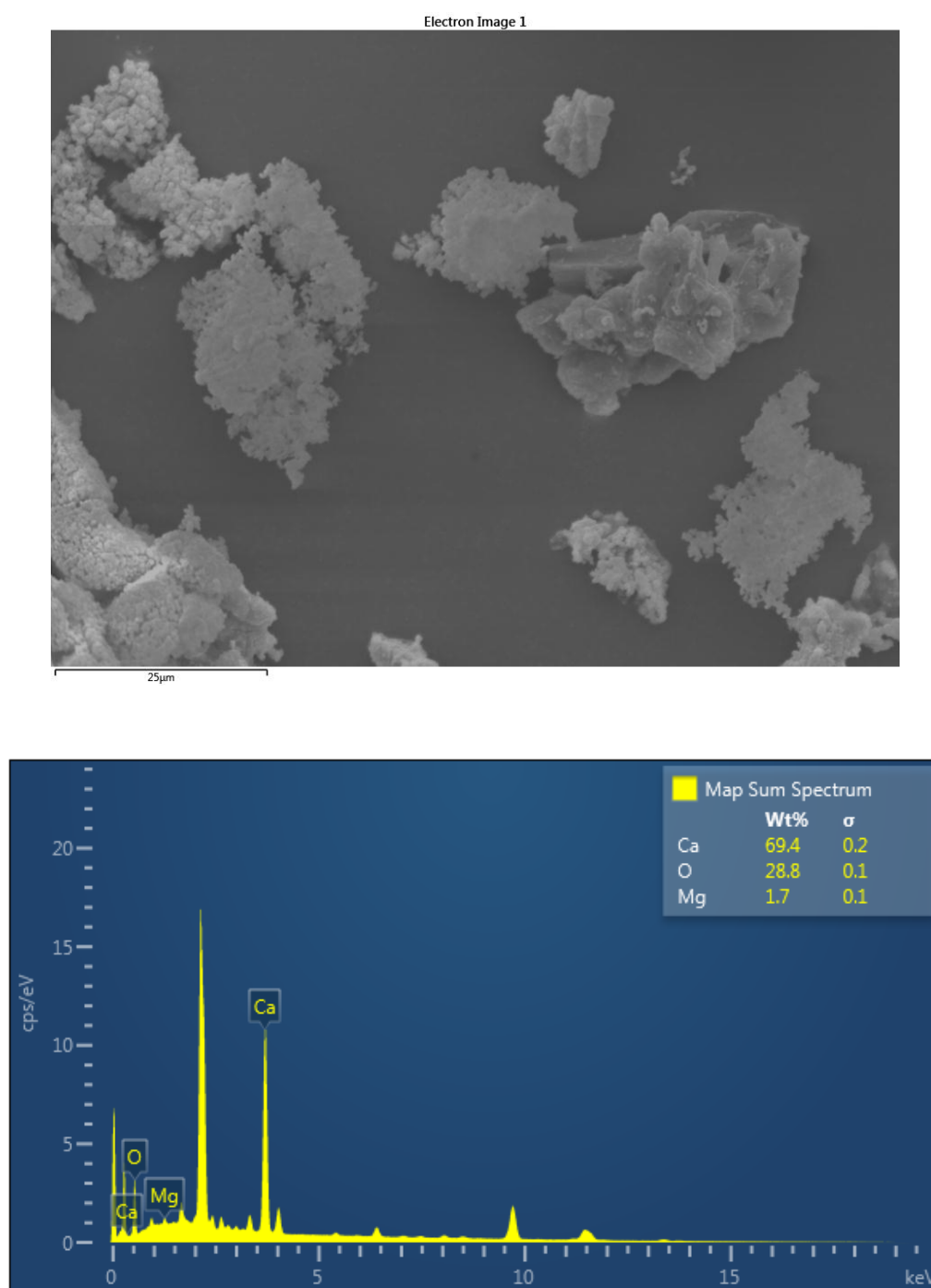


Figura B.6 – Composição Química Pontual do MEV e EDS da Cinza de Algaroba

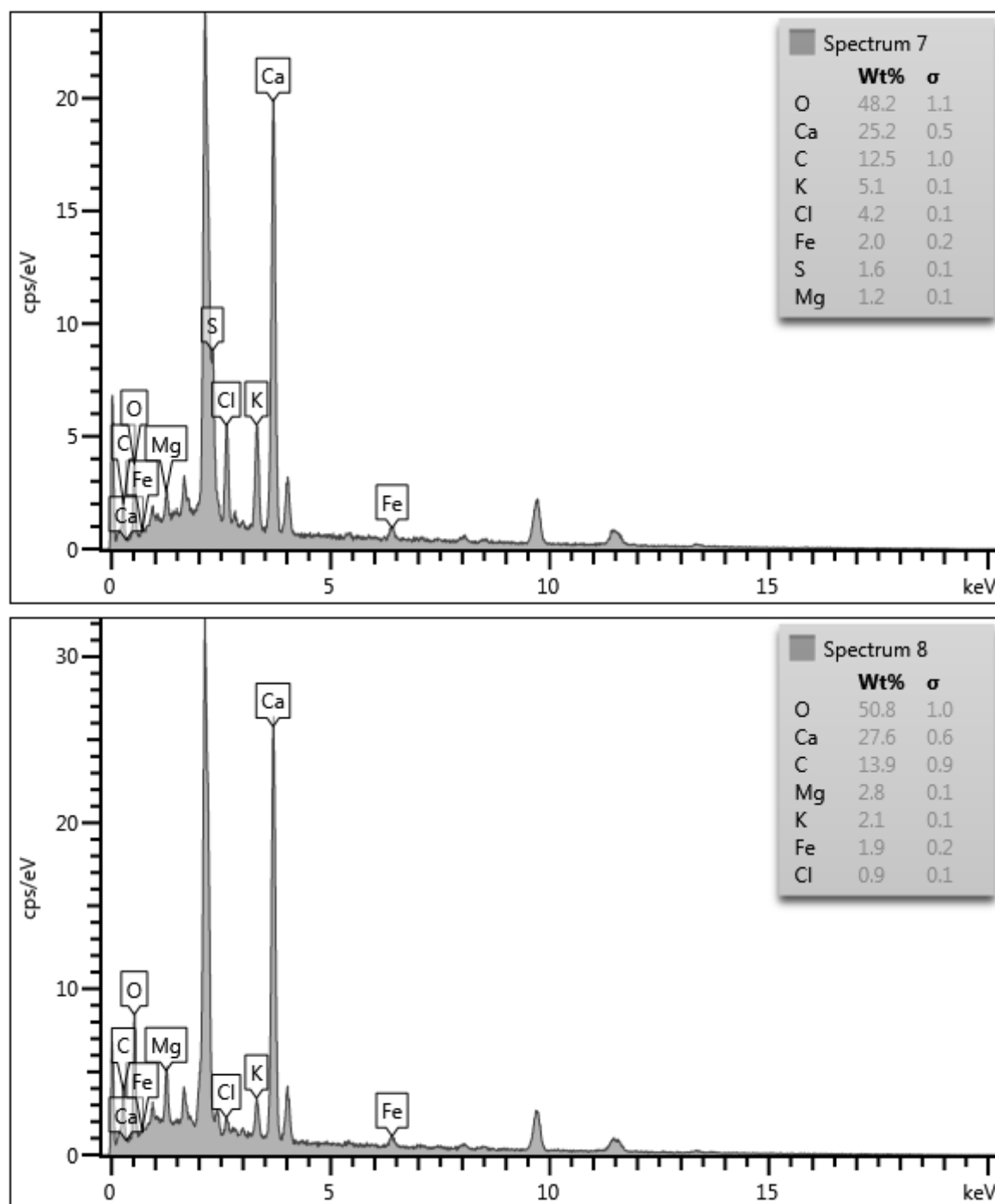


Figura B. 7 – Mapa do MEV e EDS da Cinza de Algaroba

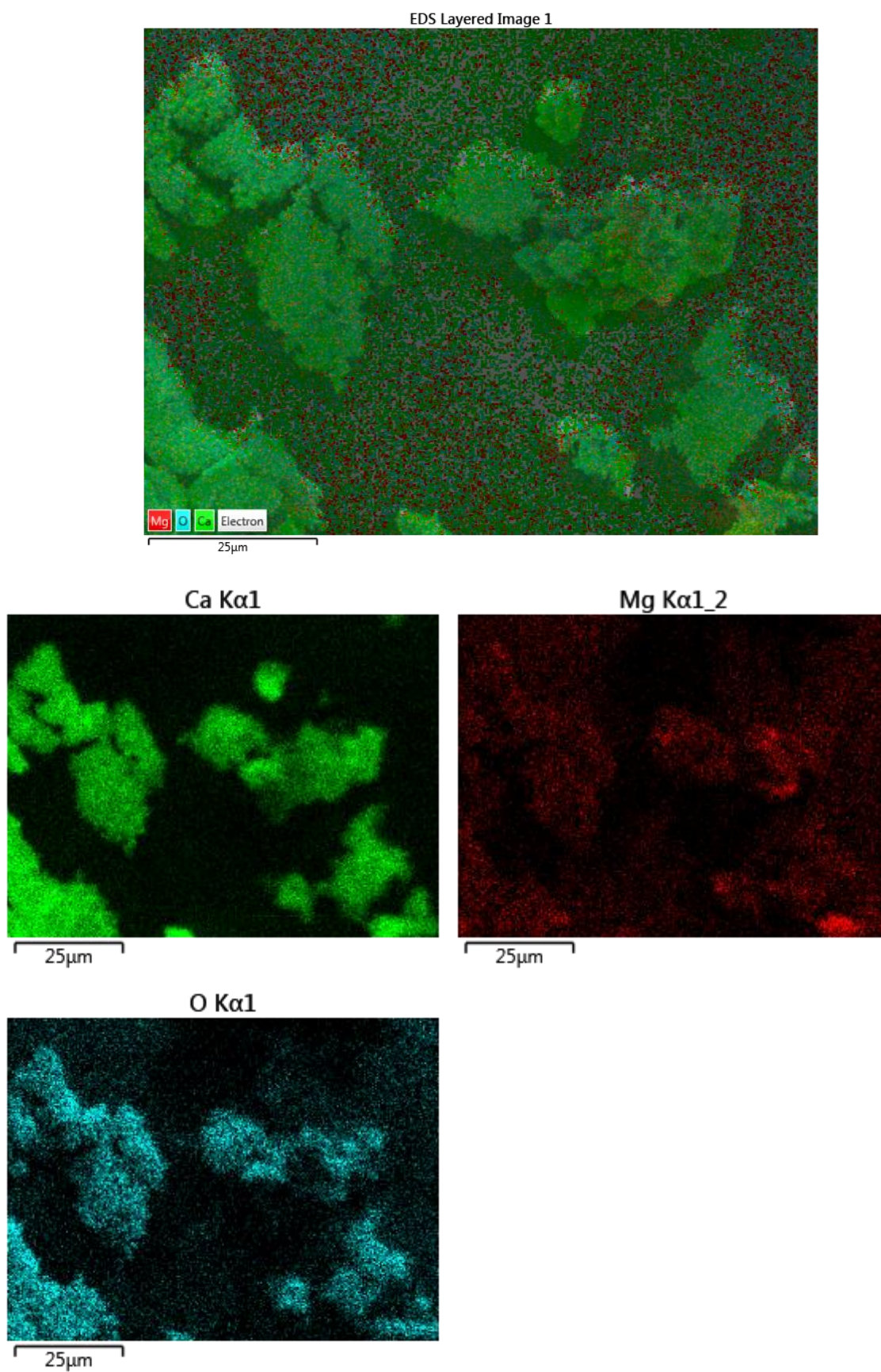


Figura B. 8 – Composição Química Pontual do MEV e EDS do Solo do Município de Santa Rita-PB

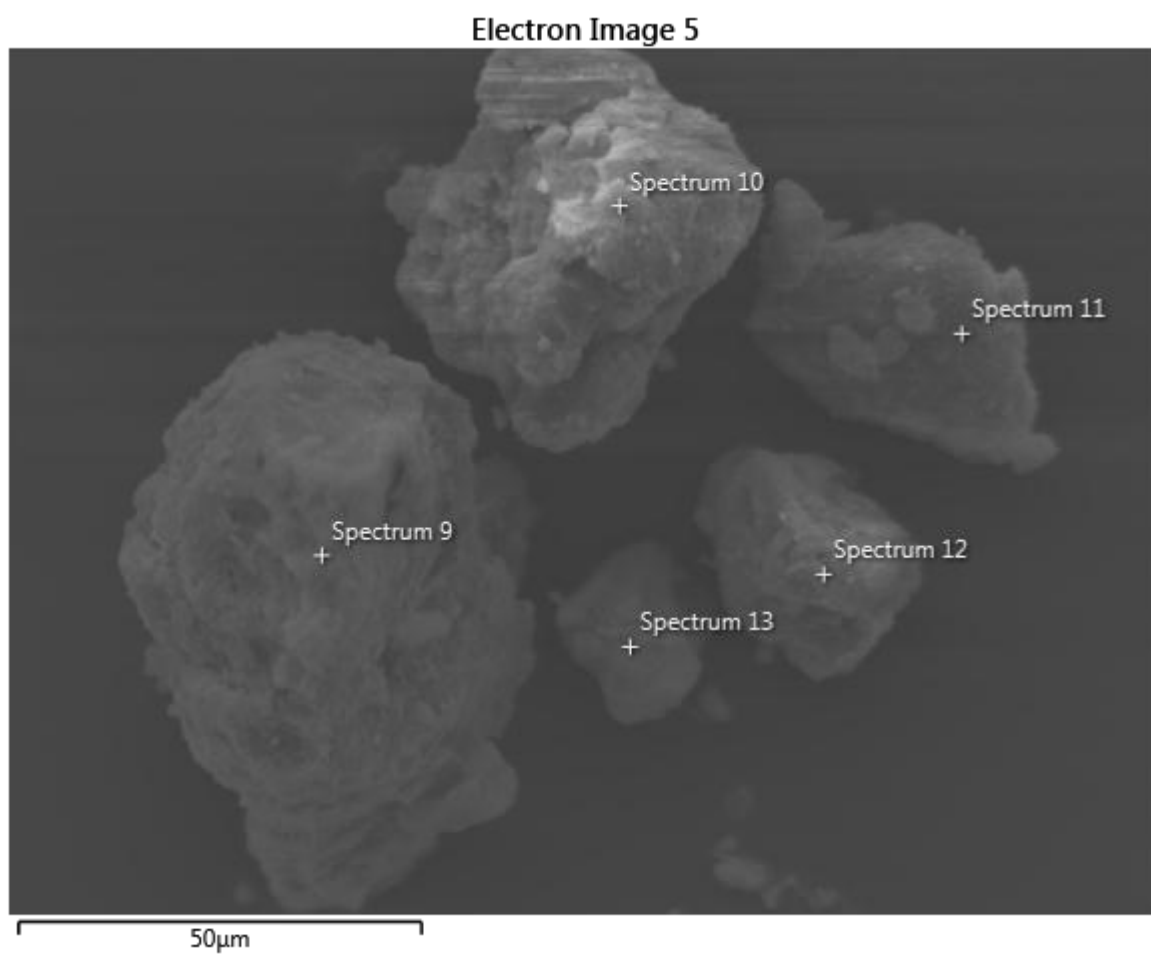


Figura B.9 – Composição Química Pontual do MEV e EDS do Solo do Município de Santa Rita-PB

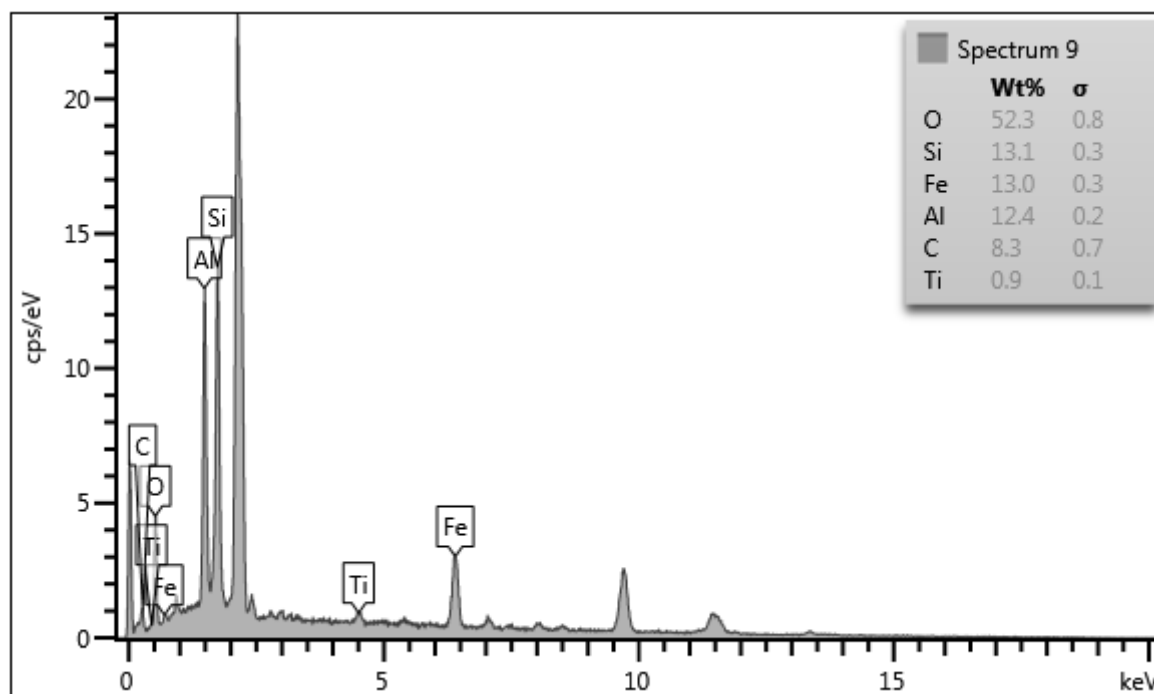


Figura B.10 – Composição Química Pontual do MEV e EDS do Solo do Município de Santa Rita-PB

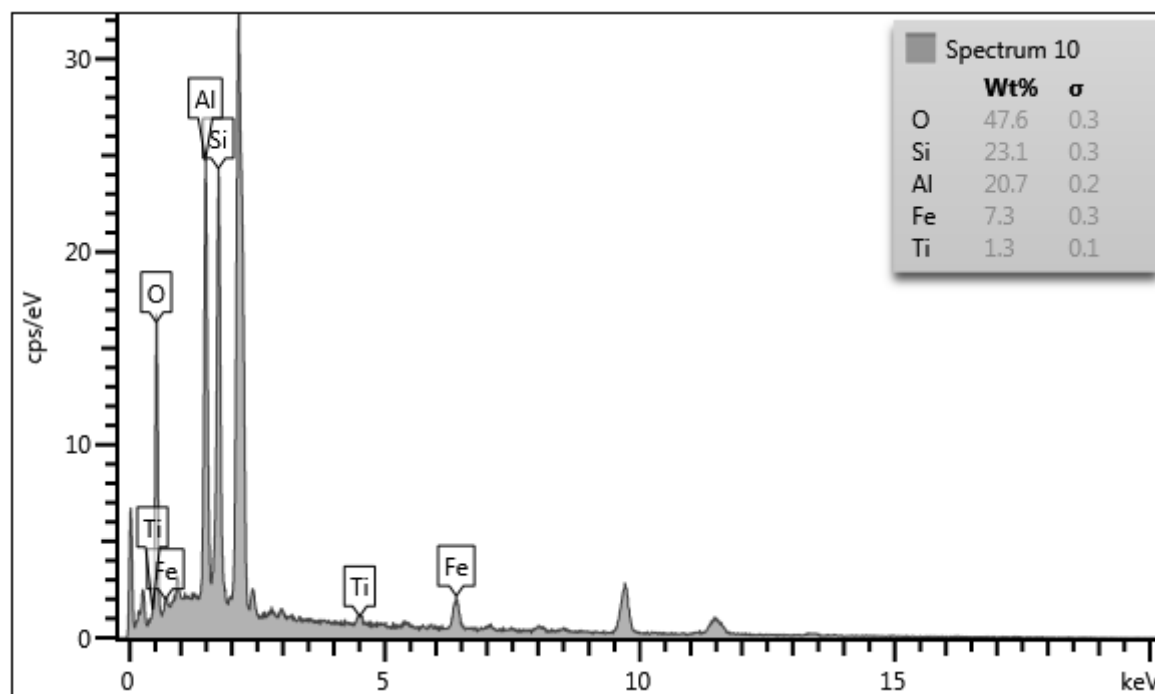


Figura B.11 – Composição Química Pontual do MEV e EDS do Solo do Município de Santa Rita-PB

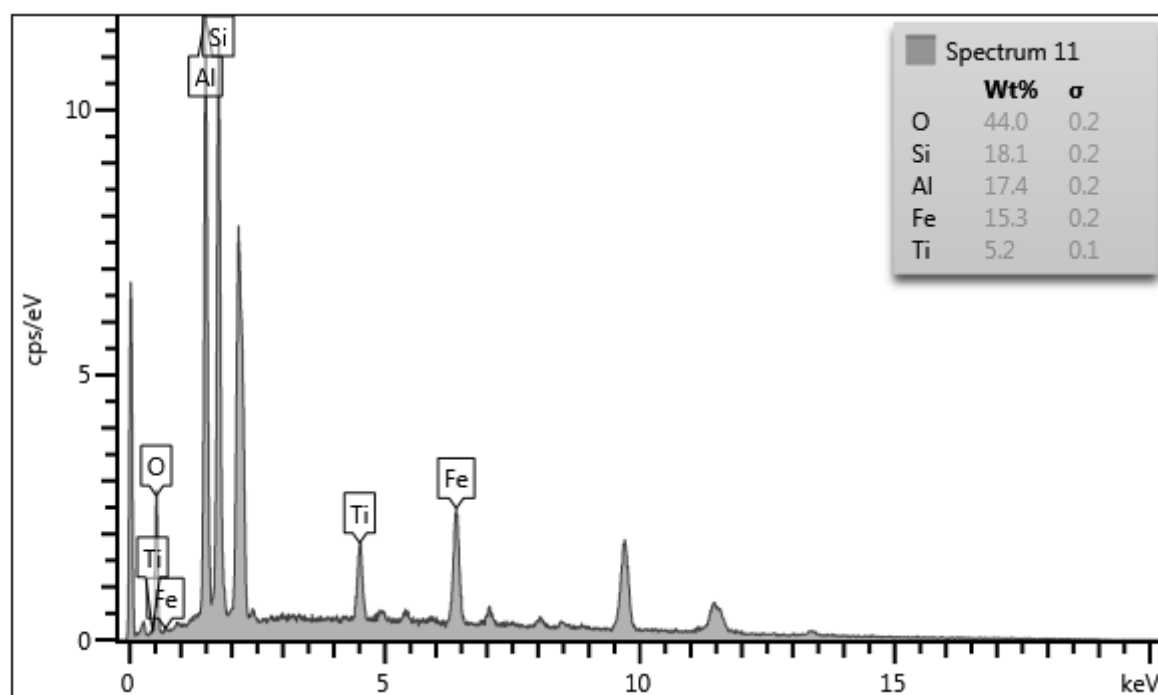


Figura B.12 – Composição Química Pontual do MEV e EDS do Solo do Município de Santa Rita-PB

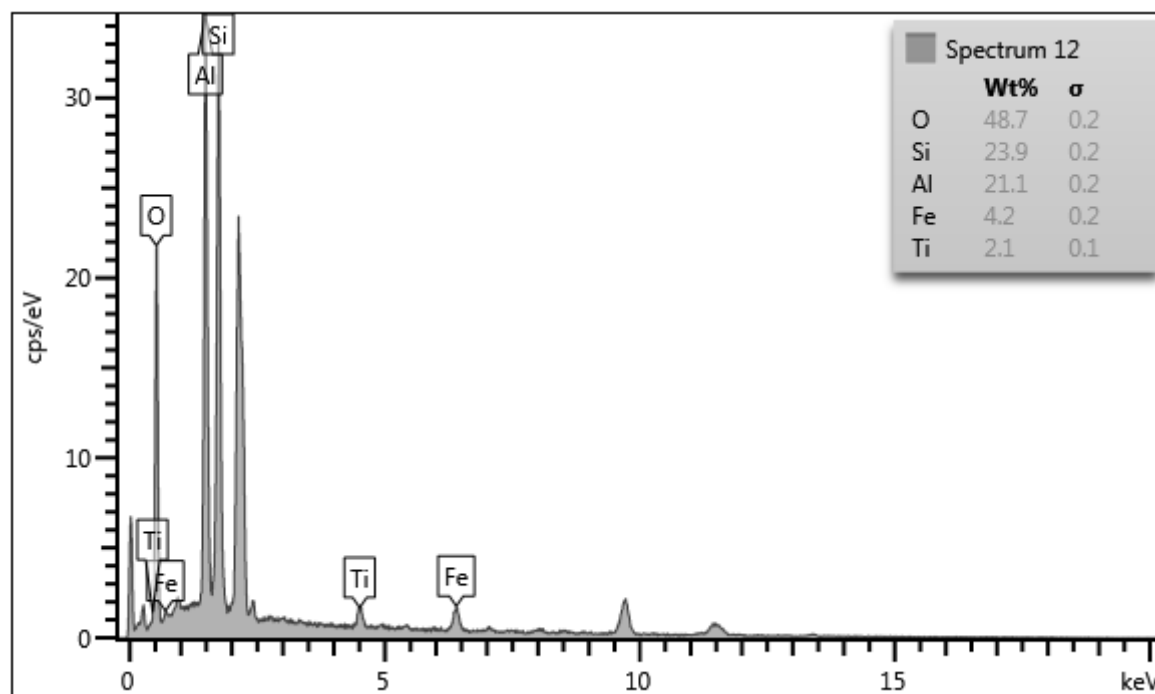


Figura B.13 – Composição Química Pontual do MEV e EDS do Solo do Município de Santa Rita-PB

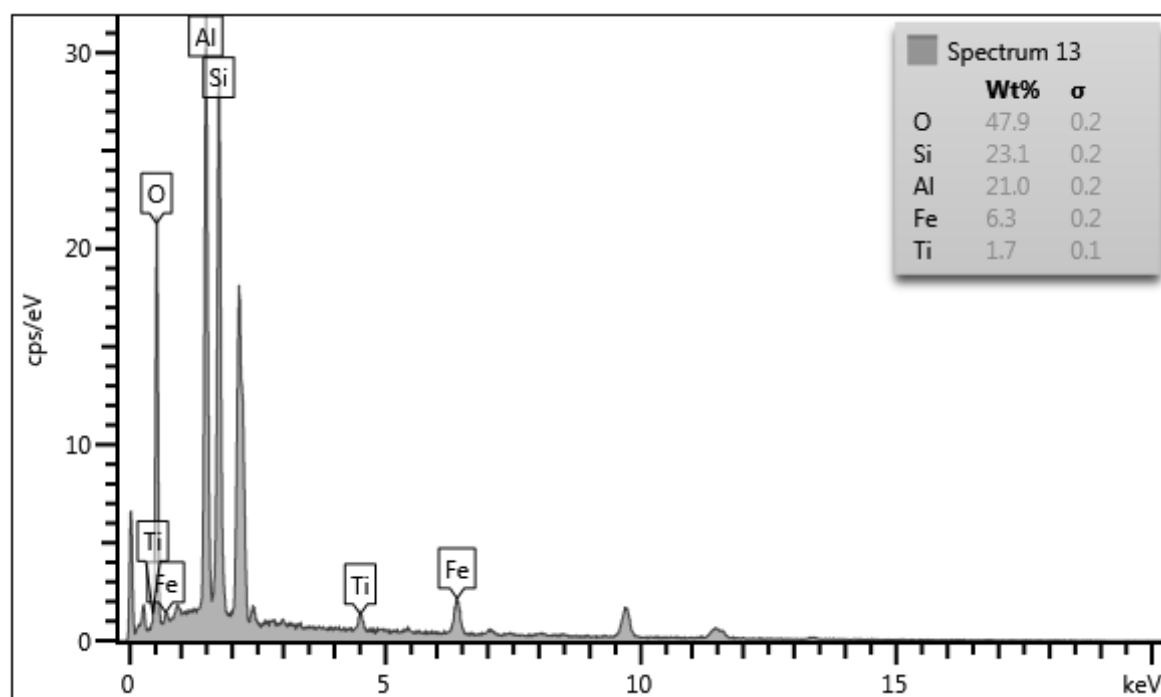


Figura B.14 – Mapa do MEV e EDS do Solo do Município de Santa Rita-PB

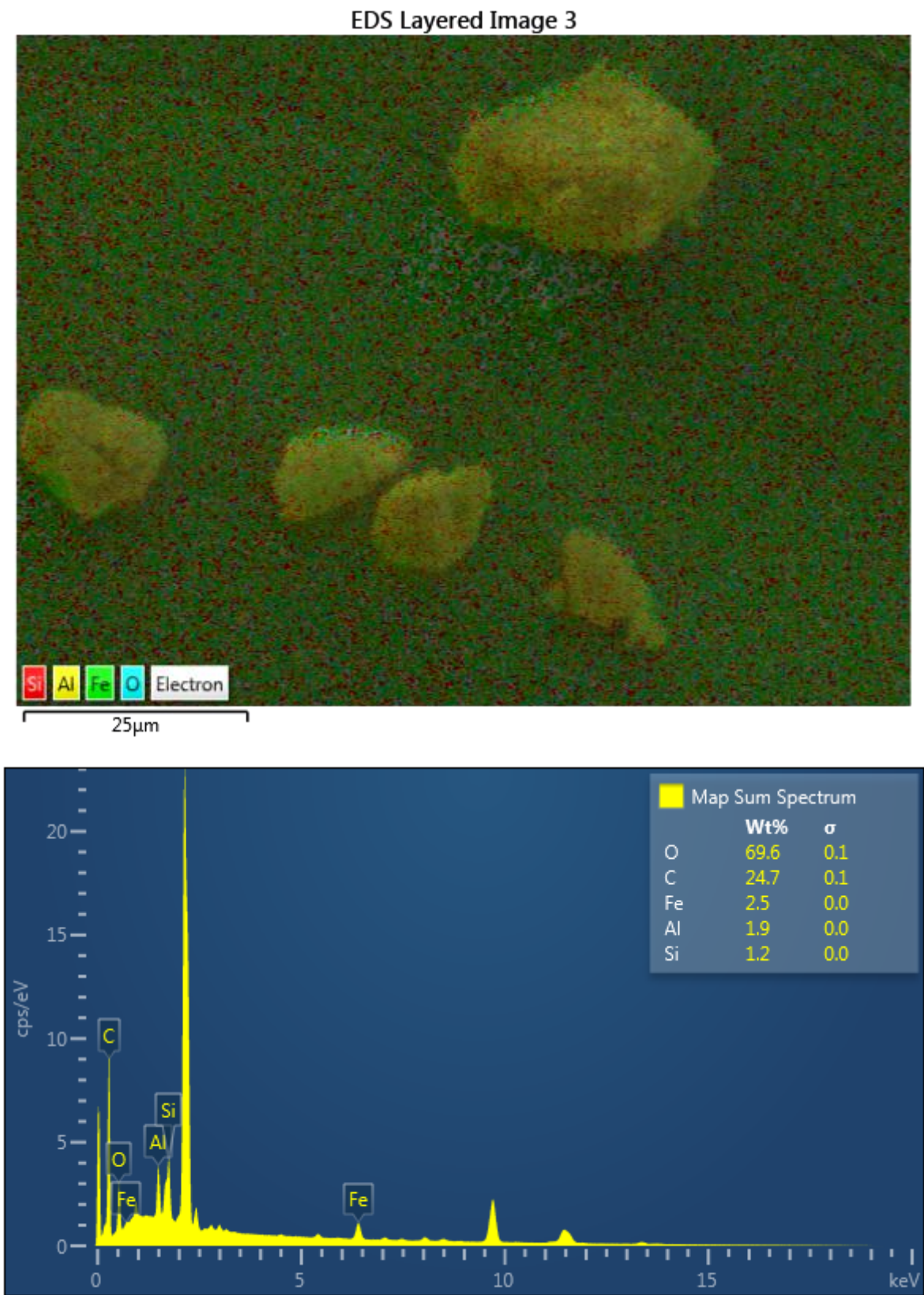


Figura B.15 – Mapa do MEV e EDS do Solo do Município de Santa Rita-PB

