



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS DE PALMAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

FELIPE ARTUR CABRAL BEZERRA

**ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE FILITO COMO
SUBSTITUIÇÃO DE PARCELA DO SOLO EM TIJOLOS DE
SOLO-CIMENTO COM RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL**

Palmas/TO
2021

FELIPE ARTUR CABRAL BEZERRA

**ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE FILITO COMO
SUBSTITUIÇÃO DE PARCELA DO SOLO EM TIJOLOS DE
SOLO-CIMENTO COM RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL**

Monografia foi avaliada e apresentada à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas, Curso de Engenharia Civil para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientadora: Prof. Dra. Orieta Soto Izquierdo

Palmas/TO
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

B574a Bezerra, Felipe Artur Cabral.

ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE FILITO COMO SUBSTITUIÇÃO DE
PARCELA DO SOLO EM TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO COM RESÍDUOS
DE CONSTRUÇÃO CIVIL. / Felipe Artur Cabral Bezerra. – Palmas, TO, 2021.
113 f.

Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus
Universitário de Palmas - Curso de Engenharia Civil, 2021.

Orientadora : Orieta soto Izquierdo

1. Tijolo de solo-cimento. 2. Resíduos da Construção Civil. 3. Filito. 4.
Alvenaria de vedação. I. Título

CDD 624

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

FOLHA DE APROVAÇÃO


FELIPE ARTUR CABRAL BEZERRA

ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE FILITO COMO SUBSTITUIÇÃO DE PARCELA DO SOLO EM TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO COM RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL

Monografia avaliada e apresentada à UFT –
Universidade Federal do Tocantins – Campus
Universitário de Palmas, Curso de Engenharia
Civil para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil e aprovada em sua forma final
pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Data de aprovação: 13 / 05 / 2021

Banca Examinadora



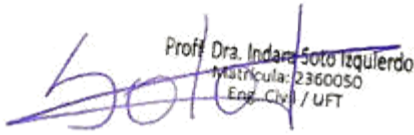
Prof. Dra. Orieta Soto Izquierdo
Matrícula: 2226645
Eng. Civil / UFT

Prof. Dr^a. Orieta Soto Izquierdo (Orientadora), UFT



Mariela C. A. de Oliveira
UFT - Palmas
Mat. 13436414

Prof. Dr^a. . Mariela Cristina Ayres de Oliveira, UFT



Prof. Dra. Indara Soto Izquierdo
Matrícula: 2360050
Eng. Civil / UFT

Prof. Dr^a Indara Soto Izquierdo, UFT

Palmas, 2021

*Trabalho dedicado a Arquiteta e
Coorientadora, Daniella Carvalho de
Mendonça (in memoriam), idealizadora desta
pesquisa.*

AGRADECIMENTOS

A Deus

À minha família pelo apoio contínuo.

À minha orientadora, Prof^a Orieta Soto Izquierdo pela oportunidade na pesquisa, pelo suporte, pelas orientações e contribuições ao meu conhecimento.

As professoras Indara Soto Izquierdo e Mariela Cristina Ayres de Oliveira que compõem a banca e que auxiliaram no aprimoramento desta pesquisa.

À empresa Ambiental Usina de Reciclagem em nome do Sr. Mário, que contribuíram com doação de RCC para a produção desta pesquisa.

À empresa D`Liga FILITO MINERADORA em nome do Sr. Danilo que doaram o Filito para o desenvolvimento da pesquisa.

Ao Laboratório Multiusuário de Microscopia de Alta Resolução (LabMic) da Universidade Federal de Goiás – UFG.

Ao Laboratório de Materiais de Construções da Universidade Federal do Tocantins – UFT em nome da técnica Jéssica Viana pelo auxílio nos ensaios realizados.

Ao Sr. Martinelli que cedeu o local da sua fábrica para a produção dos tijolos e ao amigo Nielson que me auxiliou nesta produção.

Ao Prof^o Marcus Vinícius que me auxiliou nos ensaios relacionados aos solos e me cedeu o espaço do Laboratório de Solos da Universidade Federal do Tocantins – UFT para a execução destes.

Ao Prof^o Adão Lincon B. Montel pelo auxílio na interpretação dos resultados das análises realizadas com o filito.

Aos amigos Gabriel Harison e Dyego Santana que me deram auxílios e contribuíram no processo de obtenção dos resultados de ensaio desta pesquisa.

BEZERRA, Felipe Artur Cabral. **Análise da utilização de filito como substituição de parcela do solo em tijolos de solo-cimento com resíduos de construção civil**. 2021. 113 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil. Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas, 2021.

RESUMO

A aplicação de filito em tijolos de solo-cimento tem o objetivo de proporcionar uma melhoria das características de solos não ideais, possibilitando a ampliação a produção de tijolos de solo-cimento. Assim, foi proposto para esta pesquisa verificar a influência do filito em tijolos de solo-cimento com 20% de resíduo de construção civil, a fim de examinar suas capacidades para a utilização em alvenaria de vedação. A averiguação da influência de filito nos tijolos foi definida pela análise dos índices de absorção de água e das resistências à compressão axial dos tijolos sob a ótica da ABNT NBR 8461: 2012. Os percentuais de filito testados foram de 20%, 30% e 40% de substituição da parcela de solo do tijolo com 20% de RCC. Os resultados mostraram que a inserção de filito nos tijolos aumenta o percentual de absorção de água e, conforme o limite estabelecido por norma, apenas o traço com 40% de substituição por filito ultrapassou o limite estabelecido de 18%, apresentando 23,31% de absorção de água. Para os resultados de resistência à compressão, nenhum dos traços propostos obtiveram resistência superior aos 2 MPa aos 7 dias, onde o traço de maior resistência foi o TJ20-40 (com substituição de 20% de RCC e 40% de filito), com 1,88 MPa. Para os ensaios aos 28 dias, os traços TJ00-00 (sem substituição), TJ20-00 (com substituição de 20% de RCC e 0% de filito) e TJ20-40 (com substituição de 20% de RCC e 40% de filito) alcançaram médias superiores aos 2 MPa. Sendo assim, com base nestes resultados e mediante os critérios estabelecidos por norma ABNT NBR 8461: 2012, nenhum dos traços desta pesquisa pode ser utilizado como tijolos de vedação pela invalidade do critério de resistência mínima com idade de 7 dias. Constatou-se ainda, por meio das análises estatísticas, que a substituição de filito teve ação significativa nos resultados, influenciando variavelmente na resistência à compressão axial e no aumento do índice de absorção de água dos elementos.

Palavras-chaves: Tijolos de vedação. Tijolos ecológicos. Solo-cimento. Resíduos da Construção Civil. Filito.

ABSTRACT

The using of phyllite in soil-cement bricks aims to provide an improvement in the characteristics of non-ideal soils, enabling the expansion of the production of soil-cement bricks. Thereby, it was proposed for this research to verify the influence of phyllite on soil cement bricks with 20% of civil construction waste, in order to assess your ability for use in sealing masonry. The influence of the use of phyllite on the bricks was defined by the analysis of the water absorption indices and the axial compressive strength of the bricks from the perspective of ABNT NBR 8461: 2012. The phyllite percentages tested were 20%, 30%, and 40% replacement of the soil portion of the brick with 20% RCC. The results shown that the insertion of phyllite in the bricks increases the percentage of water absorption and, according to the limit established by norm, only the elements with 40% substitution by phyllite exceeded the established limit of 18%, presenting the value of 23.31% of water absorption. For the results of compressive strength, none of the proposed elements obtained a resistance greater than 2 MPa at 7 days, where the greatest resistance bricks was the type TJ20 40 (with replacement of 20% of RCC and 40% of phyllite), with 1,88 MPa. For the tests at 28 days, the type elements TJ00 00 (without replacement), TJ20 00 (With the replacement of 20% of RCC and 0% of phyllite), and TJ20 40 (with replacement of 20% of RCC and 40% of phyllite) reached averages above 2 MPa. Therefore, based on the results and using the criteria defined by the ABNT NBR 8461: 2012 standard, none of the strokes can be used as sealing bricks due to the invalidity of the minimum resistance criterion at the age of 7 days. It was also found, through statistical analysis, that the replacement of phyllite had a significant effect on the results, influencing variably the resistance to axial compression and increasing the water absorption index of the elements.

Key-words: Sealing bricks. Ecological bricks. Cement soil. Construction waste. Phyllite.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Sistemas de classificação de solos.	23
Figura 2: Curva granulométrica do solo com e sem uso de solução defloculante.....	25
Figura 3: Triângulo de Ferret.....	26
Figura 4: Limites de consistência do solo proposto por Atterberg.....	27
Figura 5: Curva tensão-deformação para os estados limites do solo.....	27
Figura 6: Aparelho de Casagrande.	28
Figura 7: Ensaio de determinação do limite de plasticidade.	29
Figura 8: Sistema de classificação AASHTO - 35% ou menos da amostra passante na peneira n° 200.....	31
Figura 9: Sistema de classificação AASHTO - Mais de 35% da amostra passante na peneira n° 200.	32
Figura 10: Sistema de classificação unificada dos solos (SUCS).	33
Figura 11: Produção do tijolo de adobe.....	36
Figura 12: Tipos de cimento Portland e seus materiais incorporados.	39
Figura 13: Dimensões dos septos de tijolos vazados de solo-cimento.....	43
Figura 14: Dimensões dos septos de tijolos vazados de solo-cimento.....	44
Figura 15: Alvenaria de vedação em estruturas de concreto armado.....	45
Figura 16: Alvenaria estrutural com tijolos de solo cimento.	45
Figura 17: Alvenaria de vedação com tijolos de solo cimento.....	46
Figura 18: Mineral filito pulverizado.	47
Figura 19: Comparação do ganho de resistência de concreto com e sem a adição de pozolana (Cinza volante)	49
Figura 20: Atuação da pozolana adicionada ao cimento Portland.....	50
Figura 21: Classe dos resíduos de construção civil (RCC).	52
Figura 22: Equipamento de reciclagem de resíduos da construção civil – RCC em Palmas-TO.	52
Figura 23: Usina de reciclagem de resíduos da construção civil – RCC em Palmas-TO.....	53
Figura 24: Localização de extração do Solo A utilizado na pesquisa.	57
Figura 25: Cimento utilizado na produção do tijolo de solo-cimento	57
Figura 26: Usina de reciclagem de resíduos de construção civil Ambiental, Palmas-TO.	58

Figura 27: Localização da jazida de extração do filito da empresa D`LIGA FILITO MINERADORA.....	58
Figura 28: Saco de filito pós beneficiamento utilizado na pesquisa.....	59
Figura 29: Quarteador de solos do Laboratório de solos da UFT.	60
Figura 30: Amostras de Solo A (a), RCC (b) e Filito (c) pra as análises no laboratório.....	60
Figura 31: Pesagem das amostras de Solo A (a) e RCC (b) para os ensaios.....	60
Figura 32: Série de peneiras utilizadas para o peneiramento fino.....	61
Figura 33: Equipamentos para o ensaio do Limite de Liquidez realizado no laboratório de solos da UFT.....	62
Figura 34: Ensaio do limite de plasticidade do Solo A no laboratório de solos da UFT.	62
Figura 35: Imagem do mineral Filito realizada pelo Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).....	63
Figura 36: Homogeneização do solo para a moldagem dos tijolos.	65
Figura 37: Realização do ensaio táctil-visual.....	65
Figura 38: Conjunto peneira, esteira e prensa motorizada na fábrica de produção do tijolo de solo cimento.....	66
Figura 39: Prensa hidráulica de produção do tijolo de solo-cimento	67
Figura 40: Tijolos de solo-cimento produzidos na pesquisa (exceto o traço TJ20-40).....	67
Figura 41: Tijolos de solo-cimento produzidos na pesquisa. (a) Tipos TJ00-00 a TJ20-30 e (b) TJ20-40.....	68
Figura 42: Ilustração do corpo de prova preparado para o ensaio com duas faces invertidas superpostas.	70
Figura 43: Corte dos tijolos para a preparação do capeamento e ensaio a compressão. (a) 5 Tijolos do traço TJ20-20 e (b) Tijolo do traço TJ20-30.....	71
Figura 44: Capeamentos dos tijolos de solo-cimento com pasta de cimento CP-IV.....	71
Figura 45: Prensa Quanteq modelo UTM – Q30.000 da UFT.	72
Figura 46: Tijolo rompido após o ensaio de compressão axial.	73
Figura 47: Tijolos utilizados no ensaio de absorção (3 unidades por traço produzido).	69
Figura 48: Secagem dos tijolos do traço TJ20-40 em estufa para obtenção da massa seca.	69
Figura 49: Pesagem dos tijolos após 24 horas submersos para obtenção da massa úmida.	70
Figura 50: Fase de descanso do solo (a) mistura do material (b) e retirada de ar por bomba de vácuo (c) para o ensaio de determinação da massa específica.	76
Figura 51: Curva Granulométrica do SOLO A por meio do peneiramento fino.....	77

Figura 52: Curva Granulométrica do RCC por meio do peneiramento fino.	78
Figura 53: Curva Granulométrica do Filito por meio do peneiramento fino.....	79
Figura 54: Curva de determinação do Limite de Liquidez do Solo A (a), RCC (b) e Filito (c).	80
Figura 55: Imagem do material filítico em escala microscópica (x3000).	81
Figura 56: Resultado do MEV na amostra de Filito no ponto 1 e ponto 6.....	82
Figura 57: Box Plot dos dados de absorção de água de todos os dados ensaiados.	86
Figura 58: Comparação da média de resistência dos tijolos aos 7 e 28 dias.	91
Figura 59: Verificação do tijolo do traço TJ20-20 rompido com porções de solo não homogeneizados.	93
Figura 60: Box Plot dos valores de compressão dos 7 dias.....	94
Figura 61: Box Plot dos valores de compressão aos 28 dias.....	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Avaliação qualitativa do índice de plasticidade do solo.....	29
Tabela 2: Principais constituintes do cimento.	38
Tabela 3: Requisitos para o solo conforme a ABNT NBR 10833: 2012.	41
Tabela 4: Características das prensas manuais e mecanizadas.....	42
Tabela 5: Tipos e dimensões nominais dos tijolos de Solo-Cimento.....	43
Tabela 6: Ensaio a serem realizados para caracterização do solo.....	62
Tabela 7: Traços para a produção de tijolo de solo cimento com RCC e filito.....	64
Tabela 8: Quantitativo de amostras de tijolo de solo-cimento produzidas.....	66
Tabela 9: Umidade higroscópica dos solos	75
Tabela 10: Massa específica do Solo A e do RCC.....	75
Tabela 11: Percentuais de material retido e passante na peneira #200 (0,075 mm).....	76
Tabela 12: Valores do Limite de Liquidez dos solos analisados.....	79
Tabela 13: Limites de plasticidade e índice de plasticidade dos solos analisados.	81
Tabela 14: Composição química dos principais minerais do Filito.....	82
Tabela 15: Análise quantitativa de amostra de rocha do filito realizada pela D`Liga Filito Mineradora (2013).....	83
Tabela 16: Resultados do ensaio de absorção para os traços de tijolos produzidos.....	84
Tabela 17: Teste de normalidade dos dados de absorção de água por meio do teste de Shapiro- wilk.....	85
Tabela 18: Teste de Levene para verificação de homogeneidade das amostras.....	86
Tabela 19: Teste de ANOVA para os dados de absorção de água.	87
Tabela 20: Post-hoc de Tukey HSD/Kramer para os dados de absorção de água.....	87
Tabela 21: Teste T independente dos dados de absorção de água.....	88
Tabela 22: Resistência média aos 7 dias, DP e Coef. De Variação dos traços.....	89
Tabela 23: Resistência média aos 28 dias, DP e Coef. De Variação dos traços.....	90
Tabela 24: Ganho percentual de resistência aos 28 dias em relação ao valor de 7 dias.....	91
Tabela 25: Teste de normalidade dos dados de compressão aos 7 dias.	95
Tabela 26: Teste de normalidade dos dados de compressão aos 28 dias.	95
Tabela 27: Teste de Levene para verificação de homogeneidade das amostras aos 7 e 28 dias.	95
Tabela 28: Teste de ANOVA com correção de Welch para os dados de 07 dias.	96

Tabela 29: Post-hoc pelo teste de Games-Howel para os dados de 07 dias.....	96
Tabela 30: Teste de ANOVA para os dados de 28 dias.	97
Tabela 31: Post-hoc de Tukey HSD/Kramer para os dados de 28 dias.....	97
Tabela 32: Teste T independente para os dados de 7 dias.....	98
Tabela 33: Teste T independente para os dados de 28 dias.....	99

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IP	Índice de Plasticidade
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Liquidez
MPa	Megapascal
PIB	Produto Interno Bruto
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RCC	Resíduos da Construção Civil
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SUCS	Sistema Unificado de Classificação do Solo
USDA	Departamento de Agricultura dos Estados Unidos

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	16
1.1	Problema de pesquisa	19
1.1.1	Hipótese	19
1.1.2	Delimitação de escopo	19
1.2	Justificativa	20
1.3	Objetivos	21
1.3.1	Objetivo Geral	21
1.3.2	Objetivos Específicos	21
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22
2.1	Solo	22
2.1.1	Análise granulométrica do solo	24
2.1.2	Limites de Atterberg	26
2.1.2.1	<i>Limite de liquidez</i>	27
2.1.2.2	<i>Limite de plasticidade</i>	28
2.1.2.3	<i>Índice de plasticidade</i>	29
2.1.2.4	<i>Atividade de argila</i>	29
2.1.3	Sistemas de classificação dos solos	30
2.1.3.1	<i>Sistema ASSHTO</i>	30
2.1.3.2	<i>Sistema SUCS</i>	32
2.1.4	Estabilização	34
2.1.4.1	<i>Estabilização mecânica</i>	34
2.1.4.2	<i>Estabilização física</i>	35
2.1.4.3	<i>Estabilização química</i>	35
2.1.5	Solo como material de construção	35
2.1.5.1	<i>Tijolo de adobe</i>	36
2.1.6	Solos de Palmas - TO	37
2.2	Cimento	37
2.3	Solo-cimento	40
2.3.1	Tijolo de solo-cimento	40
2.4	Alvenaria	44
2.5	Filito	46
2.6	Pozolanas	49

2.7	Resíduos de construção civil (RCC)	51
2.8	Pesquisas anteriores	53
3.	METODOLOGIA	55
3.1	Metodologia da Pesquisa	55
3.2	Procedimentos Metodológicos	56
3.2.1	Materiais	56
3.2.2	Métodos	59
3.2.2.1	<i>Caracterização dos materiais</i>	59
3.2.2.2	<i>Análise do Filito</i>	63
3.2.2.3	<i>Traço do tijolo de solo-cimento</i>	63
3.2.2.4	<i>Produção do tijolo de solo-cimento</i>	65
3.2.2.5	<i>Ensaio de absorção de água dos tijolos de solo-cimento</i>	68
3.2.2.6	<i>Ensaio de Compressão axial dos tijolos de solo-cimento</i>	70
3.2.2.7	<i>Análise estatística dos dados</i>	73
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	75
4.1	Caracterização dos materiais	75
4.1.1	Umidade higroscópica e Massa específica	75
4.1.2	Granulometria e classificação dos solos	76
4.1.3	Limite de liquidez	79
4.1.4	Limite de Plasticidade	81
4.2	Análise do Filito	81
4.3	Ensaio de absorção de água	84
4.3.1	Análise estatística do ensaio de absorção.	85
4.4	Ensaio de resistência à compressão axial	89
4.4.1	Análise estatística do ensaio de resistência à compressão axial	94
5.	CONCLUSÃO	101
	REFERÊNCIAS	103
	ANEXO A – Solos presentes no município de Palmas-TO.	108
	ANEXO B – Resultados da Microscopia Eletrônica De Varredura no mineral Filito.	109

1. INTRODUÇÃO

O setor da construção civil obteve importância inquestionável dentro da economia brasileira no presente século (FRANCO DE OLIVEIRA, 2012). Segundo dados do SEBRAE (Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas), de 2019, este setor representava cerca de 6,5% do PIB nacional, empregando pouco mais de 6,7 milhões de trabalhadores. Conforme publicado pelo IBGE na Pesquisa Anual da Indústria da Construção (PAIC, 2017), o grupo de produtos com maior participação no setor de construção foram as obras residenciais, com o percentual de 24,3% dos projetos executados.

Um contribuinte direto para este índice é o déficit habitacional existente no país. Isso porque, segundo dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) de 2017, estima-se uma insuficiência de 7,7 milhões de residências em todo o Brasil. Assim, com a necessidade de construir habitações, as alternativas de suprir esta demanda surgem com construções de baixo custo. Desse modo, o objetivo de adotar esse tipo de construções é atender a demanda repressada ao longo das últimas décadas de maneira mais célere e, com isso, possibilitar a igualdade de oferta e procura por habitações no país.

Para isso, o desenvolvimento de novos materiais e novas técnicas construtivas são essenciais para a evolução da indústria de construção civil no combate ao déficit habitacional existente. Este é um dos aspectos incluídos nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU). No item 9 deste documento, é um objetivo mundial, “construir uma infraestrutura resiliente, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação” e, portanto, tratar os recursos com maior eficiência tornando os processos industriais mais limpos. Dentro deste contexto, em pesquisas realizadas nas últimas décadas, o tijolo de solo-cimento se mostrou como uma alternativa viável para a alvenaria de vedação, visto que, este pode apresentar características favoráveis quando comparados aos tijolos cerâmicos convencionais.

O tijolo de solo-cimento tem processo de produção limpo, onde, ao contrário dos tijolos cerâmicos, não há necessidade de queima. A produção do tijolo de solo-cimento é feita pela mistura de cimento e solo na proporção de 1:10 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2004) e com a adição de água até a consistência de molde. No entanto, a produção do tijolo de solo-cimento pode ser limitada pela qualidade dos solos disponíveis. Isso porque, segundo a ABNT NBR 10833: 2012, os solos ideais a serem utilizados para a produção do tijolo de solo cimento devem ter características específicas de granulometria (100% passando na peneira ABNT 4,8mm - n.º 4), percentual de finos passante na peneira ABNT 0,075mm (n.º

200) entre 10% a 50%, limite de liquidez menor ou igual a 45% e limite de plasticidade menor ou igual a 18).

Algumas pesquisas foram realizadas com a finalidade de modificar o tijolo de solo-cimento, incorporando a ele materiais residuais. O objetivo dessas adições é, em resumo, destinar o material descartado na etapa final de alguns processos industriais para novas funcionalidades. Como exemplo, Miranda (2019) analisou a substituição em massa da parcela do solo por 10%, 20% e 30% de resíduos de construção civil (RCC) do tipo A na produção do tijolo de solo cimento. Em sua pesquisa, o autor verificou que a substituição em massa do solo por 20% de resíduos de construção civil (RCC) é viável para a produção de tijolos ecológicos, possibilitando assim, uma alternativa de destinação destes resíduos.

Na pesquisa conduzida por Miranda (2019), o solo utilizado foi escolhido pelo critério de maior facilidade de obtenção no ambiente urbano de Palmas -TO, onde, conforme o autor, destaca-se a presença dos latossolos vermelhos-amarelos distróficos. Com base nos dados levantadas pelo RADAMBRASIL realizado pelo IBGE em 1981, as características do solo do ambiente urbano de Palmas apresentam a dominância de um solo de textura média, concrecionário de relevo plano/suave, ondulado com parcela subdominante distrófica de atividade de argila baixa (LVd – 18). Segundo Miranda (2019), este solo utilizado não cumpriu com as características previstas pela ABNT NBR 10833: 2012 conforme citado anteriormente, sendo necessário compor a parcela de solo utilizada na produção do tijolo com outro solo de melhor qualidade.

Nesse contexto, a produção de tijolos de solo-cimento com solos de baixa qualidade deve ser acompanhada por um processo de estabilização mais aprimorado com utilização de materiais e processos que garantam o melhoramento do solo. Para isso, o mineral filito poderá ser utilizado com esse objetivo, atuando como estabilizante, melhorando as características do solo e auxiliando no desempenho do tijolo de solo-cimento. Esse mineral é produto de uma rocha metamórfica e são compostos majoritariamente por alumínio e silício, conforme dados da análise por microscopia eletrônica de varredura apresentada no Anexo B deste estudo. A granulometria extremamente fina do filito é composto essencialmente por filossilicatos como caulinita, quartzo e mica (muscovita e sericita), com percentuais variáveis dependendo da jazida (VALERA et.al., 2002; ABREU, 1973).

As rochas de filito apresentam certa facilidade em ser pulverizadas e, com isso, torna este um material de baixo valor agregado (MELO, 2012). Portanto, o filito pode ser utilizado como material alternativo, com a finalidade de baratear custos de alguns processos industriais.

Em um estudo sobre a utilização do filito na composição de materiais cimentícios, Melo (2012) verificou propriedades geopoliméricas no filito, com efeitos semelhantes ao Metacaulim e a cinza volante. Ademais, os filitos podem substituir parcialmente argilas e feldspatos (BIONDI et al, 2004), e por apresentar potencial coesivo, o uso deste mineral pode favorecer o desempenho do tijolo de solo-cimento quando forem utilizados solos mais arenosos, tendo baixa qualidade segundo os critérios da ABNT NBR 10833: 2012.

Assim, o presente trabalho buscará trazer uma continuidade na pesquisa do Miranda (2019), onde será utilizada o traço analisado por ele com a substituição em massa de 20% do solo por resíduo de construção civil (RCC) e adicionando também o mineral filito, com a finalidade de verificar o desempenho do tijolo segundo a ABNT NBR 8491: 2012. Desse modo, será possível produzir tijolos de solo-cimento com solos de baixa capacidade coesiva, como os solos presentes no ambiente urbano de Palmas (TO), mediante a substituição de uma parcela da massa do solo por filito.

1.1 Problema de pesquisa

Dentro do contexto da produção de tijolos de solo-cimento na cidade de Palmas -TO, podemos verificar que o solo de maior abundância dentro do ambiente urbano não apresenta as características essenciais para qualidade do produto final (MIRANDA, 2019). Desse modo, a utilização de filito como substituição do solo na produção de tijolos de solo-cimento com 20% de resíduo de construção civil, conforme proposto por Miranda (2019) para alvenaria de vedação, pode se apresentar como uma solução para a correção da qualidade do solo para o tijolo de solo-cimento?

1.1.1 Hipótese

Com base em resultados de pesquisas relacionadas a adição de resíduos de construção civil em tijolos de solo-cimento, é possível obter, com a porcentagem de 20% de RCC, elementos que atendem as especificações técnicas propostas pela ABNT NBR 8491: 2012 (MIRANDA, 2019). Já o filito se apresenta como alternativa de uso no beneficiamento de solos de solo-cimento por apresentar teores elevados de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 , apresentando capacidades pozolânicas (ABNT NBR 12653: 2014) e, por ser composto majoritariamente por alumínio e silício, possui propriedades geopoliméricas com características de “filler” (MELO, 2012). Assim, os tijolos de solo-cimento obtidos com a utilização dos materiais propostos irão atender aos critérios de desempenho e poderão ser utilizados na construção civil como alvenaria de vedação.

1.1.2 Delimitação de escopo

Este trabalho busca analisar a utilização de filito em proporções determinadas na produção de tijolo de solo-cimento com 20% de resíduos de construção civil (RCC). Com base nos resultados dos traços apresentados, será verificada a possibilidade da produção de tijolos solo-cimento para a utilização em alvenaria de vedação, além de verificar seu comportamento mediante os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 8491: 2012.

1.2 Justificativa

Os estudos envolvendo a produção de novos materiais para a construção têm se tornado cada vez mais abrangentes e necessários dentro do cenário da engenharia civil como indústria de produção. Neste sentido, os tijolos de solo-cimento têm obtido grande relevância nas últimas décadas, uma vez que, este produto tem se mostrado viável para a utilização como alvenaria de vedação.

As grandes vantagens na utilização do tijolo de solo-cimento estão relacionadas à praticidade, tempo de execução, processo de produção sem necessidade de queima e outras vantagens (WEBER et al, 2007). Contudo, segundo os autores, os custos de unidades por metro quadrado destes elementos são superiores aos custos de unidades por metro quadrado dos tijolos cerâmicos convencionais. Entretanto, ainda segundo Weber et al (2007), os custos das unidades podem ser reduzidos quando a produção é feita *in loco*.

Um dos grandes limitantes para a produção *in loco* dos tijolos de solo-cimento diz respeito à qualidade dos solos disponíveis. Ainda, tornou-se de suma importância nas últimas décadas uma análise ambiental mais holística sobre o extrativismo dos solos, o que pode tornar a produção em larga escala dos tijolos limitada pela legislação ambiental sobre os solos a serem extraídos. No ambiente urbano de Palmas -TO, o solo de maior abundância na superfície são os latossolos vermelhos-amarelos distróficos. Segundo Miranda (2019) este não apresenta qualidade técnica segundo a ABNT NBR 10833: 2012 para a produção dos tijolos de solo-cimento e, portanto, necessitam de uma complementação.

O filito pode se tornar uma alternativa para a correção e melhoramento da parcela de solo do tijolo de solo-cimento com 20% da massa de solo substituída por resíduo de construção civil produzido por Miranda (2019). A adição do filito em percentual controlado poderá corrigir as condições encontradas para os limites de liquidez e limite de plasticidade, e além disso, pode proporcionar ao tijolo em estudo, melhores condições de absorção de água e resistência mecânica à compressão axial. Desse modo, será possível manter a destinação dos resíduos de construção civil para a produção dos tijolos, possibilitar a utilização de solos menos favorecidos ao processo e gerar um produto final com índices mais visíveis de desempenho e durabilidade.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Esta pesquisa tem como objetivo geral estudar o desempenho de tijolos de solo-cimento com 20% de resíduos da construção civil (RCC) com substituição parcial da massa do solo por diferentes proporções de filito, produzidos em prensa motorizada para a utilização como alvenaria de vedação.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para dar cumprimento ao objetivo geral foram traçados os seguintes objetivos específicos:

1. Caracterizar o solo, resíduo de construção civil e filito para a produção de tijolos de solo-cimento por meio de ensaios normatizados.
2. Obter as características químicas do mineral filito.
3. Produzir dos tijolos de solo-cimento com a substituição parcial do solo por 20% de RCC e por proporções de 20%, 30% e 40% de filito por meio da prensa hidráulica da Alroma.
4. Analisar as propriedades mecânicas (resistência à compressão simples) e propriedade física (absorção de água) dos tijolos fabricados com base na ABNT NBR 8491: 2012.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este tópico apresenta o embasamento teórico para o desenvolvimento do tema desta pesquisa. Assim, serão abordados os assuntos relacionados à construção do tijolo de solo-cimento proposto. Serão abordados temas referentes à matéria prima base do tijolo, o solo, suas características e mecanismos de classificação e melhoramento, e, além deste, o cimento e suas propriedades. Por conseguinte, será tratado os materiais alternativos incorporados, a fim de contextualizar o uso de resíduo de construção civil (RCC) e o filito na composição do tijolo de solo-cimento.

2.1 Solo

O solo é o produto resultante do processo de decomposição das rochas quando submetidas aos intemperismos, principalmente, físicos e químicos (GONÇALVES, 2014). Devido à grande variedade mineralógica presente no planeta terra, as propriedades químicas, físicas e mecânicas são as características básicas que diferenciam os tipos de solos (DAS, 2007). As concentrações de minerais no solo definem suas particularidades, de modo que, a variedade dos solos existentes depende diretamente de fatores ligados ao próprio intemperismo das rochas (temperatura, intensidade, pressão, duração, entre outros), o que torna o solo de um determinado lugar único.

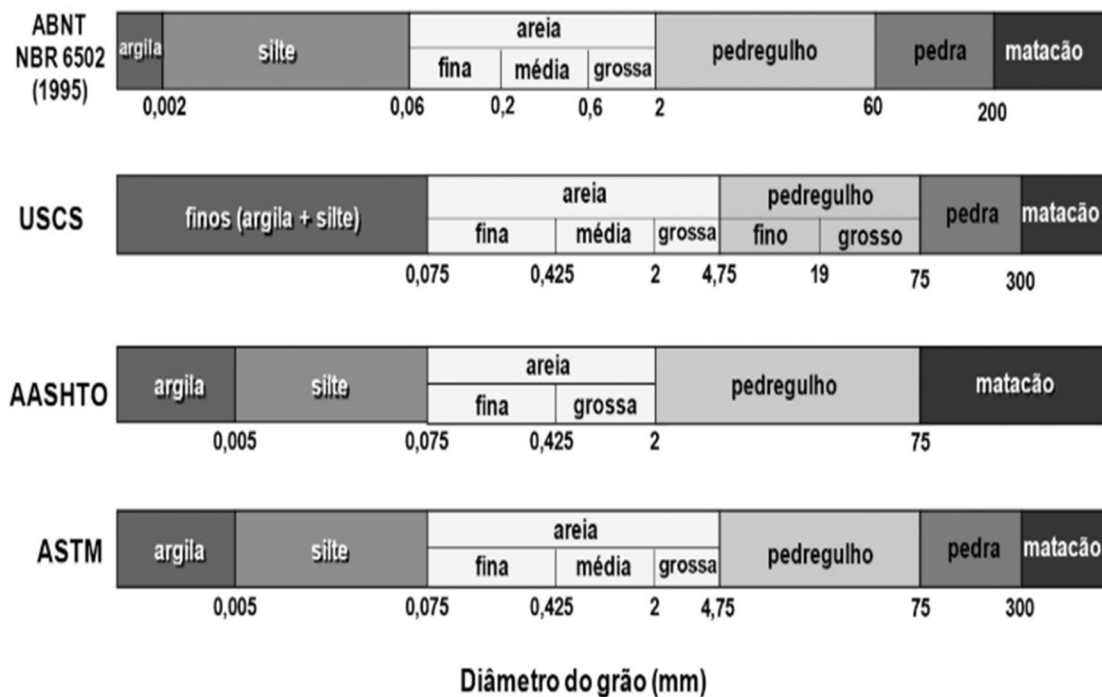
É possível ainda fabricar solos por meio de técnicas de decomposição mecânica de rochas. Esse processo é realizado quando há necessidade de um solo com características que atendam a um determinado uso. Portanto, para que se tenha resultados satisfatórios, é importante o conhecimento das jazidas de empréstimo quanto às suas propriedades, para que o solo produzido tenha tais características (SANTIAGO, 2001).

O conhecimento técnico do solo é de grande valia para as engenharias, visto que seu uso é inevitável dentro dessas áreas. Primeiramente, o solo é o meio de dissipação de cargas das estruturas construídas. Além disso, o solo tem sua importância como material de construção na produção de aterros, barragens, pavimentos, elementos de vedação, composição de argamassas, concretos, grautes, entre outras destinações. A importância do conhecimento do solo também é relevante para a prevenção de colapsos estruturais como os recalques, deslizamentos e rompimentos de encostas e/ou barragens (DAS, 2007).

A identificação dos solos é feita principalmente pelo tamanho das partículas que compõem a amostra. Segundo Das (2007), os solos são conhecidos como pedregulhos, areias, siltes e argilas conforme a predominância de um determinado tamanho de partículas. Essa

classificação é determinada por alguns sistemas, conforme apresentado na Figura 1, por meio da definição do diâmetro das partículas granulares.

Figura 1: Sistemas de classificação de solos.



Fonte: <http://www.suportesolos.com.br/blog/> (2018).

Apesar das divergências entre os modelos quanto aos limites dos tipos de solo, tanto a classificação elaborada pela AASHTO, quanto o sistema proposto pela Unified Soil Classification System (Sistema Unificado de Classificação dos solos) e aprimorado pela American Society for Testing and Materials (ASTM) são universalmente aceitos no meio acadêmico.

Das (2007) define os pedregulhos como partículas fracionadas de rocha compostas, em sua maioria, por quartzo, feldspatos e outros minerais. Já as areias são formadas, em sua maioria, por feldspatos e Quartzos. Os siltes são compostos de grãos microscópicos muito finos de quartzo e outros fragmentos de outros minerais em formas de placas. Ainda segundo o autor, as argilas são partículas de geometria majoritariamente laminada, com dimensões microscópicas e submicroscópicas compostas por argilominerais, mica e outros minerais.

Dentre os tipos de partículas mencionadas, as argilas apresentam características interessantes e modificam o comportamento do solo quando presentes. As argilas são definidas pela capacidade de desenvolver plasticidade quando submetidas a quantidades finitas de água (GRIM, 1945). Portanto, podemos classificar os solos mediante análise do comportamento

plástico apresentado, uma vez que areias e siltes não manifestam, por si só, tal comportamento quando umedecidos.

Uma outra característica apresentada pela argila, é a resistência em estado seco, o que não ocorre em areias e siltes. Quando submerso em água, o solo argiloso passa por um processo de desagregação mais lento que solos de silte. Além disso, a dispersão em água de partículas argilosas é mais demorada quando comparada às areias por exemplo, que se depositam rapidamente no fundo do recipiente (SANTIAGO, 2001).

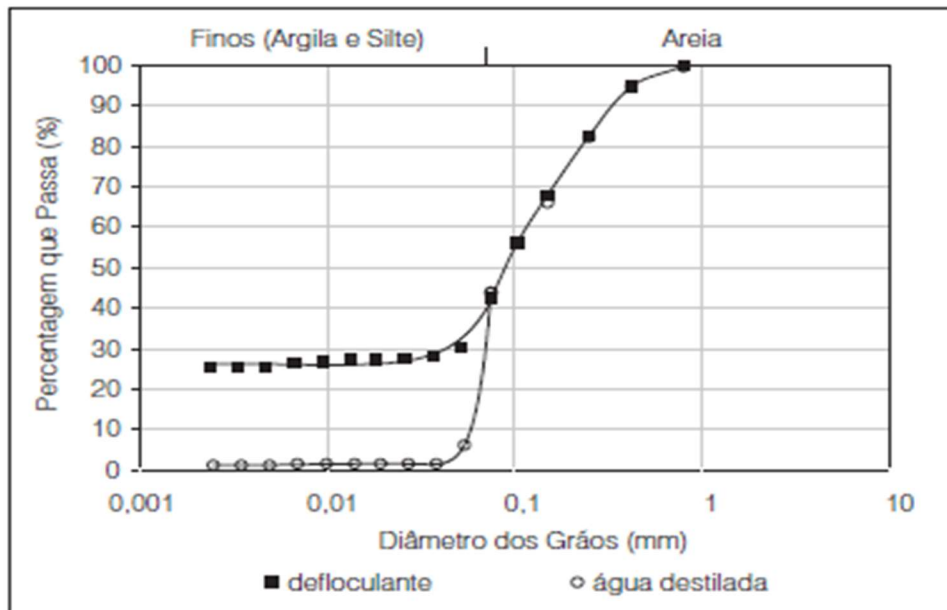
2.1.1 Análise granulométrica do solo

Conforme Gonçalves (2014), a identificação da distribuição granulométrica do solo é realizada mediante a determinação da faixa de tamanho das partículas expressa pela porcentagem do peso total seco. Para isso, dois métodos são executados para obtenção da faixa granulométrica do solo. O primeiro é o ensaio de peneiramento, para partículas com diâmetros maiores que 0,075 mm, e o segundo, é o ensaio de sedimentação, para partículas com diâmetros menores que 0,075 mm (DAS, 2007).

O ensaio de peneiramento é executado mediante a passagem de solo em peneiras, iniciando pelas de maior abertura até a menor da série, a peneira de número 200 ou 0,075 mm. Para este ensaio, o solo deve ser previamente seco em estufa e posteriormente destorroado em pequenas partículas individuais. No entanto, quando se trabalha com solos mais coesos, a execução do destorroamento do solo pode ser uma tarefa difícil, e, portanto, poderá ser feita a adição de água na amostra, tornando-a uma pasta fluida e depois lavada através das peneiras, explica Das (2007). O dado a ser coletado ao final do peneiramento será o valor proporcional de massa de solo retida em cada peneira em relação à massa total do solo.

O ensaio de sedimentação é realizado com a utilização de uma proveta com água e substância dispersante, a fim de se medir a velocidade de queda das partículas. Segundo Rodrigues (2010) não utilização de substância defloculante na amostra de solo pode tornar os resultados não reais, uma vez que, partículas unidas serão admitidas com diâmetros incoerentes com a realidade do solo, alterando a curva granulométrica, conforme verificado na Figura 2.

Figura 2: Curva granulométrica do solo com e sem uso de solução defloculante.



Fonte: Rodrigues (2010)

Nesta proveta é inserido o solo fino passante na peneira de abertura 0,075 mm e em seguida realizar as medições com um densímetro coletando a variação de densidade do fluido com o tempo (GONÇALVES, 2014). Com a coleta destas informações, é calculado a diâmetro das partículas por meio da lei de Stokes descrita na Equação 1, onde se relaciona a velocidade de queda (v) das partículas com a viscosidade do fluido (μ), peso específico do fluido (γ_w), peso específico do material (γ_s) e o diâmetro das partículas (D).

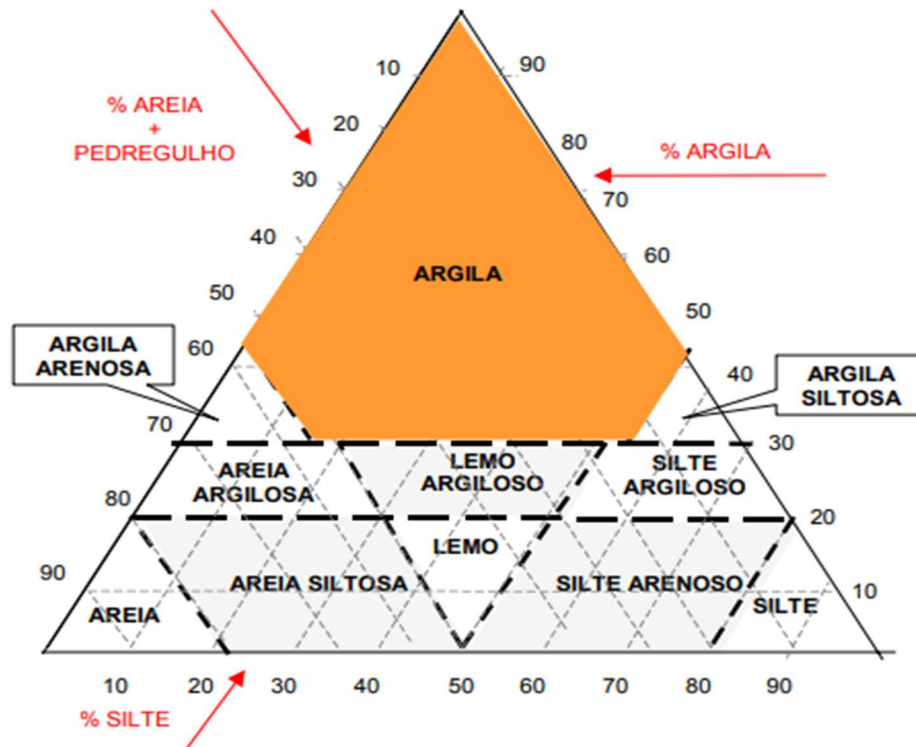
$$v = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{18\mu} D^2 \quad \text{Equação 1.}$$

Com os valores dos diâmetros coletados dos ensaios na amostra de solo é possível estabelecer a relação com o percentual em massa passante em cada peneira na porção de areia do solo e o percentual de sedimentação da porção de silte e argila (DAS, 2007). Com a definição da curva granulométrica do solo, semelhante a exibida na Figura 2, é possível determinar os parâmetros do solo (coeficiente de uniformidade, diâmetro efetivo, coeficiente de curvatura e coeficiente de segregação) e o nível de graduação do mesmo (bem-graduado, mal graduado ou graduação descontínua).

O primeiro sistema de classificação dos solos é definido pelos percentuais de areia, silte e argila presentes. Ferret desenvolveu um ábaco triangular com o qual é possível definir o nome dado ao solo mediante estes percentuais presentes. O triângulo de Ferret, visualizado na Figura

3, a seguir, apresenta a nomenclatura dos solos constituídos por areia, silte e argila (ALMEIDA, 2004).

Figura 3: Triângulo de Ferret.



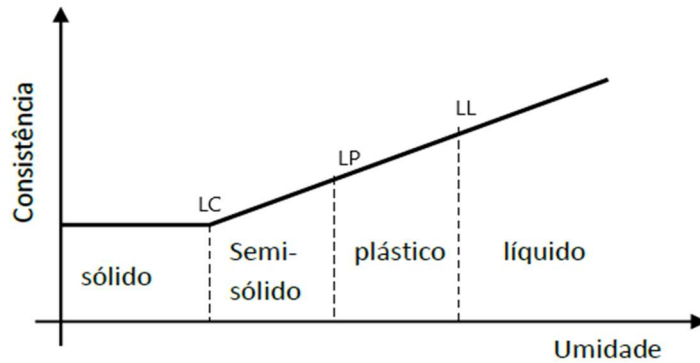
Fonte: Almeida (2004).

2.1.2 Limites de Atterberg

Sob a ótica da engenharia, o comportamento do solo depende de muitas outras variáveis além da simples definição granulométrica, principalmente quando tratamos de solos finos (GONÇALVES, 2014). O solo se apresenta como um modelo trifásico composto por material sólido e vazios. Esses vazios se apresentam preenchidos por água na forma natural do solo, e, portanto, define-se o solo como um sistema composto por sólidos, água e ar (DAS, 2007).

Assim, além da já mencionada análise granulométrica, a relação entre parte sólida e parte vazia (água e ar) se apresenta como as indicações físicas do solo, sendo por meio destas relações, identificar os índices de vazios, porosidade, pesos específicos, teor de umidade, entre outros. Sobre o teor de umidade no solo, um cientista sueco chamado Atterberg (1877), partindo da verificação de mudança do estado do solo diante da variação de umidade, estabeleceu um padrão escalar desta relação como a variação da consistência do solo conforme visto na Figura 4.

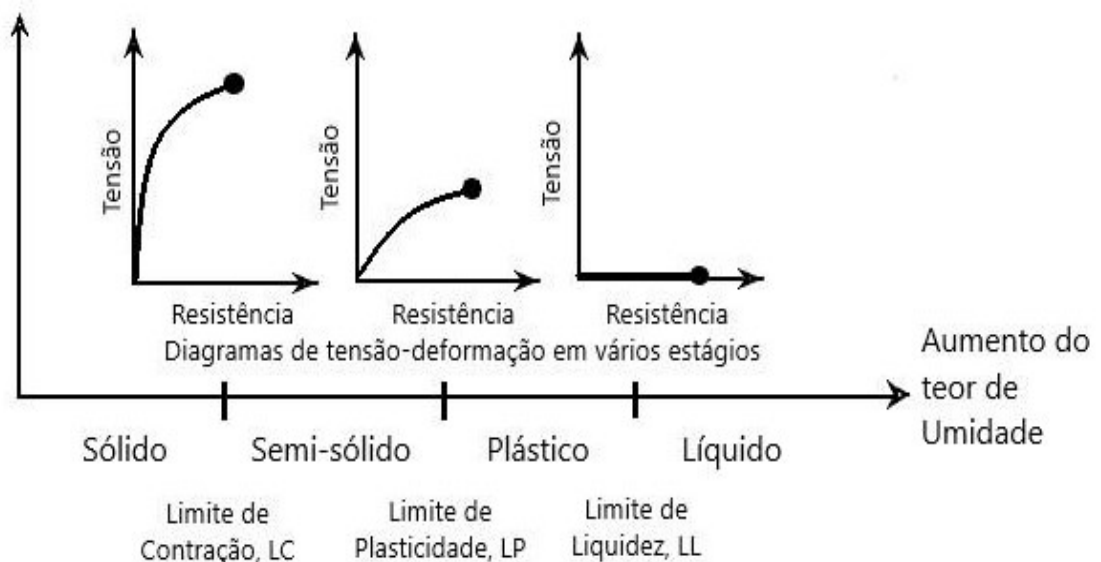
Figura 4: Limites de consistência do solo proposto por Atterberg.



Fonte: Adaptado de Gonçalves (2014).

A variação de umidade altera a consistência de solo e conseqüentemente, suas propriedades mecânicas também são alteradas. Como verificamos na Figura 5 a seguir proposto por Das (2007), o solo apresenta uma perda da capacidade de absorver esforços internos quando submetidos a ação de uma carga e variando assim a quantidade de água presente. A Figura 5 propõe o comportamento mecânico do solo pela curva tensão-deformação de amostras com umidades entre os limites propostos por Atterberg.

Figura 5: Curva tensão-deformação para os estados limites do solo.



Fonte: Das (2007).

2.1.2.1 Limite de liquidez

Partindo do nível de umidade máxima do solo, ou seja, completamente saturado, à medida que diminuimos a quantidade de água na amostra, o solo passa a ter maior solidez. O

primeiro limite alcançado assim, será o limite de liquidez (LL) separando o estado líquido do estado sólido do solo.

O limite de liquidez é caracterizado pelo momento último de fluidez do solo. Assim, para determinar este estado, utiliza-se o aparelho de Casagrande (Figura 6). Na amostra de solo inserida na concha do aparelho (3) é feita uma abertura por meio de uma ferramenta-padrão, o cinzel, sendo apresentado por dois tipos na Figura 6. O cinzel curvo (2) e o cinzel chato (1). Feita a abertura, será rotacionada a manivela acoplada que fará com que a concha caia a altura de 10 mm. Esse procedimento deverá ser repetido por 25 vezes até que haja o fechamento do sulco (ABNT NBR 6459: 2016).

Figura 6: Aparelho de Casagrande.



Fonte: <https://www.didaticasp.com.br/aparelho-casagrande-manual-nbr-6459> (2020).

A umidade relativa a obtenção do fechamento do sulco de 12,5 mm após os 25 golpes do aparelho será a umidade referência para o limite de liquidez do solo analisado (SANTIAGO, 2001). Conforme estabelecido pela ABNT NBR 6459: 2016, o ensaio deve ser repetido no mínimo 3 vezes, com umidades diferentes e número de golpes entre 15 e 35, para que seja traçada a curva de umidade do solo por golpes do aparelho.

2.1.2.2 Limite de plasticidade

Reduzindo ainda a umidade da amostra, o solo adquire a característica plástica tendo como principal identificação a capacidade de moldagem do solo. Conforme definido por Pinheiro (2009), o limite de plasticidade (LP), é aquele no qual um solo apresenta umidade tal,

que seja capaz de se moldar manualmente fios de diâmetros de 3,2 mm com o início do esboroamento do solo, vide Figura 7.

Figura 7: Ensaio de determinação do limite de plasticidade.



Fonte: Gonçalves (2014).

2.1.2.3 Índice de plasticidade

Com a identificação do limite de plasticidade e o limite de liquidez do solo, um importante índice de classificação do solo pode ser obtido, o índice de plasticidade (IP). Esse valor relaciona o potencial de plasticidade de um determinado solo mediante a de umidade entre o limite plástico e o limite de liquidez. O percentual resultante da subtração do LL e do LP demonstra o índice de plasticidade (IP) da amostra e pode ter uma avaliação qualitativa conforme proposto por Burmister (1949), apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Avaliação qualitativa do índice de plasticidade do solo

IP	Descrição
0	Não plástico
1-5	Ligeiramente plástico
5-10	Plasticidade baixa
10-20	Plasticidade média
20-40	Plasticidade alta
> 40	Plasticidade muito alta

Fonte: Das (2007)

2.1.2.4 Atividade de argila

A capacidade plástica é propriedade presente em solos finos. Essa propriedade é influenciada principalmente pela ação e concentração de argilominerais, que influenciam no limite de liquidez e plasticidade de um solo (DAS, 2007). Em 1953, Skempton observou que

ocorre um aumento linear no potencial de plasticidade do solo à medida que se aumenta a fração de argila da amostra.

Além disso, Skempton (1953) verificou que a capacidade plástica do solo se mostrou diferentes para as diferentes amostras de argilas, relacionando isso à presença de argilominerais diferentes ou em diferentes concentrações nas amostras. O referido autor definiu esta propriedade de Atividade (A), definida por ele como a correlação entre o índice de plasticidade (IP) e o percentual mais fino que dois micrômetros de solo. Assim, a relação foi estabelecida conforme a Equação 2. Segundo Das (2007), a atividade de argila é um índice de identificação do potencial de expansão dos solos argilosos.

$$A = \frac{IP}{\% \text{ da fração de argila, em peso}} \quad \text{Equação 2.}$$

O potencial plástico de um solo é a principal função buscada quando tratamos de moldagem de elementos, e, portanto, na execução de elementos de solo cimento, esta será uma característica contida nos solos utilizados.

2.1.3 Sistemas de classificação dos solos

A partir dos métodos de identificação e caracterização dos solos apresentados anteriormente, a classificação dos mesmos em grupos e subgrupos de comportamentos semelhantes se tornou ferramenta importante dentro da engenharia (PINTO, 2006). Segundo Das (2007), o sistema de classificação dos solos é uma ferramenta sem descrição detalhada, apresentando apenas uma identidade mais generalizada dos solos em virtude da infinidade de características que os solos podem apresentar.

Utilizando-se destes conceitos, dois sistemas são mundialmente aceitos na comunidade acadêmica. A AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) e o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS). Ambos os modelos levam em consideração a distribuição granulométrica do solo e os conceitos acerca dos limites de Atterberg (DAS, 2007).

2.1.3.1 Sistema ASSHTO

A AASHTO é uma associação norte-americana responsável pela administração das estradas públicas dos EUA. O sistema desenvolvido em 1925 apresenta basicamente duas classificações gerais dos solos. A primeira classificação apresenta os materiais granulares que apresentam percentual máximo passante de 35% do solo na peneira de número 200 (0,075 mm)

conforme visto na Figura 8. Com essa especificação, os solos são denominados de grupos A-1, A-2 e A-3, sendo estes solos, os de maior granulometria como pedregulhos e areias.

Figura 8: Sistema de classificação AASHTO - 35% ou menos da amostra passante na peneira nº 200.

Classificação geral	Materiais granulares						
	(35% ou menos da amostra total passam pela peneira nº200)						
Classificação do grupo	A-1			A-2			
	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Ensaio de peneiramento (porcentagem que passa)							
Nº10	50 máx						
Nº40	30 máx	50 máx	51 mín				
Nº200	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx
Características da fração que passa na Nº40							
Limite de liquidez				40 máx	41 mín	40 máx	41 mín
Índice de plasticidade	6 máx		NP	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Tipos usuais de materiais constituintes significativos	Fragmentos de pedra, pedregulho e areia		Areia Fina	Pedregulho e areia siltosos ou argilosos			
Avaliação geral subgraduada	Excelente a boa						

Fonte: Das (2010).

A outra parte dos solos referem-se aos com percentual passante na peneira 200 ser maior do que 35%. Estes são solos finos que são identificados pelos grupos A-4, A-5, A-6 e A-7 conforme ilustrado na Figura 9. Uma observação proposta pelo modelo é a identificação de solos orgânicos, o qual não é um grupo abordado pelo sistema, uma vez que apresentam características impróprias para a engenharia geotécnica devido a ruptura frágil do solo.

Figura 9: Sistema de classificação AASHTO - Mais de 35% da amostra passante na peneira n° 200.

Classificação geral	Materiais de silte-argila			
	(mais de 35% da amostra total passante pela n°200)			
Classificação do grupo	A-7			
	A-7-5 ^a			
	A-4	A-5	A-6	A-7-6b
Ensaio de peneiramento (porcentagem que passa)				
N°10				
N°40				
N°200	36 mín	36 mín	36 mín	36 mín
Características da fração que passa na N°40				
Limite de liquidez	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín
Índice de plasticidade	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Tipos usuais de materiais constituintes significativos	solos siltosos		solos argilosos	
Avaliação geral subgraduada	satisfatória a deficiente			

Fonte: Das (2010).

Um indicativo do solo proposto pelo modelo refere-se ao índice de grupo (IG). Esse valor depende dos valores dos limites de Atterberg e dos percentuais granulométricos de matéria fina presente no solo. Das (2007) ainda expõe que, o valor do índice de grupo está ligado a qualidade do material com a finalidade de utilizá-lo como subleito de pavimentação (uma vez que o sistema AASHTO foi elaborado para fins de pavimentação).

2.1.3.2 Sistema SUCS

O outro modelo de classificação é o Sistema Unificado de Classificação do Solo, desenvolvido em 1942 por Arthur Casagrande, tinha por finalidade pavimentação de aeroportos. Este sistema classifica o solo, assim como o modelo anterior, em duas grandes categorias (DAS, 2007).

A primeira refere-se aos solos grossos determinados pela retenção de percentual maior que 50% de material na peneira de número 200 (0,075 mm) (SAAR DE ALMEIDA, 2005). Já o segundo grande grupo, os solos finos, são identificados pela passagem de valor passante na

peneira número 200, maior que 50%. Estes dados são verificados na Figura 10, ilustrada a seguir.

Figura 10: Sistema de classificação unificada dos solos (SUCS).

SOLOS DE GRADUAÇÃO GROSSA mais de 50% retido na peneira nº 200	Pedregulhos 50% ou mais da fração graúda retida na peneira nº 4	Pedregulho sem finos	GW	Pedregulhos bem graduados ou misturas de areia e pedregulho com nenhum fino
			GP	Pedregulhos mau graduados ou misturas de areia e pedregulho com pouco ou nenhum fino
		Pedregulho com finos	GM	Pedregulhos siltosos ou misturas de pedregulho, areia e silte
			GC	Pedregulhos argilosos ou misturas de pedregulho, areia e argila
	Areias mais de 50% da fração graúda passando na peneira nº 4	Areias sem finos	SW	Areias bem graduadas ou areias pedregulhosas, com pouco ou nenhum finos
			SP	Areias mal graduadas ou areias com pedregulhosas com pouco ou nenhum finos
		Areias com finos	SM	Areias siltosas – misturas de areia e silte
			SC	Areias argilosas – misturas de areia e argila
SOLOS DE GRADUAÇÃO FINA 50% ou mais passando na peneira nº 200	Siltes e Argilas $w_L \leq 50$	ML	Siltes inorgânicos – areias muito finas – areias finas siltosas e argilosas	
		CL	Argilas inorgânicas de baixa e média plasticidade – argilas pedregulhosas, arenosas e siltosas	
		OL	Siltes orgânicos – argilas siltosas orgânicas de baixa plasticidade	
	Siltes e Argilas $w_L \geq 50$	MH	Siltes – Areias finas ou siltes mecânicos – Siltes plásticos	
		CH	Argilas inorgânicas de alta plasticidade	
		OH	Argilas orgânicas de alta e média plasticidade	
	Solos altamente orgânicos		PT	Turfas e outros solos altamente orgânicos

Fonte: Das (2007)

Neste modelo, Casagrande implementou a designação dos tipos de solo mediante a identificação granulométrica dos mesmos. Assim, pedregulhos equivale a “G”; as areias ao “S”; siltes a letra “M”, argilas à “C” e os solos orgânicos, simbolizados pela letra “O”. Além disso, o autor levou em consideração a graduação do solo na simbologia adotada. Desse modo, foi considerado “W” (well) os solos bem graduados e “P” para os solos mal graduados. Percebe-se que a adoção dessa característica é válida apenas para solos grossos, como classifica o autor.

Para a porção fina, Casagrande adotou a simbologia relacionada a compressibilidade do solo, sendo esta, uma característica para esta granulometria. Assim, para solos de alta compressibilidade, recebem a letra “H” e para os de baixa compressibilidade, “L”. Além disso, há ainda a indicação de “Pt” para a indicação de turfa, um material de origem vegetal decomposto parcialmente e encontrado em regiões pantanosas ou sob montanhas.

2.1.4 Estabilização

O processo de estabilização dos solos, segundo Santiago (2001), refere-se ao melhoramento das propriedades do mesmo por meio de alterações da estrutura e/ou textura, visando a adequação do mesmo a uma função particular. Vogt (1971) trata a estabilização do solo como um mecanismo de melhoramento da capacidade resistente, para que o mesmo seja durável durante todas as estações do ano. Assim, podemos inferir que a estabilização do solo é um mecanismo de melhoramento de alguma propriedade do solo que seja útil dentro do uso definido.

A estabilização dos solos é, a priori, artificial, com o qual processos mecânicos, físicos, químicos ou físico-químicos são utilizados para tornar o solo estável durante seu uso. Segundo Medina & Mota (2004), as características modificadas visam alterar a resistência mecânica (à compressão, tração e esforços cisalhantes), permeabilidade (aumentando ou diminuindo-a) e a redução da compressibilidade. Entretanto, segundo Santiago (2001), não há um método universal para obtenção dos melhores resultados de estabilização.

Portanto, as condições devem ser amplamente estudadas para a definição do melhor método de estabilização (KÉZIDI, 1979). Segundo este autor, devem ser analisadas, para melhores resultados, a propriedade do solo em condições naturais, as propriedades esperadas após a estabilização e, por fim, os efeitos do solo estabilizado após o processo. Este último é de grande valia, uma vez que, as correções de solo, muitas vezes, estão ligadas apenas ao seu uso (tratamento corretivo), e, por vezes, é ignorada a estabilização em medidas preventivas e de segurança.

2.1.4.1 Estabilização mecânica

A estabilização mecânica é tratada por Vizcarra (2010) como um processo de duas etapas, a estabilização por simples compactação dos solos e a estabilização granulométrica de partículas. A estabilização por compactação é definida pela aplicação de carga com a finalidade de reduzir vazios, resultando em ganho de resistência (SANTOS et al, apud VIZCARRA, 2010). Este tipo de estabilização foi tratado de forma mais detalhada na seção 2.1.5 deste trabalho. A estabilização granulométrica refere-se a uma composição artificial de um solo por granulometrias selecionadas a fim de que se tenha um preenchimento dos vazios de solos de maior diâmetro por partículas de um solo de menor diâmetro. Esse procedimento busca a obtenção de um material bem graduado com uma identificação das granulometrias adotadas,

compostas por dois ou mais solos e finalizado por compactação (SANTOS et al, apud VIZCARRA, 2010).

2.1.4.2 Estabilização física

A estabilização física é comumente usada em pavimentação e tem a base de seu processo na modificação estrutural dos solos por meio de tratamentos térmicos (secagem ou congelamento), tratamento elétrico e eletro-osmose, visando melhorias de drenagem dos solos (OLIVEIRA apud MACÊDO, 2004). Ainda, Vizcarra (2010) trata este mecanismo como um processo de conformação de textura das partículas alinhados a uma utilização de diferentes frações granulométricas, sendo este um processo que complementa a estabilização mecânica.

2.1.4.3 Estabilização química

A estabilização química se refere a inserção de material no solo, provocando alterações nas propriedades do mesmo, com a finalidade de obter o melhoramento da resistência mecânica, permeabilidade e deformabilidade (SANTOS et al, apud VIZCARRA, 2010). Neste processo, ocorre a reação química entre o material estabilizante e os minerais presentes no solo (fração coloidal) ou com a água constituinte dos poros do solo a ser estabilizado.

O material mais utilizado nos processos de estabilização química é o cimento Portland e a cal. Os resultados obtidos com esses dois materiais podem ser mais seguramente classificados como uma estabilização físico-química, uma vez que, há uma modificação da superfície dos argilominerais por meio de reações com os cátions de Ca^{++} presentes no cimento e concomitante a isso, há a ocorrência de alteração do pH da solução. Neste processo, há a ocorrência de reação pozolânica produzida pelos materiais cimentantes presentes, que acrescentam resistência ao solo (MEDINA,1987).

2.1.5 Solo como material de construção

O uso dos solos está estritamente relacionado com a vida do homem na terra, uma vez que, o mesmo é o elemento essencial na maioria de suas atividades econômicas (agricultura, construção, mineração, entre outras). Assim como nas demais áreas, a construção civil também identificou a necessidade de utilização do solo de maneira mais eficiente para atender às novas necessidades. Desse modo, a aplicação do método científico com o objetivo de estudar o comportamento físico, químico e mecânico dos solos foi determinante para adequar o seu uso dentro da engenharia.

No princípio, o método de utilização do solo na construção era completamente empírico. Inúmeros documentos antigos fazem referência a utilização do solo nas construções utilizando tijolos cozidos ou de terra crua, composto pela combinação de argila e silte ou argila e areias (OLIVEIRA, 2003). A mistura de argila e areia é um sistema construtivo ainda utilizado atualmente. Ele se apresenta em diversas técnicas de execução como o pau-a-pique, taipa e o adobe.

As primeiras construções com o uso de solo datam de 5000 a.c. por meio da utilização do adobe (SANTIAGO, 2001). Ainda segundo a autora, o uso de solo nas construções está presente na história da maioria dos povos antigos e foi importante para o desenvolvimento de grandes civilizações do mundo antigo. No Egito, o solo estava presente na utilização de adobe em diversas obras, principalmente em residências; Na Babilônia, eram utilizadas técnicas de terra armada incorporadas ao adobe. Os Medas utilizavam adobe com argamassa de argila em construções com pilares de sustentação.

2.1.5.1 Tijolo de adobe

O adobe é um tijolo de solo composto de argila e silte ou argila e areia apilado ou compactado com moldagem em formas. Segundo Bouth (2005), a composição do traço para a produção de um tijolo de adobe é de 20% composto de argila e 80% de silte. Ainda, encontra-se em diversas culturas construtivas a incorporação de fibras vegetais na fabricação.

O processo de fabricação do adobe é caracterizado pela mistura e amassamento do solo, adição vegetal (quando utilizado) e água, até adquirir uma plasticidade necessária para moldar os elementos (Figura 11). Por ser produzido sem a necessidade de queima dos tijolos, deve ser obedecido um intervalo de descanso dos elementos ao sol ou a sombra antes do uso para que haja a cura da mistura (VIVAS, apud OLIVEIRA 2003).

Figura 11: Produção do tijolo de adobe.



Fonte: <http://www.ufrgs.br/bisc/solucao.php?id=52> (2016).

O adobe é definido como um sistema construtivo com o qual se eleva a alvenaria por meio da superposição de blocos de barro. Ainda, segundo o mesmo, as unidades são unidas por meio de uma argamassa de composição semelhante ao dos blocos.

2.1.6 Solos de Palmas - TO

Dentro do município de Palmas-TO, os solos presentes são basicamente sete, conforme visto no mapa de solos apresentado no Anexo A deste trabalho. São estes, o Cambissolo háplico Tb distrófico, Pintossolo pétrico concrecionário, Latossolo vermelho-amarelo distrófico, Latossolo vermelho distrófico, Argissolo vermelho-amarelo distrófico, Neossolo litófico distrófico e Neossolo quartzarênico órtico (IBGE, 2018).

O Plintossolo pétrico concrecionário apresenta maior abundância no município. Este tipo de solo é caracterizado pela presença de óxidos de ferro e alumínio em forma de nódulos e/ou concreções, ou até mesmo em camadas contínuas, sendo este tipo de solo de uso bastante comum em pavimentação de vias. O mesmo configura-se pela presença de argila pobre em carbono orgânico, mas rico em ferro, alumínio, grão de quartzo e outros minerais (SANTOS, 2016).

O latossolo vermelho-amarelo distrófico, são solos profundos, intemperizados e com presença de óxidos de ferro (IBGE, 2018). Esse tipo de solo poderá ser utilizado na produção do tijolo de solo-cimento proposta neste trabalho em virtude da grande disponibilidade no ambiente urbano.

2.2 Cimento

O cimento é um material pulverulento da classe dos aglomerantes, e, por isso, é caracterizado pelo ganho de resistência sob a ação da água. Provavelmente, o cimento teve suas primeiras utilizações na Roma antiga (NEVILLE & BROOKS, 2010). Ele esteve presente em construções de diferentes civilizações do mundo antigo até seu uso perder força por algumas décadas. Só em 1824, Joseph Aspdin, formulou o conhecido Cimento Portland e, estimulado pela necessidade de construções mais arrojadas, este material se tornou o mais importante recurso da história da engenharia (SOUSA, 1998).

O processo de obtenção do Cimento Portland se resume por meio da queima a temperaturas superiores a 1400 °C de um pó composto por calcário ou giz, sílica e a alumínio encontrados em argilas e folhelhos. Após este procedimento de queima, é obtido o clínquer, que ao ser misturado com gipsita (Sulfato de cálcio) passa por nova moagem, resultando em

um pó fino, sendo este o material conhecido comercialmente por cimento Portland (NEVILLE & BROOKS, 2010). Ainda, segundo o autor, os principais constituintes do cimento são os descritos a seguir na Tabela 2.

Tabela 2: Principais constituintes do cimento.

Nome do Composto	Composição em óxidos	Abreviatura
Silicato de Tricálcio	$3\text{CaO}.\text{SiO}_2$	C_3S
Silicato de Dicálcio	$2\text{CaO}.\text{SiO}_2$	C_2S
Aluminato Tricálcio	$3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
Ferroaluminato Tetracálcio	$4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

Fonte: Neville & Brooks (2010)

As novas necessidades propostas à engenharia demandaram o aperfeiçoamento do cimento em seu desempenho. Para isso, a incorporação de novos materiais se tornou ferramenta essencial na evolução do material, e, com isso, vários tipos de cimento Portland são encontrados no mercado com base nas propriedades desejadas (NEVILLE & BROOKS, 2010).

O gesso (ou gipsita) é um material adicionado ao cimento a uma taxa de 3% da massa do clínquer (GALHARDO, 2014). Sua função é estender o tempo de pega do cimento, uma vez que, em sua ausência, o endurecimento do cimento ocorre em minutos. Por isso, o gesso é material obrigatório na produção do cimento (PANZERA, 2010).

A escória de alto-forno é um subproduto da indústria siderúrgica na produção do ferro gusa, e possui aspecto semelhante a areia grossa (GALHARDO, 2014). Entre os elementos presentes está o silicato rejeitado do processo de metalização, mas que apresenta propriedades de ligante hidráulico (MODRO, 2009). Além de apresentar um baixo custo de obtenção em relação ao clínquer, uma propriedade importante da utilização da escória resulta no aumento da durabilidade do cimento em ambientes com agressividade de sulfatos. Contudo, a sua substituição resulta na perda de resistência em grandes concentrações (GALHARDO, 2014).

Um outro material incorporado ao cimento são as argilas pozolanas, caracterizadas pelo alto teor de sílica ativa. Este material reage espontaneamente com o óxido de cálcio (CaO) na presença de umidade, e, portanto, se tornou alternativa na substituição do clínquer no papel de aglomerante. Ainda, o uso de pozolana apresenta como característica substancial, a diminuição da permeabilidade do concreto, aumentando a durabilidade de concretos em contato direto com a água, como nas barragens (PANZERA, 2010). As pozolanas são encontradas, de maneira natural, em cinzas vulcânicas. No entanto, as argilas podem ser ativadas de maneira artificial

em fornos semelhantes aos da produção do clínquer, mas com necessidade de menores temperaturas (900 °C). Assim como as escórias, a utilização como substituto do clínquer é limitada pela redução de resistência provocada pelo seu nível de concentração.

O filler calcário, composto basicamente por carbonato de cálcio (CaCO₃), é um produto abundante na natureza e pode ser utilizado como componente do cimento. Por apresentar uma granulometria fina, este pode ser utilizado como enchimento do cimento, atuando como lubrificante e tornando o produto mais plástico (GALHARDO, 2014). Por se tratar de um material de diluição do cimento, o calcário pode ser utilizado para agregar volume à mistura, diminuindo o volume de materiais de maior custo, sem que haja perda de eficiência do produto final (COIMBRA, 2006).

Como mencionado, a utilização de escória de alto-forno, pozolana e filler calcário são os componentes básicos presentes nos cimentos Portland comerciais. Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), a fração de uso destes materiais em cimentos é regulamentada pela norma ABNT NBR 16697: 2018, apresentando oito tipos disponíveis no mercado conforme apresentado na Figura 12.

Figura 12: Tipos de cimento Portland e seus materiais incorporados.

Cimento Portland (ABNT)	Tipo	Clínquer + Gesso (%)	Escória siderúrgica (%)	Material pozolânico (%)	Calcário (%)
CP I	Comum	100	-	-	-
CP I - S	Comum	95-99	1-5	1-5	1-5
CP II - E	Composto	56-94	6-34	-	0-10
CP II - Z	Composto	76-94	-	6-14	0-10
CP II - F	Composto	90-94	-	-	6-10
CP III	Alto-forno	25-65	35-70	-	0-5
CP IV	Pozolânico	45-85	-	15-50	0-5
CP V - ARI	Alta resistência inicial	95-100	-	-	0-5

Fonte: ABCP (2009)

Segundo a ABNT NBR 16697: 2018, qualquer cimento apresentado na figura anterior pode apresentar resistência a sulfatos ou possuir baixo calor de hidratação, desde que estes sejam para fins estruturais. Para que o cimento seja resistente a sulfatos, este deve apresentar expansão menor que 0,03% após os 53 dias de idade (conforme ensaio previsto na ABNT NBR 13583: 2014, anexo A) (ABNT NBR 16697: 2018). Ainda segundo esta mesma norma, para apresentar baixo calor de hidratação, o cimento, além de atender os requisitos de sua classe,

deve apresentar liberação de calor menor ou igual a 270 J/g (joules por grama) nas primeiras 41 horas após a hidratação.

Neste trabalho, será utilizado o cimento Portland CP-V, por apresentar maiores ganhos de resistência nas primeiras horas da hidratação, e, além disso, possui custo equivalente aos demais tipos no mercado de Palmas -TO, propiciando maior agilidade nos ensaios solicitados.

2.3 Solo-cimento

O solo-cimento consiste em uma mistura de solo, cimento e água, que, quando comprimida (se estiver em estado de umidade ótima), adquire consistência, formando um material de estrutura resistente, durável e estável (FREIRE, 1976). Conforme estabelecido pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), em seu documento sobre dosagem de solo-cimento publicado em 2004, o composto de solo-cimento resulta em um produto viável se apresentar proporções estabelecidas a partir de uma dosagem racional. Assim, para obtenção de tais resultados, são estabelecidas diretrizes de dosagem conforme estabelecido na ABNT NBR 12253: 2012 (ABNT NBR 12023: 2012).

No Brasil, a utilização de solo-cimento em obras de engenharia data de 1936 (BARBOSA, 1997). Nas últimas décadas, esta mistura passou a ser estudada mediante a incorporação de novos materiais como cinza de casca de arroz, sílica ativa, metacaulinita, cinza volante e outros (Rolim & Freire, 1998; Akasaki & Silva, 2001 e Farias Filho et al., 2001). Esses materiais apresentam em sua composição, sílica e alumínio que podem associar-se a cal hidratada contida no cimento e, na presença de água, resultar em silicatos e aluminatos de cálcio, sendo esta, uma reação pozolânica, constituindo um material aglomerante (DALLACORT et al, 2002).

Como já mencionado no tópico 2.1.4 deste trabalho, a incorporação de cimento ao solo trata-se de um mecanismo de estabilização físico-química com o objetivo de obter um produto mais resistente. Desse modo, algumas destinações podem ser feitas ao uso de solo-cimentos, o qual, destacam-se a utilização na fundação de pavimentações e na produção de tijolos para alvenaria de vedação. Para este último, será dado foco neste trabalho.

2.3.1 Tijolo de solo-cimento

A utilização do solo-cimento na produção de tijolos passou a ser uma alternativa viável para o sistema de alvenaria de vedação. Segundo a ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland, 2004), após uma simples cura, o tijolo de solo-cimento passa ter resistência à

compressão simples, similar aos tijolos cerâmicos. A ABNT NBR 8491: 2012 trata como tijolo de solo cimento o elemento de alvenaria composto de uma mistura homogênea, compacta e endurecida de solo, cimento Portland, água e, se necessário, aditivos e/ou pigmentos, desde que não haja comprometimento dos requisitos estipulados por norma.

A cartilha de produção de tijolos de solo-cimento elaborada pela FUNTEC (OLIVEIRA et al., 2000), menciona que os tijolos de solo-cimento apresentam vantagens como produção in loco, regularidade geométrica, o que aumenta a qualidade do acabamento final e reduz o uso de argamassa colante. Ainda, a cartilha também aponta que, a produção do tijolo de solo-cimento se enquadra em um tijolo ecológico, uma vez que, não há necessidade de queima como nos produtos cerâmicos.

Conforme a ABNT NBR 10833: 2012, norma que trata dos procedimentos de fabricação de tijolos de solo-cimento, alguns requisitos gerais são estabelecidos para a obtenção de um produto final de qualidade. Quanto ao solo, a norma estabelece, conforme a Tabela 3, a granulometria ideal, de acordo com a ABNT NBR NM ISO 3310-1, os limites de liquidez e limites de plasticidade exigidos. Além disso, o solo não deve conter quantidade de matéria orgânica que prejudique a hidratação do cimento.

Tabela 3: Requisitos para o solo conforme a ABNT NBR 10833: 2012.

Características do Solo	
% passando na peneira ABNT 4,8mm (n.º 4)	100 %
% passando na peneira ABNT 0,075mm (n.º 200)	10% a 50%
Limite de liquidez	≤ 45%
Limite de plasticidade	≤ 18%

Fonte: ABNT NBR 10833 (2012).

Contudo, nem todos os solos que apresentam as características anteriormente requeridas são considerados ideais para a produção do tijolo. Os solos definidos como mais ideais ao solo-cimento seriam os compostos por aproximadamente de 50% de areia, 25% de silte e 25% de argila (CAMPOS, 2016). Além disto, o autor escreve que solos com mais de 75% de areia ou mais de 50% de argila não são adequados devido à baixa adesão proporcionada e, portanto, necessitam de maiores percentuais de estabilizantes.

O solo deve ser analisado segundo as normas da ABNT para a devida caracterização. Assim, os ensaios deverão ser baseados segundo a ABNT NBR 6457: 2016 para os ensaios de compactação e caracterização; ABNT NBR 6459: 2016 para determinação do limite de liquidez; ABNT NBR 7180:2016 para a determinação do limite de plasticidade; e a ABNT NBR 7181: 2016, na determinação da granulometria do solo (OLIVEIRA e col., 2000).

Ademais, segundo o manual da FUNTEC, um ensaio simples pode ser realizado para a verificação da qualidade do solo utilizado que possui grande margem de segurança para a escolha do solo. Este ensaio relaciona a retração do solo umedecido com as características ideais para o composto de solo-cimento. Conforme especificado, o solo ideal não deve apresentar retração linear superior a 2 cm após o período de 7 dias de descanso à sombra.

Quanto ao cimento utilizado, a ABNT NBR 10833: 2012 testifica que qualquer um dos tipos regulamentados pela ABNT NBR 16697: 2018 podem ser utilizados. Sobre a água, a mesma deve ser isenta de impurezas nocivas à hidratação do cimento, atendendo os critérios da ABNT NBR 15900-1: 2009.

A preparação da composição de solo-cimento apresenta traço básico de 1:10 (cimento: solo), com base no documento elaborado pela FUNTEC (OLIVEIRA et al., 2000). O teor de água a ser utilizado não possui determinação direta e, portanto, a quantidade a ser adicionada deve proporcionar à mistura uma trabalhabilidade ideal, como orienta a ABNT NBR 10833: 2012.

Um procedimento utilizado na verificação da umidade ideal será na moldagem de uma porção do solo-cimento com uma mão, onde, após a pressão, a amostra apresentará as marcas dos dedos. Por conseguinte, esta mesma porção, quando solta de uma altura com aproximadamente 1 m, em piso firme, deverá apresentar o esfarelamento ao se chocar com a superfície (OLIVEIRA et al, 2000).

A moldagem dos tijolos de solo-cimento é feita por meio de prensa certificada, a fim de que se tenha as dimensões previstas em norma. As prensas utilizadas podem ser mecanizadas ou manuais, e apresentam diferentes capacidades de compactação e produção diária de elementos. Conforme apresentado na Tabela 4 a seguir, é possível verificar as características técnicas e de produtividade das prensas (MIRANDA, 2019).

Tabela 4: Características das prensas manuais e mecanizadas.

Tipo de Prensa		Energia de compactação (MPa)	Taxa de compactação do solo	Produção (Tijolos/dia)
Manual	Mecânica	1,5 - 2,0	1,38	300 a 1200
	Hidráulica	2,0 – 10,0	1,65	2000 a 2800
Motorizada	Mecânica	4,0 – 24,0	>1,65	1600 a 12000
	Hidráulica	>20,0	>2,00	-

Fonte: Miranda (2019), adaptado de Ferraz Júnior (1995).

O elemento moldado apresenta geometria definida pela ABNT NBR 8491: 2012, sendo a mesma, retangular podendo apresentar dois tipos conforme apresentado na Tabela 5, a seguir.

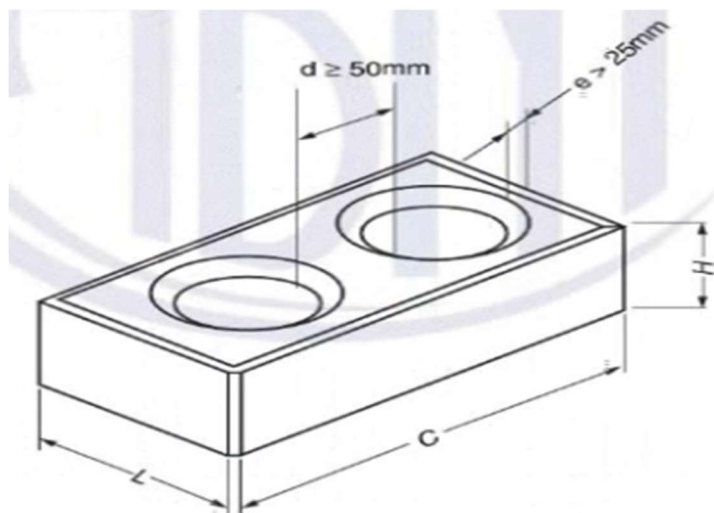
Tabela 5: Tipos e dimensões nominais dos tijolos de Solo-Cimento.

Tipo (mm)	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)
A	200	100	50
B	240	120	70

Fonte: ABNT NBR 8491 (2012)

Para elementos que contenham furos, estes devem ser verticais e o volume de material sólido deve ser inferior a 85% do volume total do elemento. Contudo, conforme visualizado na Figura 13 a espessura das paredes externas deve ser maior do que 25 mm e a interna, maior do que 50 mm.

Figura 13: Dimensões dos septos de tijolos vazados de solo-cimento.



Fonte: ABNT NBR 8491 (2012).

Os tijolos produzidos nesta pesquisa (Figura 14) terão dimensões nominais referentes ao tipo B estabelecido pela ABNT NBR 8491: 2012. Após a moldagem, os tijolos devem entrar em processo de cura à sombra, com o umedecimento dos elementos nos primeiros 7 dias segundo a ABNT NBR 10833: 2012. E, além disso, a utilização das unidades só poderá ser feita com idade mínima de 14 dias (ABNT NBR 8491: 2012).

Figura 14: Dimensões dos septos de tijolos vazados de solo-cimento.



Fonte: Autor, 2021

Os requisitos mínimos para o uso dos tijolos de solo-cimento são especificados conforme a ABNT NBR 8491: 2012. Nela, está previsto que as unidades devem possuir, mediante os ensaios de compressão estabelecido pela ABNT NBR 8492: 2012, resistência média das unidades superior a 2,0 MPa e resistência individual superior a 1,7 MPa após os 7 dias. Ainda, está previsto nesta norma que a absorção de água dos tijolos não deve ter valor médio superior a 20% e, quanto aos valores individuais, não ultrapassar os 22% após os 7 dias de cura.

2.4 Alvenaria

A alvenaria é definida pela junção de pedras ou blocos, naturais ou artificiais, que, por meio de uma argamassa colante, são unidas entre si, formando um elemento rígido e coeso (SABBATINI, 1984). Nas obras de construção do Brasil, as alvenarias podem ser encontradas de duas maneiras. A primeira delas, é a mais tradicional e conhecida por alvenaria de vedação, e está associada a uma estrutura reticulada de concreto armado onde atua por meio de blocos cerâmicos para o fechamento de aberturas (SILVA & MOREIRA, 2017).

Uma outra modalidade existente é a alvenaria estrutural, que apresenta função dupla de suporte estrutural e vedação, apresentando processo construtivo racionalizado e de maior exigência técnica.

Quanto a alvenaria de vedação, esta é culturalmente realizada por meio de blocos cerâmicos e argamassa colante em estruturas de concreto armado, como visto na Figura 15. Este tipo de estrutura apresenta a função de limitar ambientes sem a capacidade de suportar esforços, com exceção do peso próprio. Ademais, segundo a ABNT NBR 15575: 2013, a alvenaria de vedação deve ser projetada com a capacidade de atender a níveis satisfatórios de isolamento acústico e térmico, e, além destes, deve promover a estanqueidade dos ambientes internos sob efeito das intempéries (chuvas, ventos, poeiras, entre outros).

Figura 15: Alvenaria de vedação em estruturas de concreto armado.



Fonte: Silva & Moreira (2017).

Neste modelo ainda é possível a realização de cortes e aberturas sem que haja comprometimento estrutural. Esta característica é bastante explorada e se apresenta como um problema de racionalização dos recursos utilizados, uma vez que, projetos com boa execução para alvenaria de vedação inexistem na maioria das obras do país. Por isso, nos últimos anos, houve um crescente avanço nas pesquisas sobre projetos de alvenaria racionalizados, que tratam o desperdício de materiais um fator considerável ao custo e prazo do projeto.

Alguns projetos de alvenaria estrutural e de alvenaria de vedação de residências térreas estão sendo realizados utilizando tijolos de solo cimento, conforme visto na Figura 16 e Figura 17 a seguir. Nestes projetos, são exigidas um certo nível de modulação dos elementos para o aproveitamento dos furos do tijolo na passagem de instalações elétricas e hidráulicas.

Quando utilizados para alvenaria vedação (Figura 17) o sistema não fica restrito a cortes, podendo ser realizadas alterações futuras sem o comprometimento estrutural da construção. Contudo, em caso de utilização como alvenaria estrutural (Figura 16) os cortes devem ser orientados por normas técnicas e, além disso, devem ser sempre acompanhados de um projeto de estruturas compatibilizado com as instalações complementares.

Figura 16: Alvenaria estrutural com tijolos de solo cimento.



Fonte: <https://www.escolaengenharia.com.br/tijolo-ecologico/> (2020).

Figura 17: Alvenaria de vedação com tijolos de solo cimento.



Fonte: Danilo (D'liga Filito Mineradora, 2021).

2.5 Filito

As rochas metamórficas se apresentam como as resultantes dos processos termodinâmicos (variações de temperatura e pressão) sofridos por outras rochas preexistentes (MARANGON, 2009). O intemperismo sofrido pelas rochas é capaz de modificar os minerais e cristalizá-los, produzindo assim, novas texturas e novas rochas, sendo este o fenômeno do metamorfismo.

Como mencionado no item 2.1 deste material, o ciclo do metamorfismo passa pela variação de três agentes principais. A temperatura, será a responsável pela recristalização dos minerais neste processo. A pressão, auxilia na eliminação de porosidades, expulsão de voláteis e mudanças na textura e estrutura dos grãos pelo realinhamento dos minerais. E os fluidos, como água, gás carbônico, oxigênio e outros, auxiliam como facilitadores das reações químicas e transformações mineralógicas.

Estas transformações mineralógicas podem ocorrer basicamente de dois modos. O primeiro deles é o metamorfismo normal, o qual, não há perda ou adição de novos materiais à rocha original e, deste modo, a composição química continua a mesma. Neste grupo, podemos destacar os quartzitos formados pelos arenitos, mármore formados pelo intemperismo de calcários entre outros. O segundo processo é denominado de metamorfismo metassomático, onde há mudanças na composição química das rochas, resultando em novos minerais. Neste grupo, o intemperismo sofrido pelos argilitos gera, dentre outros, os filitos (MARANGON, 2009).

O filito (Figura 18), é classificado como uma rocha metamórfica de grãos finos e folheados, apresentando certa tendência de se dividir em placas, devido a orientação dos minerais micáceos e tabulares (COSTA & CAMPELLO, 2018). Os filitos são compostos

basicamente por alumínio e silício, apresentando assim, como constituinte essencial, o quartzo, apresentando quantidades próximas a 50%, e filossilicatos, com teores de caulinita e muscovita em torno de 40% (VALERA et.al., 2002; ABREU, 1973 *apud* MELO, 2012).

Segundo Melo (2012), os filitos apresentam como característica a facilidade em ser pulverizado e, com isso, se torna um material de baixo valor agregado. Portanto, segundo a autora, o filito pode ser utilizado como material alternativo, com a finalidade de baratear custos de processos industriais.

Figura 18: Mineral filito pulverizado.



Fonte: <http://www.valedojuquia.com.br/produtos/minerios/filito/>.

As grandes concentrações de quartzo e de filossilicatos dão ao filito a capacidade de atuar como geopolímeros, sendo esta, uma característica de elementos com teores elevados de alumínio (Al) e silício (Si) (MELO, 2012). Ainda segundo a autora, atualmente alguns materiais são utilizados como geopolímeros, sendo estes o Metacaulim (caulim calcinado) e a cinza volante (resíduo industrial já utilizado em cimento Portland composto). Contudo, o metacaulim ainda possui um custo elevado de produção, e a cinza volante apresenta um processo de produção com fases complexas. Dentro deste cenário de alternativas e, pela propriedade apresentada, o filito se apresenta como um potencial constituinte para o cimento geopolimérico, com a capacidade de substituir o cimento Portland em algumas condições estruturais (CRISTINA DE SOUZA, 2018).

Desde a descoberta dos geopolímeros pelo pesquisador Prof. Joseph Davidovits (1972), outros pesquisadores vêm estudando suas funcionalidades. O Metacaulim, estudado por Kenneth Mackenzie (1985), foi um dos mais promissores geopolímeros testados, apresentando um potencial de grande valia para alguns processos industriais. Isso porque, segundo Joseph Davidovits em um documento publicado pela empresa Wincret Designer Concrete Products LTDA (desenvolvedora de produtos geopoliméricas), a utilização deste geopolímeros na

produção de elementos cerâmicos, resultou em uma diminuição considerável da taxa energética necessária para a produção de telhas cerâmicas. Ainda, no processo de fabricação de cimento geopolimérico com o uso de cinzas volantes, resultados semelhantes foram obtidos, apresentando redução da necessidade energética para a obtenção do produto final, quando comparado a produção do cimento Portland.

Uma pesquisa feita por Biondi (2004) apresentou a análise da utilização do filito como componente na produção de materiais cerâmicos. O material utilizado foi recolhido da reserva de Açungui, Paraná, e buscou verificar o comportamento do filito analisando suas propriedades químicas e físicas. Como resultado, Biondi (2004) verificou que existem algumas variações de comportamento dentro da própria reserva. Após a desagregação no moinho Jarra, os diâmetros médios apresentaram medidas entre 7,0 e 13,2 μm (micrômetros), o que sugere a possibilidade de serem utilizados como material de acabamento. Ainda, o material com colorações mais escuras de filito apresentou índices elevados de retração (de 13% a 16%), além de baixos níveis de resistência à flexão, com valores entre 70 e 137 kgf/cm^2 , o que limita a utilização do filito em massa cerâmicas (BIONDI et al (2004).

Melo (2012) publicou um estudo sobre a utilização do filito como material potencial para produção de novos cimentos. A autora utilizou o filito produto da região de Itapeva, São Paulo, buscando apresentar suas características químicas e físicas, a fim de verificar seu potencial como matéria prima para a fabricação de materiais geopolimérico. O filito analisado apresentou função semelhante ao filler, ajudando na estabilização de tensões quando submetido a esforços de compressão (MELO, 2012).

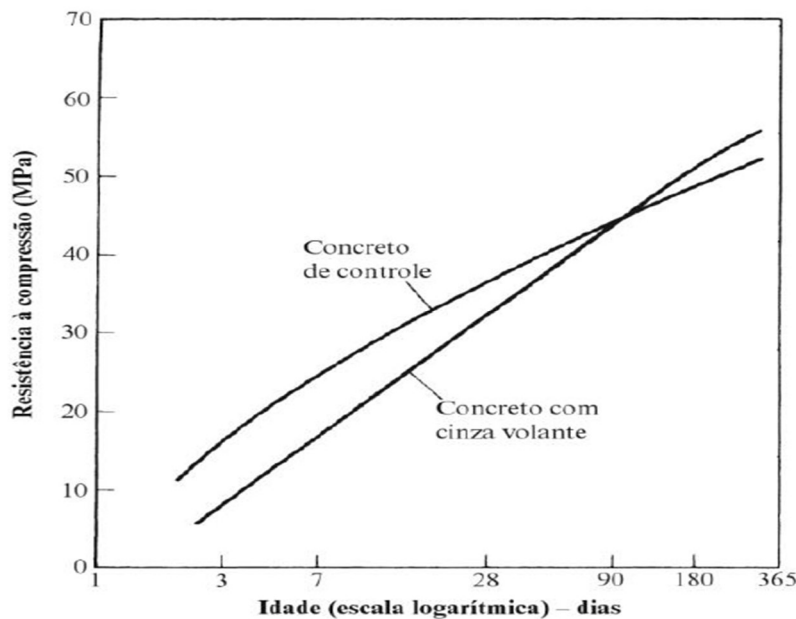
Dentre outras aplicações, o filito tem potencial de utilização em indústrias cerâmicas. Sua utilização pode ser feita como substituto de frações da argila e de feldspato na fração de fundente na produção de cerâmicas, devido a presença de potássio e sódio nos minerais constituintes (BIONDI et al, 2004). Ainda segundo o autor, seu emprego nessa indústria faz com que haja uma aceleração no processo de sinterização de massa cerâmicas para louças cerâmicas, azulejos e outros. Outras indústrias também utilizam o filito na sua cadeia de produção. Podemos citar, por exemplo, indústrias de argamassa, de plastificante, de ração animal, pigmentos, aglutinantes, e, além destes, sua baixa permeabilidade pode ser utilizada na produção de materiais resistentes a água (CRISTINA DE SOUZA, 2018).

2.6 Pozolanas

As pozolanas são materiais com altos teores de sílica e alumínio, que apresentam característica aglomerante quando combinados com água e hidróxido de cálcio (ABNT NBR 12653: 2014). Segundo Neville & Brooks (2010), as pozolanas, por si mesmas, não possuem valor cimentício relevante, contudo, quando adicionadas a cal, resultante da hidratação do cimento Portland, formam compostos com capacidades cimentícias.

A grande vantagem da adição de pozolanas ao cimento está na diminuição do calor de hidratação advinda do prolongamento do tempo de cura do cimento (MEHTA & MONTEIRO, 2008). Isso se traduz, no ganho de resistência mais lento, contudo, no longo prazo, a pozolana acaba por influenciar em ganhos maiores de resistência. Este comportamento pode ser visto na Figura 19 comparando a resistência de concretos ao longo do tempo com e sem adição de pozolana.

Figura 19: Comparação do ganho de resistência de concreto com e sem a adição de pozolana (Cinza volante)

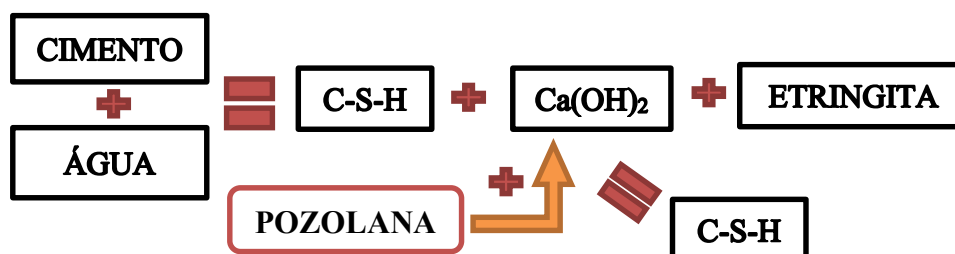


Fonte: Neville e Brooks (2010)

A utilização de cinza volante é a mais comum entre as pozolanas, sendo esta, uma adição dos cimentos como o CP-II-Z (ABNT NBR 16697: 2018). A adição de cinza volante ao cimento, por exemplo, proporciona ao mesmo um baixo calor de hidratação e grande resistência química. Em ambientes onde a agressividade de sulfatos foi detectada, os cimentos com adições pozolânica são os mais indicados (Neville & Brooks, 2010). Portanto, as pozolanas contribuem

diretamente para cimentos com ganho de resistência mecânica e durabilidade devido ao aumento do C-S-H do cimento. O esquema de atuação das pozolanas no cimento está exemplificado na Figura 20.

Figura 20: Atuação da pozolana adicionada ao cimento Portland.



Fonte: Autor, 2021

Um outro fator de influência está nos custos de produção. em geral as pozolanas apresentam custos de produção inferiores ao do cimento e, portanto, sua adição tem contribuído muito para a diminuição de custos destes tipos cimentos. Entretanto, a variação destes custos depende do tipo de pozolana utilizado.

Além da cinza volante, existem outros tipos de pozolanas, e estes elementos se enquadram em três classes distintas. As pozolanas classificadas com naturais ou artificiais são identificadas como de classe N, onde se encaixam materiais vulcânicos, argilas calcinadas e terras diatomáceas. Os de classe C são pozolanas geradas através da combustão de carvão mineral oriundo de usinas termelétricas e as de classe E são pozolanas não enquadradas nas classes anteriores.

Dentro da classe N, que contempla a cinza volante, outros materiais podem ser usados na substituição do clínquer na produção de cimento. Os produtos artificiais vêm basicamente do produto da queima de combustíveis. Exemplos desses materiais são a casca de arroz, escória de alto-forno, cinza do bagaço de cana, dentre outros. Contudo, existem materiais pozolânicos naturais como as argilas calcinadas, terra diatomácea, filers e gipsitas.

O que determina a qualidade de um material pozolânico é a presença de silicatos e sílico-aluminatos. Desse modo, a determinação do potencial pozolânico está na verificação do percentual destes materiais. Segundo a ABNT NBR 12653: 2014, a presença de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 devem ser superiores a 70% para que o material seja qualificado como pozolana quimicamente viável.

Como visto anteriormente, o filito apresenta, como base de sua composição, os elementos a base de silício e alumínio. Estes elementos são formadores de Quartzo, Sericita e Caulinita. Os percentuais de SiO_2 e Al_2O_3 neste elemento, geralmente, apresentam valores altos,

configurando uma boa atividade pozolânica. Nesta pesquisa, os valores percentuais destes minerais foram altos, onde a soma dos três componentes exigidos por norma para a qualidade química das pozolanas, ultrapassou os 90%, superando o limite de 70% exigido por norma.

2.7 Resíduos de construção civil (RCC)

Segundo dados publicados pela USP em 2003, o setor de construção civil no Brasil é responsável pelo consumo de 15% a 50% dos recursos naturais disponíveis (AZEVEDO, 2006). Além disso, a indústria da construção ocupa o topo dos maiores geradores de resíduos do mundo (JOHN & AGOPYAN, 2003). Ainda, os resíduos de construção civil (RCC) podem representar de 50% a 70% dos resíduos sólidos gerados em ambiente urbano, segundo o documento publicado pelo IPEA contendo um diagnóstico dos resíduos sólidos da construção civil (FERNANDEZ, 2012).

Diante disto, surge a necessidade de mudança do cenário atual, uma vez que, a tendência de escassez dos recursos naturais redirecionou a indústria para um planejamento sustentável de suas atividades, para a criação de novos materiais e novas técnicas de produção (SOUZA et al, 2008). A princípio, a destinação dos resíduos estava a cargo do poder público municipal (PUCCI, 2006). No entanto, a partir de 2002, a resolução CONAMA nº 307/2002, alterada pela resolução nº 348/2004, tornou o próprio gerador dos resíduos como o responsável pela destinação adequada, seja em zonas de reciclagem ou outra disposição final, excluindo os aterros sanitários como alternativa de destino (Resolução CONAMA nº 307, 2002).

Um outro marco para as adequações dos resíduos no país foi marcado pela aprovação em 2010 da Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS (Brasil, 2010a). O objetivo, proposto pela Lei no 12.305/2010 e pelo Decreto no 7.404/2010, é apresentar uma nova perspectiva ao cenário nacional, regulamentando a gestão dos resíduos gerados, buscando a manutenção da qualidade do meio ambiente sem que haja regressão do desenvolvimento econômico e social.

Segundo a resolução CONAMA nº 307/2002, os resíduos são classificados em quatro classes conforme visto na Figura 21. Os resíduos classe A são resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como tijolo, blocos, telhas, placas de revestimento, argamassa, concreto, tubos, meio-fio, solos de terraplanagem etc. Os resíduos desta classe serão os destinados na produção do tijolo de solo-cimento com RCC proposto neste trabalho. Os de Classe B, são resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plástico, papel/papelão, metal, madeira etc. A classe C engloba os resíduos ainda sem tecnologia ou aplicações economicamente viáveis para a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do

gesso (tratamento pelo gerador). Já a classe D se restringe aos resíduos perigosos, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados (tratamento pelo fabricante).

Figura 21: Classe dos resíduos de construção civil (RCC).



Fonte: Adaptado de residuoall.com.br/2017/05/17/residuos-solidos-da-construcao-civil-o-que-fazer/.

Segundo dados publicados pela PNSB (IBGE, 2010), 72,44% dos municípios brasileiros já possuem formas de manejo do RCC. Na região norte, ainda segundo esta pesquisa, 17,24% dos municípios que apresentam serviço de manejo dos resíduos realizam a triagem simples dos resíduos de construção e demolição reaproveitáveis (classes A e B). Outros 20,68% dos 29 municípios analisados realizam reaproveitamento dos agregados produzidos na fabricação de componentes construtivos.

O município de Palmas-TO conta com uma empresa de reciclagem dos resíduos de construção civil (Figura 22 e 23), a qual apresenta uma média mensal de 500m³ de materiais recolhidos. A viabilidade de reuso dos resíduos tratados pela recicladora passa pelo conhecimento dos tipos e quantidade dos materiais recolhidos. Assim, a composição gravimétrica dos resíduos é definida pela ABNT NBR 10007: 2004 como a composição percentual em peso e volume dos resíduos gerados, sendo estes físicos, químicos e/ou biológicos.

Figura 22: Equipamento de reciclagem de resíduos da construção civil – RCC em Palmas-TO.



Fonte: Dellatorre, 2018.

Figura 23: Usina de reciclagem de resíduos da construção civil – RCC em Palmas-TO



Fonte: Autor, 2021.

A verificação desta composição realizada para a cidade de Palmas-TO, buscou caracterizar o RCC recolhidos e tratados pela empresa recicladora. Na pesquisa realizada por Silva (2015), os resíduos de aglomerados identificados pelo autor apresentaram média de 68,93%. Os resíduos de concreto tiveram índices médios de 15% a 25% durante o ano e os resíduos cerâmicos, de 3% a 4% no mesmo período. Desse modo, é possível, conforme pesquisas anteriores, utilizar-se destes resíduos para a composição de novos materiais ecológicos para a construção civil (MIRANDA, 2019).

2.8 Pesquisas anteriores

Dentro do cenário apresentado, as soluções sustentáveis para o aprimoramento de materiais e processos dentro da construção civil tornou-se um mecanismo fundamental para a evolução do setor (MIELI, 2009). Neste aspecto, o desenvolvimento de tijolos ecológicos, como os tijolos de solo-cimento, se apresenta como solução viável para colaborar com tal avanço. Isso porque, a produção de tijolos de solo-cimento é composta por uma matéria prima de fácil acesso, facilidade de produção, desempenho mecânico satisfatório e baixa exigência técnica na aplicação (MOTA et al. 2010).

Algumas pesquisas na produção de tijolos de solo-cimento foram realizadas para a verificação da qualidade do produto analisado. Mendonça et al. (2017), buscou avaliar o desempenho mecânico de tijolos de solo cimento com a adição de caulim nas proporções de 10% e 20%. Com isso, os autores buscaram apresentar uma alternativa de destinação ao caulim. Os resultados obtidos foram satisfatórios, mesmo que com a redução do índice de resistência mecânica, os elementos ainda apresentaram valores dentro do estabelecido pela ABNT NBR 8491: 2012. Uma outra conclusão obtida foi que, por não apresentar reação pozolânica, a adição

do caulim não favoreceu a resistência, no entanto, devido a presença de metacaulinita, houve um aumento na densidade de empacotamento e redução da quantidade de água necessária para o processamento (Mendonça et al. 2017).

Outra pesquisa acerca da produção de blocos ecológicos foi idealizada por Diniz et al. (2018). Neste projeto a autora propôs a utilização de materiais não usuais para os tijolos de solo-cimento, sendo estes, brita zero, pó de pedra, cimento e água para a produção do tijolo não estrutural. Como conclusão, um dos traços testados com a proporção 1: 1,23: 2,41: 0,78 (brita zero, pó de pedra, cimento e água) apresentou resistência final após os 28 dias de 4,04 MPa, de acordo com as exigências previstas pela ABNT NBR 10834: 2012 (Diniz et al. 2018).

Ainda, um outro projeto de produção de tijolos de solo-cimento, proposto por Miranda (2019), buscou verificar a viabilidade de utilização de resíduos de construção civil mediante os critérios da ABNT NBR 10834: 2012. Nesta pesquisa, o autor verificou que os tijolos produzidos com percentuais de RCC entre 10% e 20% apresentaram resistência após os 28 dias superior aos critérios da ABNT NBR 8491: 2012. Contudo, quanto a absorção de água, os elementos apresentaram índices superiores ao limite da norma, 20% de absorção, onde, o mesmo verificou uma diminuição dos valores à medida que se aumentava a taxa de RCC no traço de produção (MIRANDA, 2019).

Este trabalho pretende dar continuidade a pesquisa de Miranda (2019), buscando o aprimoramento do tijolo de solo-cimento apresentado por ele. Considerando o tijolo TR20 (tijolo de solo-cimento com a substituição de 20% do solo por RCC) produzido pelo autor, este obteve os melhores resultados em sua pesquisa, e, portanto, será utilizado com base para a adição do filito. Assim, como proposto, será substituída parcelas de solo do tijolo TR20 por proporções de 20%, 30% e 40% de filito.

3. METODOLOGIA

Este capítulo apresenta o método de pesquisa que foi utilizado para o desenvolvimento deste trabalho. Ainda, estão expostas as etapas a serem realizadas durante a pesquisa a fim de garantir a validade dos resultados e atingir os objetivos estabelecidos. Assim, foram apresentados os materiais utilizados para a produção do tijolo de solo-cimento, suas características e o método de obtenção dos mesmos. Desse modo, serão descritos o tipo de solo e suas propriedades, a classe do cimento Portland, as características do resíduo de construção civil e o filito. Posteriormente, será detalhado os processos normativos para a determinação das propriedades físicas e mecânicas dos tijolos obtidos para as diferentes composições propostas.

3.1 Metodologia da Pesquisa

O método de pesquisa foi definido por Diniz e Silva (2008) como o caminho para a construção do discurso científico. Portanto, neste trabalho, foi proposto como trajetória metodológica o método hipotético-dedutivo, o qual, segundo Karl Popper (apud FERREIRA, 1998), propõe a análise de teorias e expectativas já existentes, formulação de um problema seguido da proposta de uma solução (consistindo em conjecturas e dedução de consequências passíveis de teste) e teste de falseamento (testes e observação das hipóteses criadas acerca do problema proposto).

Do ponto de vista da metodologia científica adotada, a natureza desta pesquisa foi identificada como uma pesquisa aplicada, uma vez que, há uma busca de aplicação prática do conhecimento gerado (FLEURY, 2016). Ademais, sob a ótica dos objetivos propostos, esta pesquisa foi definida como explicativa, na qual foi feita uma análise experimental do objeto em estudo. Devido a isso, foram utilizados principalmente dados quantitativos para a verificação e validação dos resultados. Segundo Gil (1999), o método explicativo de pesquisa é estabelecido visando identificar fatores que determinam a ocorrência de algum fenômeno. Este tipo de pesquisa busca compreender a realidade por meio da explicação das relações de causa e efeito dos fenômenos ocorridos (OLIVEIRA, 2011).

A pesquisa desenvolvida trata da produção do tijolo de solo-cimento com a incorporação de RCC e filito e foi baseada em princípios já estabelecidos. Isso porque, a produção de tijolos de solo-cimento já foi estudada por pesquisadores como Pinto (2015) e Miranda (2019), e assim, alguns princípios já confrontados por estes, foram considerados neste trabalho. Além destes, Mendonça et al (2017) já estudou acerca da utilização de Caulim (elemento com propriedades semelhantes ao filito) em tijolo ecológico.

3.2 Procedimentos Metodológicos

Como procedimento técnico, este trabalho utiliza-se de uma pesquisa experimental, posto que, a mesma visou identificar variáveis independentes que, por meio da manipulação de variáveis controláveis, determinem a causa do fenômeno em estudo (ANDRADE, 2017). Portanto, por meio dos objetivos propostos, a pesquisa foi voltada para a manipulação de traços para a fabricação do tijolo de solo-cimento com 20% de RCC, analisando o comportamento deste mediante a substituição de solo por filito. Por conseguinte, foi verificada a influência desses compostos no índice de resistência à compressão e de absorção de água no tijolo de solo-cimento produzido.

3.2.1 Materiais

Os materiais utilizados para a produção do tijolo de solo-cimento proposto para este trabalho foram o resíduo de construção civil e filito, onde substituíram parcela do solo. A produção de tijolo de solo-cimento é sustentada na utilização de materiais com qualidade prevista em norma.

Para isso, foi tomada como base as normas: ABNT NBR 6459: 2016, ABNT NBR 7180: 2016, ABNT NBR 7181: 2016, ABNT NBR 8491: 2012, ABNT NBR 10833: 2012, ABNT NBR 10834: 2012, ABNT NBR 10836: 2013. Além disso, embora a utilização destes materiais não seja prevista em norma, tanto o RCC quanto o filito foram caracterizados pelos mecanismos aplicados ao solo base, identificado ao longo da pesquisa como “Solo A”.

O solo base utilizado foi obtido no perímetro urbano da cidade de Palmas – TO, em uma zona de extração próximo ao Atacadão na rodovia TO-050 (Figura 24). Em virtude de utilizações anteriores deste material pelo fábrica de produção dos tijolos, foi verificado pelo funcionário que este solo proporciona condições de moldagem favoráveis para a produção dos tijolo e, portanto, teria grandes chances de atender aos critérios de granulometria, limite de liquidez e limite de plasticidade definidos pela ABNT NBR 10833: 2012 e visualizado na Tabela 2 (p. 38) deste material.

Figura 24: Localização de extração do Solo A utilizado na pesquisa.



Fonte: Google Maps (2021).

Ainda segundo a referida norma, o cimento Portland utilizado poderá ser de qualquer um dos tipos produzidos e comercializados no mercado brasileiro, desde que o mesmo atenda aos critérios referentes a seu tipo (estabelecidos pela ABNT NBR 5732: 1991, ABNT NBR 5733: 1991, ABNT NBR 5735: 1991, ABNT NBR 5736: 1991 ou ABNT NBR 11578: 1991).

Para esta pesquisa, foi utilizado o cimento Portland CPV-ARI (ABNT NBR 11578: 1991) da marca CIPLAN (Figura 25), disponível no mercado de Palmas-TO por valor equivalente aos outros tipos, e, aproveitando de sua característica, este gera um ganho de resistência nos primeiros dias de cura.

Com base na metodologia adotada, os rompimentos dos tijolos produzidos para determinação da resistência à compressão, foram feitos em duas etapas, sendo a primeira delas aos 7 dias de idade dos tijolos e, neste caso, a utilização do cimento CPV-ARI proporciona maiores resistências. A água utilizada foi fornecida pela companhia de abastecimento público do município.

Figura 25: Cimento utilizado na produção do tijolo de solo-cimento



Fonte: Autor (2021).

O resíduo de construção civil utilizado foi adquirido na cidade de Palmas, por meio de doação pela empresa Ambiental usina de reciclagem de resíduos de construção civil (Figura 26) em estado de pós-processamento.

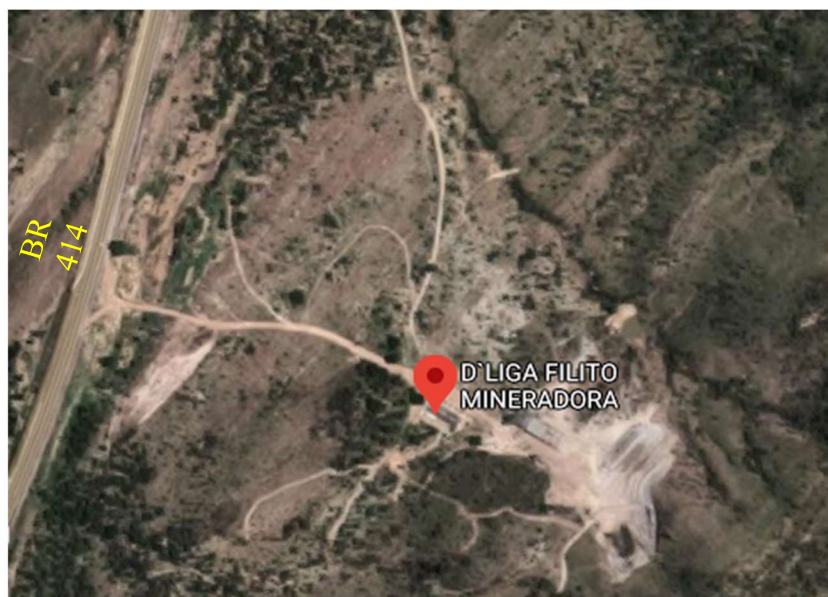
Figura 26: Usina de reciclagem de resíduos de construção civil Ambiental, Palmas-TO.



Fonte: Autor (2021).

O material filito, extraído no estado de Goiás pela empresa D`LIGA FILITO MINERADORA, também foi adquirido junto a esta empresa em estado final de utilização. A jazida de extração (Figura 27) está situada a 21 km da cidade de Assunção do Goiás.

Figura 27: Localização da jazida de extração do filito da empresa D`LIGA FILITO MINERADORA.



Fonte: Google Maps (2021).

O filito foi disponibilizado pela empresa D`LIGA FILITO MINERADORA (Figura 28) em estado de pós beneficiamento em sacos de 20 kg. O beneficiamento é composto pelos processos de britagem, moagem e envasamento do material.

Figura 28: Saco de filito pós beneficiamento utilizado na pesquisa



Fonte: Autor (2021).

3.2.2 Métodos

Por se tratar de um processo experimental, algumas etapas experimentais foram definidas até a coleta e análise final dos resultados. Assim, a primeira etapa desta pesquisa referiu-se à caracterização dos materiais. Em seguida, conforme estipulado nos objetivos, foram definidos traços de fabricação dos tijolos. Por conseguinte, foram fabricados os tijolos de solo-cimento com substituição de uma parcela do solo por resíduo de construção civil e filito. Após isso, foram analisadas as físico-mecânicas, por meio de ensaio à compressão aos 7 dias e aos 28 dias de idade do tijolo e a análise de absorção de água. Por fim, foram verificados os resultados por meio de inferência estatística.

3.2.2.1 Caracterização dos materiais

O primeiro passo executado foi a caracterização do solo adquirido. Como etapa inicial, os solos foram deixados para a secagem ao ar como meio de determinação da umidade higroscópica. Essa determinação foi realizada para os solos analisados tendo como base no procedimento observado pela ABNT NBR 6457: 2016.

Alguns requisitos são estabelecidos conforme a ABNT NBR 10833: 2013. Segundo esta norma, o solo deve apresentar granulometria menor que 4,75 mm segundo estabelecido pela ABNT NBR NM ISO 3310-1: 2010. Além disso, o material deve conter de 10% a 50% de material passante na peneira 0,075 mm (ABNT NBR NM ISO 3310-1: 2010). As verificações

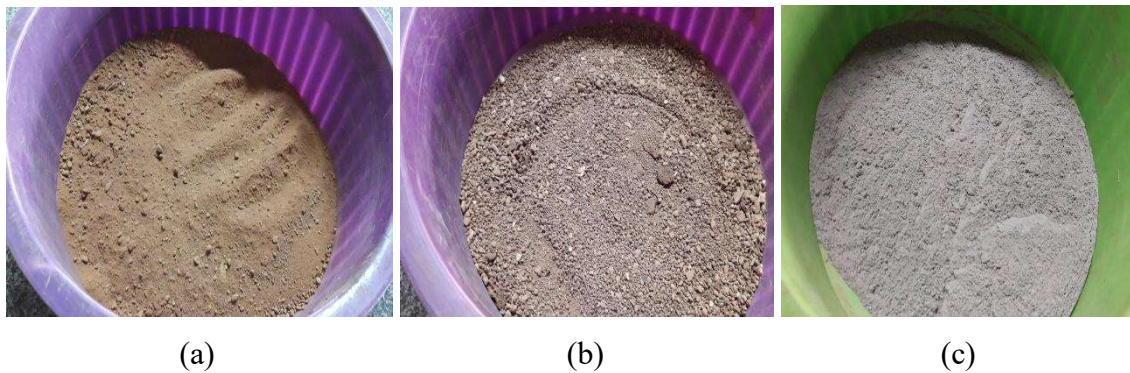
granulométricas dos solos analisados foram feitas por meio da passagem do material, com secagem prévia ao ar e quarteado (Figura 29) segundo a ABNT NBR 6457: 2016, na série de peneiras para material fino de números 4, 10, 16, 30, 40, 50, 60, 100 e 200 (Figura 30).

Figura 29: Quarteador de solos do Laboratório de solos da UFT.



Fonte: Autor (2021).

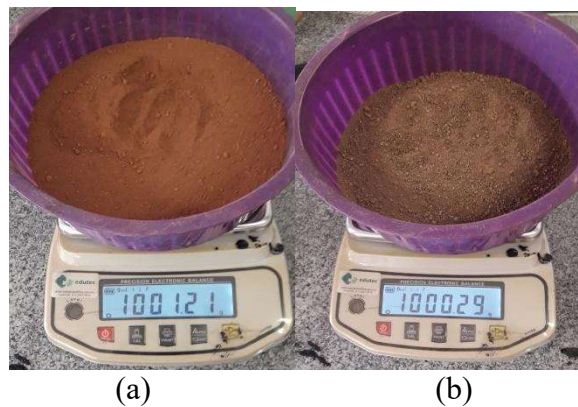
Figura 30: Amostras de Solo A (a), RCC (b) e Filito (c) pra as análises no laboratório.



Fonte: Autor (2021).

As etapas seguintes de pesagem e peneiramento podem ser visualizadas nas Figuras 31 e 32 respectivamente.

Figura 31: Pesagem das amostras de Solo A (a) e RCC (b) para os ensaios.



Fonte: Autor (2021).

Figura 32: Série de peneiras utilizadas para o peneiramento fino.



Fonte: Autor (2021).

A análise granulométrica é destinada ao conhecimento dos diâmetros das partículas do solo em estudo. A preparação da amostra teve como base a definição de solo próprio para a utilização em tijolos de solo-cimento proposto pela ABNT NBR 10833: 2012, onde a granulometria máxima das partículas de solo devem ser de 2 mm. Além disso, a parcela de solo reservada para o ensaio foi tomada com base na quantidade estabelecida pela ABNT NBR 6457: 2016.

Para as amostras de solo em estudo, foram utilizadas a série normal de peneiras definidas pela ABNT NBR 7181: 2016 com as peneiras de número 4 e 10 na classe de peneiramento grosso e para toda a série de peneiramento fino. Desse modo, foi verificada a adequação do Solo A, RCC e filito ao critério de 100% passante na peneira 4,75 mm (#4) assim como nas quantidades percentuais de parcela fina.

Nesta condição, foram utilizados nesta análise, assim como na produção do tijolo de solo-cimento, apenas as granulometrias passantes na peneira de 4,75 mm conforme o critério de produção estabelecido na ABNT NBR 10833: 2012, uma vez que, tanto o Solo A como o RCC apresentavam granulometrias retidas nesta peneira.

O limite de plasticidade também é definido pela ABNT NBR 10833: 2013, sendo limitado em 18%. Já o limite de liquidez deverá ser menor ou igual a 45%. Para a determinação dos dois limites foi necessário o peneiramento de 500g do solo na peneira de número 40 (0,425mm) conforme a norma de preparação das amostras ABNT NBR 6457: 2016. O ensaio do limite de liquidez foi realizado com o auxílio do aparelho de Casagrande (Figura 33) com a

contagem de golpes para o fechamento da ranhura do solo no aparelho conforme a ABNT NBR 6459: 2016. Para a determinação do limite de plasticidade, foi realizada a moldagem do solo (Figura 34) conforme o cilindro padrão exigido pela ABNT NBR 7180 (2016). A determinação das suas umidades foi obtida com o auxílio da estufa.

Figura 33: Equipamentos para o ensaio do Limite de Liquidez realizado no laboratório de solos da UFT.



Fonte: Autor (2021).

Figura 34: Ensaio do limite de plasticidade do Solo A no laboratório de solos da UFT.



Fonte: Autor (2021).

O resíduo da construção civil (RCC) e filito foram tratados de igual modo com a determinação da granulometria e dos limites de liquidez e plasticidade. Para isso, os ensaios a serem realizados nesta etapa estão descritos pela Tabela 6 a seguir.

Tabela 6: Ensaio a serem realizados para caracterização do solo.

Ensaio	Normas
Determinação da massa específica	ABNT NBR 6458 (2016)
Análise Granulométrica	ABNT NBR 7181 (2016)
Determinação do Limite de Liquidez	ABNT NBR 6459 (2016)
Determinação do Limite de Plasticidade	ABNT NBR 7180 (2016)

Fonte: Autor (2021).

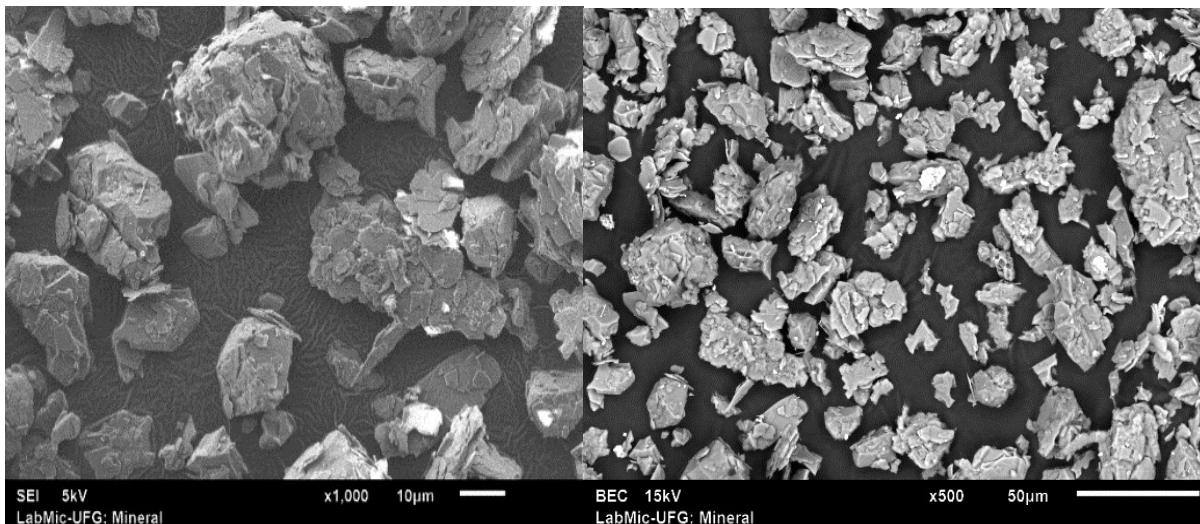
A caracterização dos materiais foi realizada integralmente no laboratório de solos da Universidade Federal do Tocantins – UFT.

3.2.2.2 *Análise do Filito*

Em virtude da grande variação mineralógica dos solos, apresentada nos tópicos anteriores, é impossível definir o comportamento de um solo com base nos resultados de outro semelhante. Neste caso, uma análise qualitativa e/ou quantitativa foi necessária para obter conclusões corretas sobre as propriedades e comportamentos de um solo.

Para o filito utilizado nesta pesquisa, foi realizada uma análise elementar qualitativa por meio da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), de modo que os materiais que compõem este material sejam identificados. Para isso, foi enviada uma amostra do filito ao Laboratório Multiusuário de Microscopia de Alta Resolução da UFG para a determinação dos elementos presentes no filito utilizado neste trabalho. (Figura 35). Os resultados completos da análise realizada pelo LabMic-UFG estão apresentados no Anexo B.

Figura 35: Imagem do mineral Filito realizada pelo Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).



Fonte: LabMic – UFG

3.2.2.3 *Traço do tijolo de solo-cimento*

O traço definido para o tijolo de solo-cimento, segundo a bibliografia, apresenta teores de cimento entre 4% e 10%. Conforme pesquisas apresentadas por Pinto (2015), os tijolos de solo-cimento apresentam melhores características com a utilização do traço 1:10 (cimento: solo), devido à facilidade/agilidade de produção em larga escala. Ainda, quanto à adição de

resíduo de construção civil, Miranda (2019) verificou porcentagens de 10%, 20% e 30% utilizadas em substituição do solo. O referido autor verificou melhores resultados de resistência a compressão nas amostras com 20% de substituição do solo por RCC no tijolo de solo-cimento.

Quanto ao uso de filito, em experiências de produção de tijolos de solo-cimento pela empresa JARFEL-SAHARA[®], o teor ideal de substituição do solo pelo mineral é de 30%. Portanto, nesta pesquisa, foram analisadas as amostras com percentuais de 20%, 30% e 40% de filito, para a verificação das propriedades adquiridas pelo tijolo. A nomenclatura adotada para os traços foi formada adotando o prefixo TJ de tijolo, seguido pelo percentual de RCC e posteriormente com o percentual de filito. Assim, para o traço TJ20-40, por exemplo, essa identificação significa que o traço do tijolo contém uma substituição do solo base por 20% de RCC e 40% de filito

Nesta pesquisa, foram utilizados dois traços de referência que formam a base de comparação das análises estatísticas. Para a primeira avaliação, foi feita a verificação de influência da substituição de RCC nos tijolos de solo-cimento comum para validação do traço com 20% de resíduo de construção civil. Para isso, foi proposto o traço de referência TJ00-00 para as análises comparativas com o tijolo TJ20-00.

De igual modo, o tijolo TJ20-00 foi utilizado como traço de referência para os tijolos TJ20-20, TJ20-30 e TJ20-40 para a avaliação da influência da substituição de filito em tijolos de solo cimento com a substituição de 20% de solo por RCC. Assim, os traços utilizados nesta pesquisa estão descritos na Tabela 7.

Tabela 7: Traços para a produção de tijolo de solo cimento com RCC e filito.

Identificação	Solo (%)	RCC (%)	Filito (%)
TJ00-00	100	-	-
TJ20-00	80	20	-
TJ20-20	60	20	20
TJ20-30	50	20	30
TJ20-40	40	20	40

Fonte: Autor (2021).

3.2.2.4 Produção do tijolo de solo-cimento

Com a dosagem definida, foi iniciado o processo de produção dos tijolos. Para isso, foi realizada a homogeneização dos materiais, partindo da mistura de solo e do RCC, em seguida, adicionou-se o cimento e uma primeira parcela do filito (Figura 36).

Figura 36: Homogeneização do solo para a moldagem dos tijolos.



Fonte: Autor (2021).

Após a primeira mistura, foi adicionada a parcela final de filito seguida da adição de água até que o material adquiriu consistência ao ponto de ser moldado. Essa consistência é obtida por meio do ensaio tátil-visual com a moldagem do material na mão formando um elemento de consistência conforme ilustrado na Figura 37.

Figura 37: Realização do ensaio tátil-visual.



Fonte: Autor (2021).

Em seguida, com o material umedecido e homogeneizado, apresentando certa consistência, foi realizada a moldagem dos tijolos por meio da prensa. Com isso, foram obtidas amostras para a análise dos traços conforme a tabela 8. Para cada composição apresentada na tabela 8 foram produzidos 9 elementos, totalizando 45 tijolos de solo-cimento.

Tabela 8: Quantitativo de amostras de tijolo de solo-cimento produzidas.

<i>Ident.</i>	<i>Ensaio de compressão</i>		<i>Ensaio de absorção</i>	<i>Total</i>
	<i>7 dias</i>	<i>28 dias</i>		
TJ00-00	3	3	3	9
TJ20-00	3	3	3	9
TJ20-20	3	3	3	9
TJ20-30	3	3	3	9
TJ20-40	3	3	3	9
Total	<i>15</i>	<i>15</i>	<i>15</i>	<i>45</i>

Fonte: Autor (2021).

Para a fabricação dos tijolos, foi utilizado a prensa hidráulica motorizada da marca Alroma® com motor de 10 cv e com pistão compactador com capacidade de 12 toneladas. A operação do sistema é feita por comando hidráulico elétrico possuindo uma capacidade diária de produção de 3000 unidades de tijolos.

A composição de máquinas utilizadas na produção dos tijolos na fábrica possui um sistema de peneiramento e mistura de solos e cimentos, esteira para deslocamento do material até a prensa e a máquina de prensagem hidráulica, conforme visto nas Figuras 38 e 39.

Figura 38: Conjunto peneira, esteira e prensa motorizada na fábrica de produção do tijolo de solo cimento.



Fonte: Autor (2021).

Figura 39: Prensa hidráulica de produção do tijolo de solo-cimento



Fonte: Autor (2021).

A prensa possui espessuras ajustáveis de 4 a 10 cm para os tijolos. Conforme estabelecido pela norma ABNT NBR 8462: 2012, os tijolos produzidos foram adotados com espessura de 7 cm, correspondente ao tipo B. Estes podem ser vistos na Figura 40 abaixo.

Figura 40: Tijolos de solo-cimento produzidos na pesquisa (exceto o traço TJ20-40).



Fonte: Autor (2021).

Após a fabricação dos elementos propostos, foram realizados os ensaios para determinação das características físicas e mecânicas dos tijolos com os diferentes traços estudados. A ABNT NBR 8492: 2012 estabelece os procedimentos de ensaio do tijolo de solo-cimento quanto a análise dimensional, a determinação da resistência mecânica à compressão e absorção de água.

A análise dimensional é um dos ensaios propostos pela ABNT NBR 8491: 2012 para a verificação da validação do lote de tijolos de solo-cimento fabricados. Para esta, devem ser feitas as medições dos elementos com o auxílio de um paquímetro para a aferição das medidas produzidas. Como mencionado, a ABNT NBR 8491: 2012 classifica os tijolos nas classes A e B segundo suas dimensões. Nesta pesquisa foram produzidos tijolos da classe B com comprimento de 240 milímetros, largura de 120 milímetros e altura de 70 milímetros.

Figura 41: Tijolos de solo-cimento produzidos na pesquisa. (a) Tipos TJ00-00 a TJ20-30 e (b) TJ20-40.



(a)



(b)

Fonte: Autor (2021).

Conforme os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 8491: 2012, os valores das dimensões podem ter variação limite de $\pm 1,00$ milímetro. Essa precisão diz respeito exclusivamente ao processo produtivo, uma vez que, a verificação das dimensões dos elementos e o ajuste do molde de compressão da prensa é realizado constantemente durante a fabricação dos elementos.

3.2.2.5 Ensaio de absorção de água dos tijolos de solo-cimento

O ensaio de absorção foi realizado com os três tijolos restantes, onde foram medidas as massas secas e úmidas, calculando assim a taxa de absorção. Os corpos de prova foram secados em estufa (Figura 48) sob temperatura entre $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $110\text{ }^{\circ}\text{C}$, e pesados até a constância da massa, sendo esta, a massa (M1) medida em gramas (g). Posteriormente, os corpos de prova devem ser imersos em água por um período de 24 horas e, após isto, foram retirados e secos

superficialmente com um pano levemente umedecido. Em seguida, os elementos foram imediatamente pesados aferindo a massa úmida (M2) dos tijolos (Figura 49). Desse modo, foi aplicada a Equação 4, a fim de que seja determinado o percentual de absorção de água (A) dos blocos.

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad \text{Equação 4.}$$

Conforme estabelecido pela ABNT NBR 64691: 2012, o índice de absorção de água dos elementos individuais não deve ultrapassar os 22%. Quanto aos valores médios das amostras analisadas, o percentual de absorção deverá ser inferior a 20%. Estes valores devem ser atingidos com a idade mínima de 7 dias para aceitação das amostras ensaiadas (ABNT NBR 8491: 2012). A Figura 47 apresenta os corpos de prova utilizados no ensaio de absorção de água.

Figura 42: Tijolos utilizados no ensaio de absorção (3 unidades por traço produzido).



Fonte: Autor (2021).

O ensaio de absorção de água é realizado, primeiramente, com a obtenção da massa seca do com a utilização da estufa (Figura 48).

Figura 43: Secagem dos tijolos do traço TJ20-40 em estufa para obtenção da massa seca.



Fonte: Autor (2021).

Em seguida, os tijolos foram submetidos a submersão em água por 24 horas e posterior pesagem dos elementos imediatamente após a retirada da submersão para obtenção da massa úmida (Figura 49).

Figura 44: Pesagem dos tijolos após 24 horas submersos para obtenção da massa úmida.

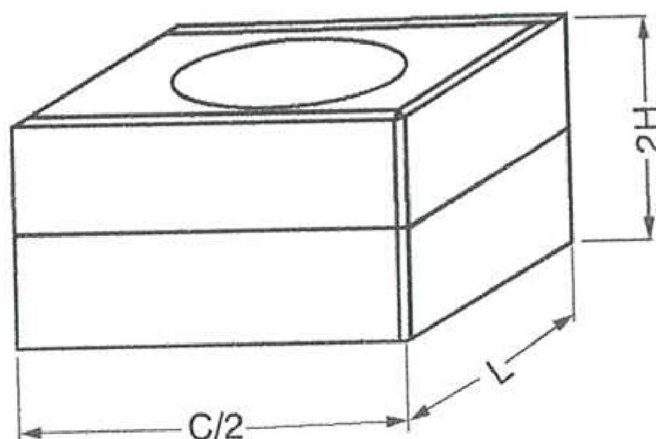


Fonte: Autor (2021).

3.2.2.6 Ensaio de Compressão axial dos tijolos de solo-cimento

No ensaio à compressão axial, a ABNT NBR 8492: 2012 estabelece algumas etapas de preparação do tijolo. Inicialmente, estes elementos foram cortados ao meio, perpendicular a maior dimensão, conforme descrito pela norma (Figura 42). A Figura 43 mostra o procedimento que foi realizado nos tijolos da pesquisa. Em seguida, as faces maiores foram superpostas ligando-as com pasta de cimento Portland com espessura entre 2mm e 3mm, com a observação de que a resistência da pasta não seja menor que a do tijolo.

Figura 45: Ilustração do corpo de prova preparado para o ensaio com duas faces invertidas superpostas.



Fonte: ABNT NBR 8492 (2012).

Figura 46: Corte dos tijolos para a preparação do capeamento e ensaio a compressão. (a) 5 Tijolos do traço TJ20-20 e (b) Tijolo do traço TJ20-30.



(a)

(b)

Fonte: Autor (2021).

As duas metades foram superpostas de modo que, as faces com reentrâncias ficassem com as faces externas do corpo de prova. Estas metades foram coladas com pasta de cimento Portland, obedecendo um tempo de descanso de 12 horas até a execução do próximo passo. Em seguida, as faces foram regularizadas por meio de um capeamento como visto na Figura 44, de modo que houve um contato satisfatório entre as superfícies de trabalho. Segundo a norma, esse capeamento deve ser feito com pasta de cimento Portland com espessura aproximada de 3mm. Após o endurecimento do material, os corpos de prova devem ser submersos em água por no mínimo 6 horas antes do ensaio de compressão.

Figura 47: Capeamentos dos tijolos de solo-cimento com pasta de cimento CP-IV.



Fonte: Autor (2021).

Após as 6 horas, os elementos foram enxugados com pano seco e colocados diretamente no centro da prensa. Esta deve ser configurada para trabalhar com uma taxa de compressão de 500 N/s (50 kgf/s), apresentando aumento gradativo da compressão até o rompimento do corpo de prova. Foram submetidos a este ensaio 3 tijolos aos 7 dias de cura e, posteriormente, outros 3 tijolos com 28 dias após a moldagem dos elementos.

Segundo a ABNT NBR 8491: 2012, os resultados de resistência à compressão individual dos blocos devem ser superiores a 1,7 MPa. Quando analisados a média destes valores, o resultado não deve ser inferior a 2 MPa. Esses valores de resistência à compressão devem ser atingidos já no primeiro ensaio onde os corpos de prova apresentam 7 dias de cura. Quanto aos valores individuais, devem ser definidos conforme a Equação 3, onde a resistência de compressão (f_t) é expressa em Megapascal (MPa), sendo definida pela razão entre a carga de ruptura (F), medida em Newtons (N) e a área da face de trabalho do corpo de prova (S), expressa em milímetros quadrados (mm^2).

$$f_t = \frac{F}{S} \quad \text{Equação 3.}$$

O ensaio de compressão foi realizado no laboratório de materiais de construção da Universidade Federal do Tocantins - UFT. A prensa disponível no laboratório é a Quanteq, modelo UTM – Q30.000, com capacidade de carga de 30 toneladas-força (tf) (Figura 45). Para a execução do ensaio de compressão foram utilizadas duas chapas metálicas com o objetivo de garantir uma igualdade de distribuição de carga na superfície dos elementos, conforme a Figura 45.

Figura 48: Prensa Quanteq modelo UTM – Q30.000 da UFT.



Fonte: Autor (2021).

As amostras ensaiadas tiveram sua área bruta medida para a obtenção da tensão de resistência em MPa. O modelo de rompimento dos tijolos pode ser visualizado com exemplo da Figura 46 a seguir.

Figura 49: Tijolo rompido após o ensaio de compressão axial.



Fonte: Autor (2021).

3.2.2.7 Análise estatística dos dados

A análise dos dados, obtidos por meio dos ensaios apresentados anteriormente, foram tratados pela ABNT NBR 8491: 2012 como critério de aceitação ou rejeição do lote de tijolos representados. O não atendimento dos critérios propostos para a resistência mínima e taxa de absorção de água por mais de 50% dos corpos de prova testados, desqualifica o lote, tornando-o inválido diante desta norma. Ainda, são definidos como desqualificados o lote de amostras com valores de média incompatíveis com os limites estabelecidos para aceitação.

Além da avaliação direta dos dados segundo a norma, foram feitas análises estatísticas por meio de testes de hipótese para uma melhor compreensão dos resultados obtidos. O primeiro teste de hipótese que foi utilizado nestes dados é a análise de variância ANOVA, com nível de significância de 5%. Este, apresenta a possibilidade de comparação de 3 ou mais valores, permitindo avaliar as afirmações sobre as médias de cada conjunto de amostras (MIRANDA, 2019). Além da ANOVA, o “teste T”, que também foi utilizado na avaliação dos resultados, é um dos modelos estatísticos que pode ser conduzido para comparar duas amostras independentes. O nível de significância adotado para este teste também foi de 5%. Com este teste, é possível avaliar as diferenças entre médias de dois grupos e, com isso, verificar se a média apresentada é diferente de um valor de referência ou da média da população (ALVES, 2017).

A validação da análise de dados tanto por meio da ANOVA, quanto pelo teste T independente, deve ser precedida da aceitação de quatro condições fundamentais dos dados. Estes pressupostos são, a distribuição normal dos dados, a homogeneidade das variâncias, a independência das amostras e a ausência de outliers. Todos estes testes iniciais foram feitos pela ferramenta *XRealstatics* do Excel.

Para a verificação da distribuição normal, foi realizado o teste de Shapiro-Wilk onde é feita uma análise dos dados por meio da determinação do valor de p para a amostra. Caso haja a afirmação da hipótese nula (H_0), a mostra é definida como tendo uma distribuição normal, ou seja, o valor de p é maior que 0,05. Para o valor de p menor que 0,05, é aceita a hipótese alternativa validando que não há normalidade dos dados analisados.

Nesta pesquisa, a homogeneidade dos dados foi avaliada pelo teste de Levene. Neste teste, a hipótese nula (H_0 , $p > 0,05$) define que, se o valor de p for maior que 0,05, a variância do grupo é homogênea. Caso contrário, para p menor que 0,05, a variância do grupo não é homogênea. Uma vez que os modelos estatísticos utilizados nesta pesquisa têm como base a análise sobre as médias das amostras, o valor de p analisado no teste de Levene também será sobre a média das amostras. Para os casos em que a hipótese nula do teste de Levene não é aceita, ou seja, as amostras analisadas não são homogêneas, foi realizada uma correção dos dados. O modelo adotado para a correção de tais amostras é o modelo de Welch.

Quanto aos dois outros pressupostos, por se tratarem de amostras que se diferem pelo percentual de material utilizado, podemos definir que cada tipo de tijolo produzido é uma amostra independente. Já a presença de outliers entre as amostras foi verificada por meio da geração do Boxplot dos dados.

No teste ANOVA, verifica-se que os resultados apresentados indicam apenas uma avaliação entre todas as amostras independentes, revelando a existência, ou não, da significância entre os traços. Buscando estender esta análise, são utilizados os testes de post hoc que apresentam a comparação entre pares de amostras indicando a significância entre elas. Nesta pesquisa, os testes de post hoc utilizados foram o de Tukey HSD/Kramer para os casos em que houve homogeneidade dos dados e o Games-Howel para os casos em que não foi constatada a homogeneidade dos dados.

Assim, foi possível identificar a existência de diferenças significativas entre os diferentes traços, verificando a incorporação do filito exerce influência significativa. A característica a ser explorada neste teste refere-se à avaliação tanto isolada quanto em conjunto das variáveis resposta. Desse modo, serão verificadas a influência dos parâmetros de maneira individual e posteriormente, uma avaliação dos mesmo em conjuntos dois a dois, três a três, ou mais (IZQUIERDO, 2011). Neste trabalho, o parâmetro a ser avaliado será a substituição de parcela do solo por filito. Assim, utilizando este método poderá ser realizada a comparação de amostras com variações do teor de filito, verificando a influência do filito na resistência à compressão e na capacidade de absorção de água.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, estão apresentados os resultados da pesquisa mediante a aplicação dos métodos expostos na seção anterior. Ainda, foi feita uma análise estatística dos dados obtidos para uma melhor compreensão dos resultados e por proporcionar conclusões precisas.

4.1 Caracterização dos materiais

Os ensaios de caracterização foram realizados no solo base, denominado nesta pesquisa como Solo A, no resíduo de construção civil (RCC) e no mineral filito, utilizados na produção do tijolo de solo-cimento na fábrica de produção. Como foi comentado na metodologia, para todas as amostras foram realizados os processos de determinação da umidade higroscópica, destorroamento dos grãos e de quarteamento, precedendo as análises a seguir.

4.1.1 Umidade higroscópica e Massa específica

De início, foram determinados os valores da umidade higroscópica para todos os solos utilizados na pesquisa. Estes valores obtidos estão apresentados na Tabela 9 a seguir.

Tabela 9: Umidade higroscópica dos solos

<i>Solo</i>	<i>Solo A</i>	<i>RCC</i>	<i>Filito</i>
Umidade higroscópica (%)	6,81	3,54	1,56

Fonte: Autor (2021).

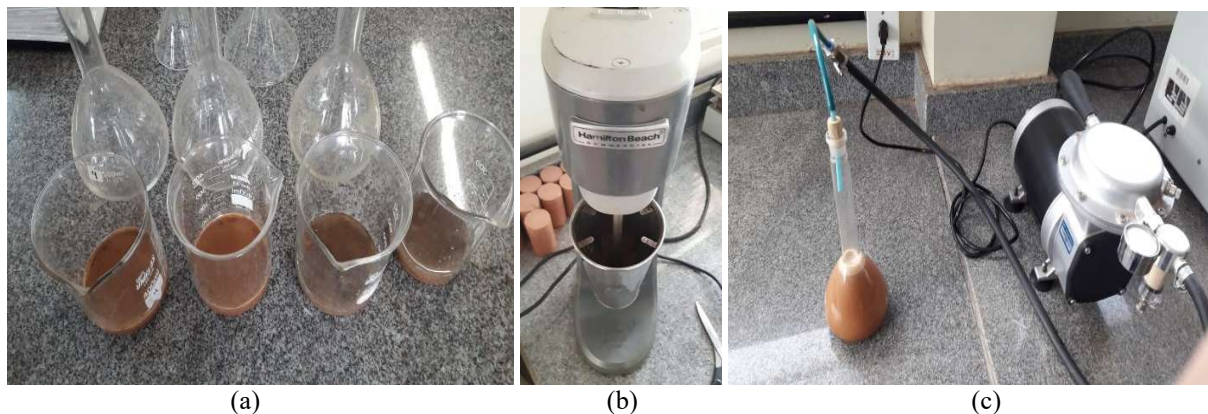
Com esses valores, foi possível calcular a massa específica dos grãos de solo passantes na peneira de número 4 com base na ABNT NBR 6457: 2016. Para o procedimento de ensaios foram utilizados balões volumétricos com as respectivas curvas de calibração para determinação destes valores. Assim, foram determinadas as massas específicas do Solo A, do RCC e do filito conforme exposto na Figura 50 e na Tabela 10.

Tabela 10: Massa específica do Solo A, RCC e do Filito.

<i>Solo</i>	<i>Solo A</i>	<i>RCC</i>	<i>Filito</i>
Massa Específica (g/cm ³)	2,06	1,61	2,23

Fonte: Autor (2021).

Figura 50: Fase de descanso do solo (a) mistura do material (b) e retirada de ar por bomba de vácuo (c) para o ensaio de determinação da massa específica.



Fonte: Autor (2021).

4.1.2 Granulometria e classificação dos solos

Conforme os requisitos propostos para a produção do tijolo de solo-cimento (ABNT NBR 10833: 2012), referente as quantidades passantes e retidas na peneira #200 (0,075 mm), a Tabela 11 a seguir apresenta um resumo das quantidades de material nos três materiais analisados.

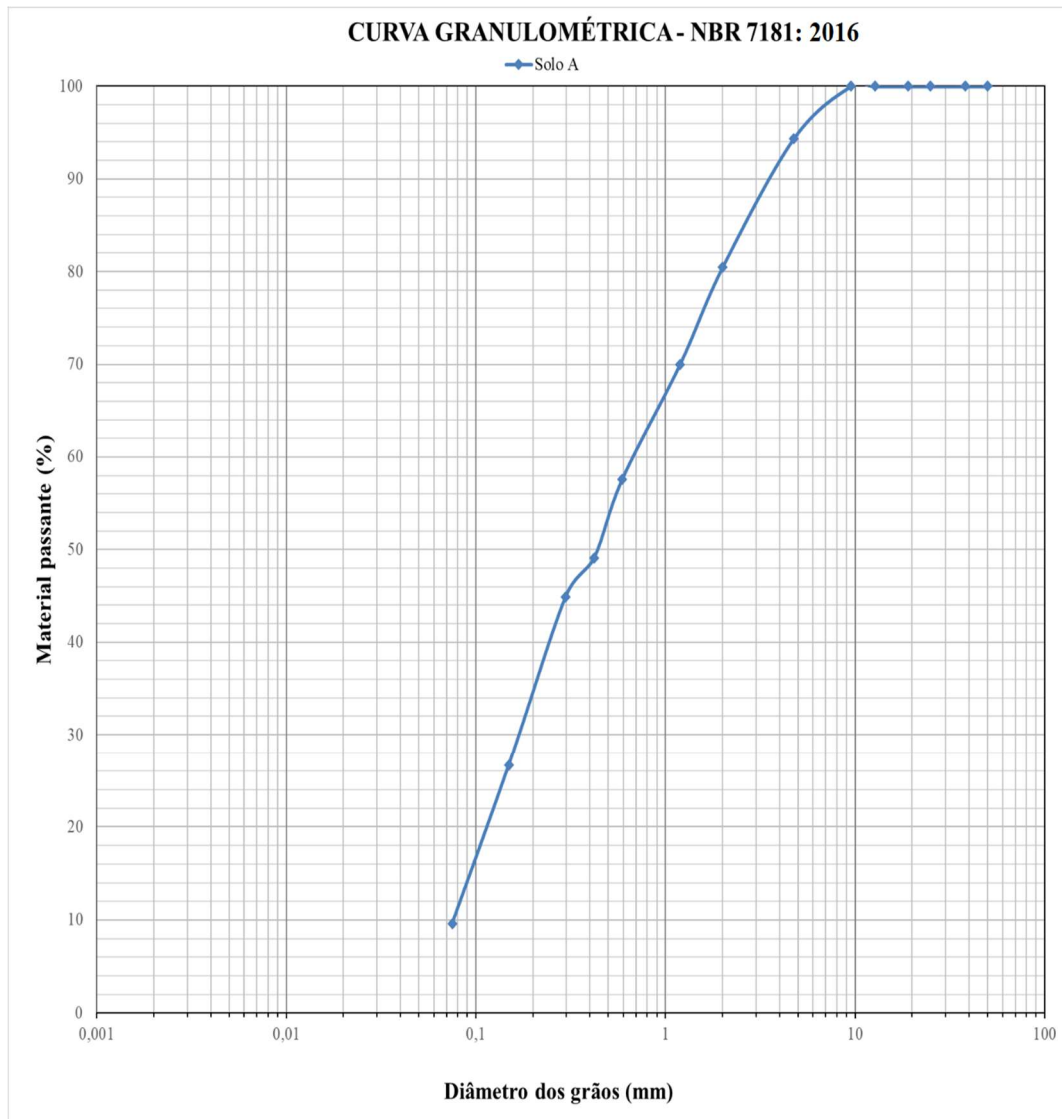
Tabela 11: Percentuais de material retido e passante na peneira #200 (0,075 mm)

<i>Solo</i>	<i>Solo A</i>	<i>RCC</i>	<i>Filito</i>
Parcela acumulada retida na peneira #200 (%)	88,06	98,73	77,40
Parcela Passante na peneira #200 (%)	11,94	1,27	22,60

Fonte: Autor (2021).

Pelos valores observados na tabela de percentuais de material retido e passante na peneira #200 (0,075 mm) é possível julgar que o Solo A, utilizado como base da produção do tijolo de solo-cimento atende ao critério da ABNT NBR 10833: 2012 com percentual passante superior a 10% dos grãos, e portanto, é adequado para esse fim. A Figura 51 a seguir apresenta a curva granulométrica do Solo A.

Figura 51: Curva Granulométrica do SOLO A por meio do peneiramento fino.

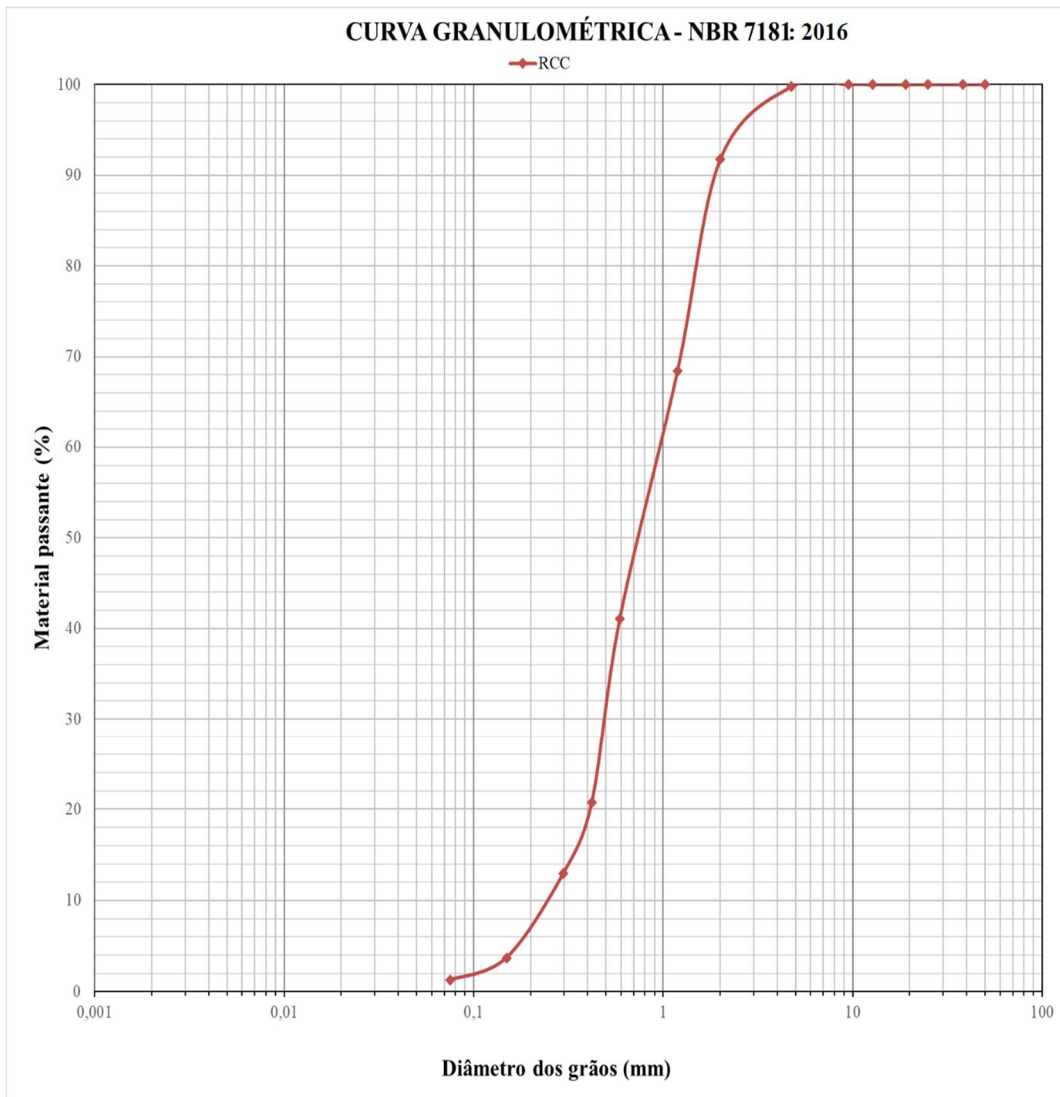


Fonte: Autor (2021).

Como modelo de classificação, segundo o critério da AASHTO, o Solo A é classificado como A-1-a. Segundo os critérios da USACE, o Solo A seria classificado como SC (Areia Siltosa) ou SM (Areia Argilosa). Na pesquisa conduzida por Miranda (2019), o resíduo de construção civil utilizado foi direcionado para uma eventual correção dos teores de finos presentes nos solos utilizados. Apesar da diferença entre os solos utilizados entre esta pesquisa e a pesquisa de Miranda (2019), o RCC, nesta pesquisa, terá tanto o objetivo promover a destinação viável para este resíduo, como também no auxílio da redução de finos proporcionados pelo filito e Solo A, mesmo que o Solo A utilizado, apresenta teores de areia superiores aos do solo estudado por Miranda (2019).

Para o RCC analisado, o mesmo foi classificado com base nos critérios da AASHTO como A-3, devido sua condição não plástica, tendo como descrição de sua classificação como areia fina. Segundo os critérios da USACE, a classificação do RCC é SW, sendo uma areia bem graduada com poucos ou nenhum fino. A Figura 52 a seguir traz a curva granulométrica do RCC.

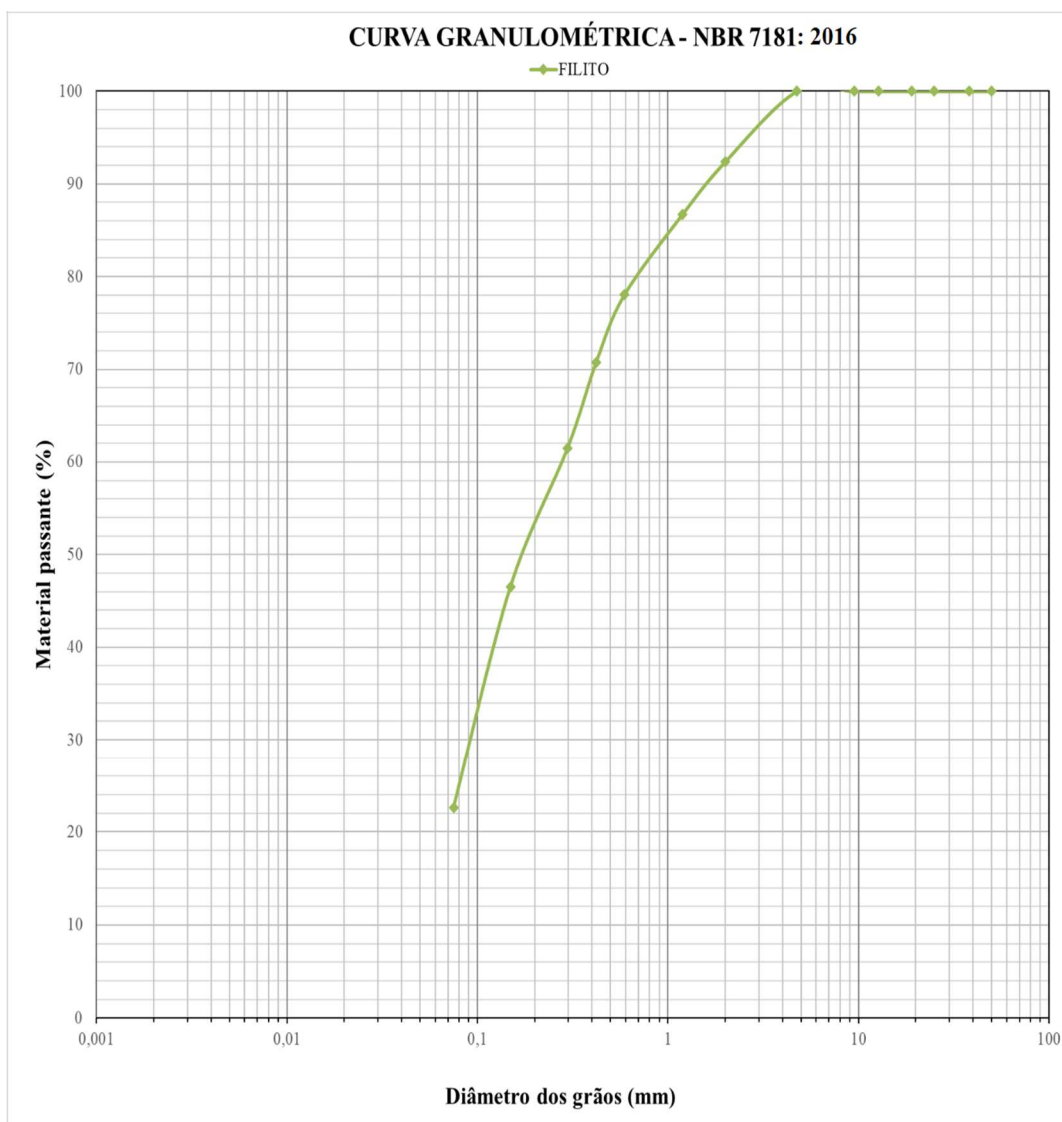
Figura 52: Curva Granulométrica do RCC por meio do peneiramento fino.



Fonte: Autor (2021).

O mineral filito também foi tratado no processo de granulometria e teve sua curva conforme descrito na Figura 53. O percentual passante na peneira de 0,075 mm foi de 22,60 % estando dentro do limite estabelecido para os solos segundo a ABNT NBR 10833: 2012. Pelo critério da AASHTO, o Filito é classificado como A-2-6, tipo usual de Areia Siltosa ou Areia argilosa. Pelo critério da USACE, o Filito seria classificado como SC (Areia Siltosa) ou SM (Areia Argilosa).

Figura 53: Curva Granulométrica do Filito por meio do peneiramento fino.



Fonte: Autor (2021).

4.1.3 Limite de liquidez

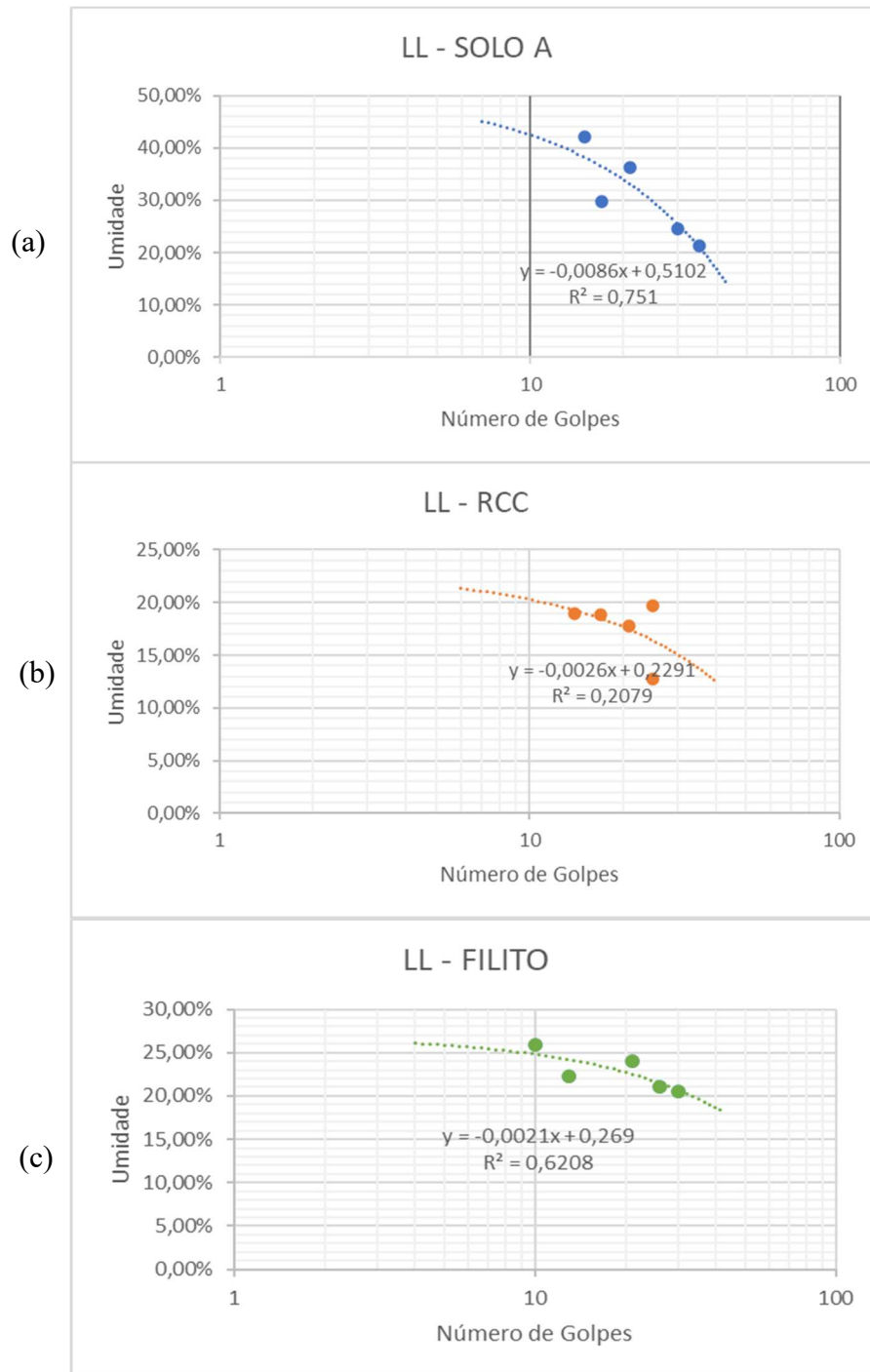
Com a realização do ensaio de Casagrande, conforme a ABNT NBR 6459: 2012, foram obtidos os valores de umidade referente ao limite de liquidez das amostras de solo testadas. Assim, os valores de LL para os solos desta pesquisa estão descritos na Tabela 12 e os gráficos respectivos estão expostos na Figura 54.

Tabela 12: Valores do Limite de Liquidez dos solos analisados

<i>Solo</i>	<i>Solo A</i>	<i>RCC</i>	<i>Filito</i>
Limite de Liquidez	29,5%	16,4%	21,7%

Fonte: Autor (2021).

Figura 54: Curva de determinação do Limite de Liquidez do Solo A (a), RCC (b) e Filito (c).



Fonte: Autor (2021).

Segundo o critério da ABNT NBR 10833: 2012, o Limite de liquidez dos solos utilizados para a produção de tijolo de solo-cimento deve ser menor ou igual a 40% de umidade. Neste caso todos os materiais analisados tiveram valores menores aos da norma e, portanto, obedecem ao critério do teor de água limite para o estado de liquidez.

4.1.4 Limite de Plasticidade

A norma de produção dos tijolos de solo cimento, ABNT NBR 10833: 2012, define que o teor de umidade referente ao limite de plasticidade de um solo ideal para a confecção destes elementos deve ser menor ou igual a 18%. Após a realização dos ensaios e a coleta dos dados, foi possível obter os seguintes valores de limite de plasticidade e os respectivos índices de plasticidade das amostras analisadas na Tabela 13.

Tabela 13: Limites de plasticidade e índice de plasticidade dos solos analisados.

<i>Solo</i>	<i>Solo A</i>	<i>RCC</i>	<i>Filito</i>
Limite de Plasticidade	20,2%	NP	18,4%
Índice de Plasticidade	9,28%	NP	3,26%

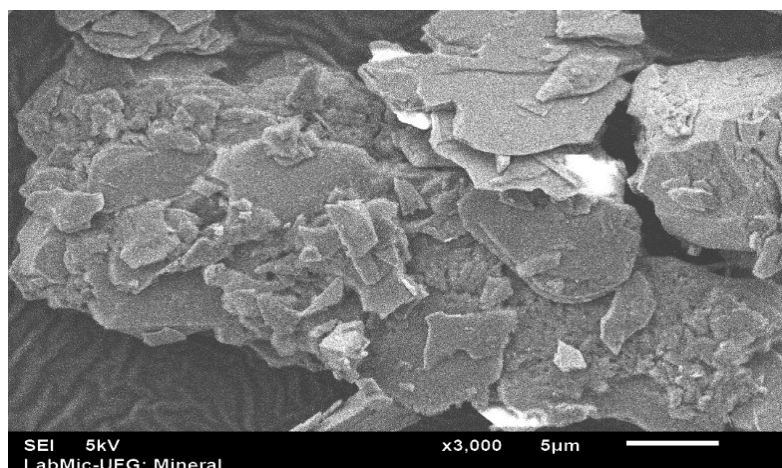
Fonte: Autor (2021).

Portanto, com base nos dados mostrados na Tabela 13 e mediante os critérios estabelecidos pela norma ABNT NBR 10833: 2012, é possível definir que o Solo A e o Filito não atendem a esse critério, contudo, verifica-se que estes valores estão próximos aos valores exigidos por norma, podendo ser corrigidos para a adequação. Já o RCC estudado não apresentou plasticidade devido ao baixo teor de finos existentes na amostra e, portanto, sua classificação foi “Não Plástico (NP)”.

4.2 Análise do Filito

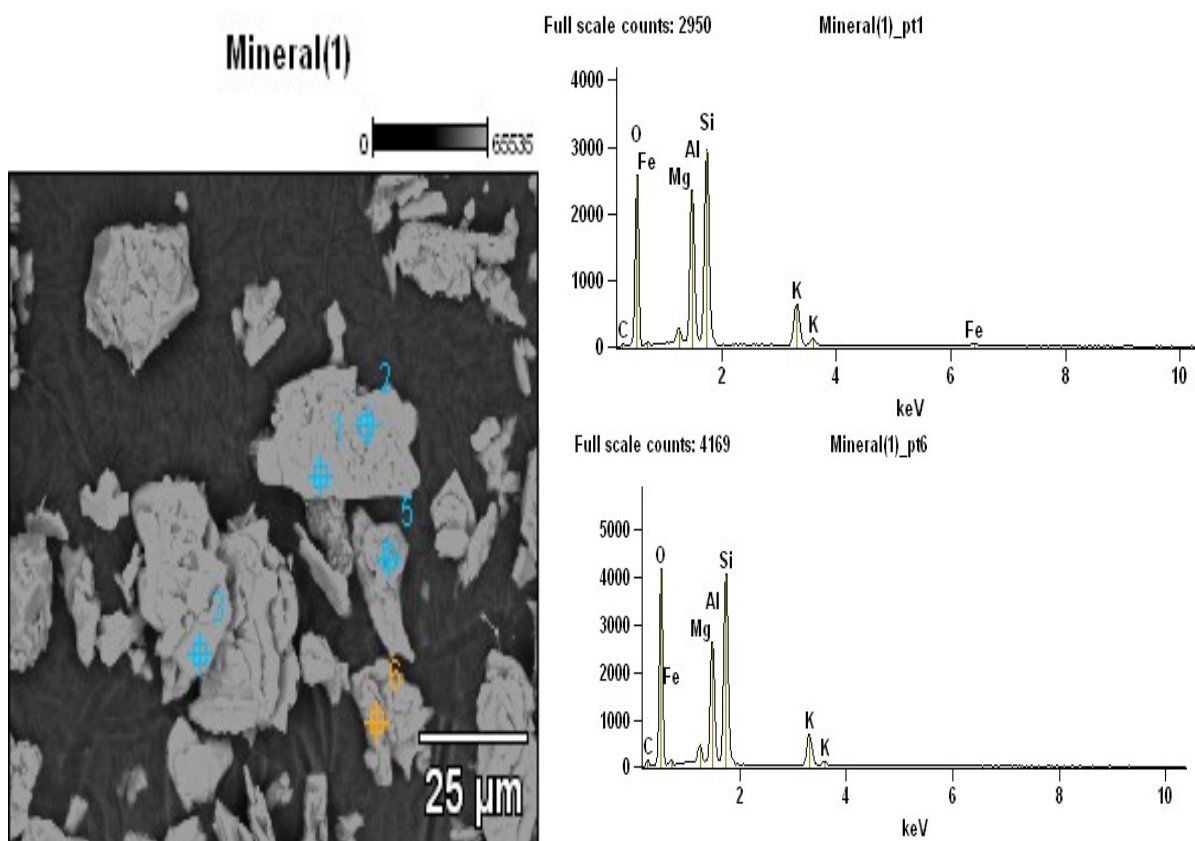
Uma segunda etapa da análise realizada no mineral filito utilizado nesta pesquisa foi a microscopia eletrônica de varredura (MEV) com a qual é possível verificar e comprovar algumas características comuns do mineral. Uma parte destes resultados podem ser observados nas Figuras 55 e 56 a seguir.

Figura 55: Imagem do material filítico em escala microscópica (x3000).



Fonte: LabMic – UFG (2021).

Figura 56: Resultado do MEV na amostra de Filito no ponto 1 e ponto 6.



Fonte: LabMic – UFG (2021).

Uma das características observadas na imagem microscópica na Figura 54, é a estrutura física dos componentes do mineral. É possível identificar placas lamelares, provavelmente, de uma parcela de algum argilomineral, como a caulinita, que como previsto em pesquisas anteriores, compõem o filito.

Para os pontos analisados na amostra, conforme apresentado nos resultados do Anexo B, a presença dos principais elementos componentes do filito é verificada pelo alto teor de Silício (Si), Alumínio (Al) e oxigênio (O). Estes elementos compõem a base dos principais minerais do filito, que são o Óxido de Alumínio (Al_2O_3) e o Dióxido de Silício (SiO_2). A Caulinita, assim como os minerais muscovita (sericita) e quartzo que formam o filito são formados basicamente por estes elementos (Tabela 14).

Tabela 14: Composição química dos principais minerais do Filito.

<i>Mineral</i>	<i>Fórmula Geral</i>
Sericita	$KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH, F)_2$
Caulinita	$(Al, Mg, Fe)_4(Si_4O_{10})(OH)_8$
Quartzo	SiO_2

Fonte: Autor (2021).

Os resultados da microscopia eletrônica de varredura no ponto 1 e ponto 6, apresentado na Figura 55, evidenciam a presença de oxigênio (O) e ferro (Fe), confirmada pela análise quantitativa (Tabela 15). Como visto, os filitos, geralmente estão associados aos minerais de óxido de ferro (octaedros de magnetita e lâminas de hematita) (MELO, 2012). Ainda, nestes pontos foi identificado também a presença de potássio (K), elemento presente no mineral sericita.

A presença de silicatos e sílico-aluminatos indicam a potencialidade do material analisado quanto a atividade pozolânica e, na presença de cimento utilizado na produção do tijolo de solo-cimento, poderá gerar ganhos de resistência e melhoria na durabilidade dos elementos. Esta atividade pode ser confirmada por meio de uma avaliação do teor destes elementos presentes no material.

A empresa mineradora responsável pela extração e comercialização do filito utilizado, a D`Liga FILITO MINERADORA, que forneceu o mineral para esta pesquisa, e cedeu os resultados de uma análise quantitativa feita em uma amostra de rocha da reserva de extração da empresa. Os ensaios foram realizados por meio do Fundo de Fomento à Mineração (FUNMINERAL) do estado de Goiás, onde verificou-se os teores dos componentes presentes na amostra de filito extraído. Estes valores estão dispostos na Tabela 15 a seguir.

Tabela 15: Análise quantitativa por Florescência de raio X, da amostra de rocha do filito realizada pela D`Liga Filito Mineradora (2013)

<i>Identificação</i>	<i>% na amostra</i>	<i>Identificação</i>	<i>% na amostra</i>
CaO	0,04%	Na ₂ O	0,18%
MgO	0,75%	Fe ₂ O ₃	1,41%
SiO ₂	86,10%	Al ₂ O ₃	5,49%
K ₂ O	2,40%		

Fonte: D`Liga FILITO MINERADORA (2013)

Analisando os resultados obtidos da Tabela 15, o dióxido de silício, que é base de formação do quartzo, é o mineral mais abundante desta jazida de filito. O valor de SiO₂ encontrado na amostra analisada, foi de 86,10%, sendo este o mineral dominante na amostra de filito analisada. Os quartzos são responsáveis principalmente pelo efeito filer adquirido pelo filito. Quando associado ao cimento, o efeito filer proporciona a estabilização de tensões de compressão (MORAES, 2018) e impermeabilidade devido ao efeito de empacotamento das partículas provocado pela fina granulometria.

Com base nos valores obtidos, verifica-se que os óxidos SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃ representam 93% da amostra analisada. Com esse teor, o material cumpre o objetivo pozolânico

para a classe N (pozolanas naturais e artificiais). Isso porque, segundo a ABNT NBR 12653: 2014, que trata dos requisitos para materiais pozolânicos, o valor mínimo da soma percentual de SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃ presente na amostra deve ser maior que 70%.

Neste caso, o filito analisado apresenta grande capacidade pozolânica, onde, juntamente com o cimento adicionado ao tijolo de solo-cimento, proporciona ganho de resistência e ganho de durabilidade, contribuindo para o aumento da impermeabilidade e resistência a ambientes mais agressivos como, por exemplo, em locais de grandes taxas de sulfatos.

4.3 Ensaio de absorção de água

O ensaio foi realizado com base nas determinações de procedimentos da ABNT NBR 8492: 2012, onde foram separados para o ensaio três blocos de cada traço produzido. A obtenção dos dados de massa seca e massa úmida seguiram os passos exigidos por esta norma e estão descritos na tabela 16 a seguir.

Tabela 16: Resultados do ensaio de absorção para os traços de tijolos produzidos.

<i>Tipo</i>	<i>Elemento</i>	<i>Massa seca (g)</i>	<i>Massa úmida (g)</i>	<i>Massa de água absorvida (g)</i>	<i>% de absorção</i>
TJ00-00	1	3116,40	3613,01	496,61	15,94%
	2	3076,53	3589,14	512,61	16,66%
	3	3016,51	3568,01	551,50	18,28%
Valores Médios		3069,81	3590,05	520,24	16,95%
TJ20-00	1	2950,20	3472,03	521,83	17,69%
	2	3103,86	3580,02	476,16	15,34%
	3	2947,55	3528,31	580,76	19,70%
Valores Médios		3000,54	3526,79	526,25	17,54%
TJ20-20	1	2898,84	3455,62	556,78	19,21%
	2	3118,92	3661,85	542,93	17,41%
	3	3077,92	3650,82	572,90	18,61%
Valores Médios		3031,89	3589,43	557,54	18,39%
TJ20-30	1	3113,33	3684,42	571,09	18,34%
	2	3073,38	3630,82	557,44	18,14%
	3	3027,00	3559,53	532,53	17,59%
Valores Médios		3071,24	3624,92	553,69	18,03%
TJ20-40	1	2912,28	3589,85	677,57	23,27%
	2	2813,01	3503,97	690,96	24,56%
	3	2979,48	3640,20	660,72	22,18%
Valores Médios		2901,59	3578,01	676,42	23,31%

Fonte: Autor (2021).

Segundo os critérios defendidos pela ABNT NBR 8491: 2012, a absorção máxima de água aos 7 dias de cura para amostras individuais não deve ser superior a 22% e, para a média das amostras, esse valor de absorção de água aos 7 dias não deve ultrapassar os 20%. Neste caso, observa-se que apenas os tijolos do traço TJ20-40 não atenderam aos critérios de absorção.

Em uma análise direta dos valores, é possível verificar que quanto maior o percentual de filito na amostra, maior é o percentual de absorção de água dos tijolos. Verifica-se ainda que, os tijolos do traço TJ20-40 foram os que mais absorveram água entre os traços analisados, tendo também a menor média em massa seca, o que pode sugerir uma maior porosidade do traço em questão.

O aumento do teor de absorção de água nos tijolos TJ20-20, TJ20-30 e TJ20-40, com substituição de parcela do solo por filito, pode estar ligado ao aumento da parcela de finos nas amostras. A presença de uma maior quantidade de partículas finas influencia no aumento de superfícies específicas da amostra e, conseqüentemente, os tijolos apresentaram uma maior demanda de água. Diante disso, obteve-se uma mistura de solos mais seca que acaba tendo menor capacidade de compactação pela prensa. Nestes casos, ocorre um aumento da porosidade e, por conseguinte, o aumento da capacidade de absorção de água dos tijolos com filito (GANESAN; RAJAGOPAL; THANGAVEL, 2007).

4.3.1 Análise estatística do ensaio de absorção.

Para expandir as análises acerca dos dados de absorção de água obtidos, foi realizada uma avaliação estatística por meio do teste de variância ANOVA. Em um primeiro momento, foi averiguada a validação dos quatro pressupostos para aplicação dos testes estatísticos. Inicialmente, foi verificada a normalidade dos dados por meio do teste de Shapiro-wilk. O resultado deste teste está descrito na Tabela 17.

Tabela 17: Teste de normalidade dos dados de absorção de água por meio do teste de Shapiro-wilk.

	TJ00-00	TJ20-00	TJ20-20	TJ20-30	TJ20-40
W-stat	0,954	0,998	0,963	0,936	0,998
P-Value	0,587	0,916	0,630	0,512	0,905
Alpha	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050
Normal	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM

Fonte: Autor (2021).

Para os dados analisados, foi verificado que os dados apresentam uma distribuição normal, uma vez que, os valores de p foram superiores a 0,05, indicando a aceitação da hipótese

nula H_0 . Para a verificação de homogeneidade, foi realizado o teste de Levene. Neste teste, os dados são considerados homogêneos pela validação da hipótese nula ($p > 0,05$) indicando que há homogeneidade entre os dados. O resultado do teste está descrito na tabela 18.

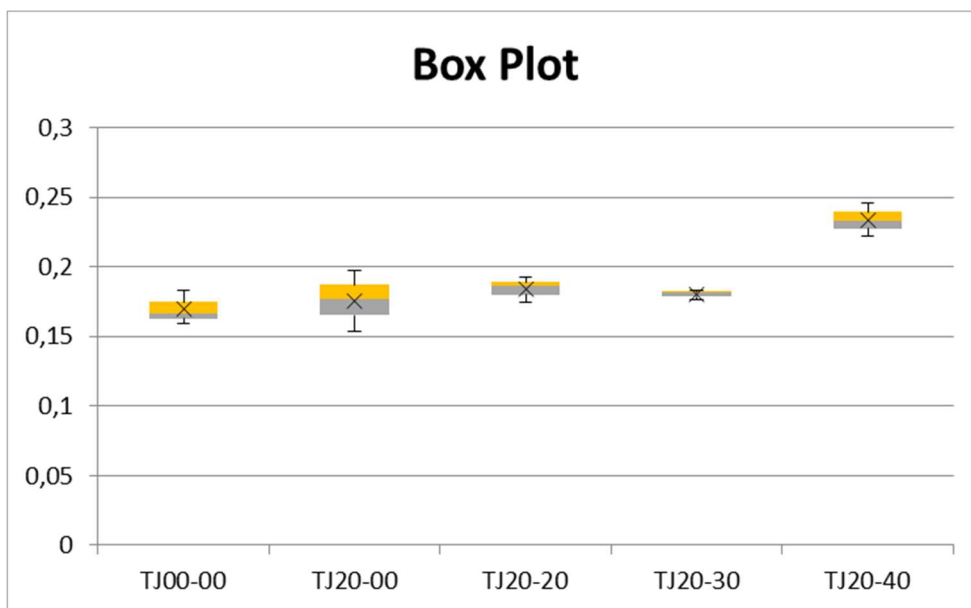
Tabela 18: Teste de Levene para verificação de homogeneidade das amostras.

Teste de Levene para Absorção de água	
Type	P-Value
Média	0,361

Fonte: Autor (2021).

Com o resultado do valor de p , confirma-se a homogeneidade dos dados de absorção de água, aceitando a hipótese nula, onde p foi igual a 0,361, sendo maior que 0,05. A necessidade dos dados de serem independentes é validada pela diferença entre as amostras, uma vez que, cada uma delas apresenta variação percentual dos materiais utilizados nesta pesquisa. Quanto à verificação da ausência de outliers é validada pela análise dos dados por meio do box plot apresentado na Figura 56.

Figura 57: Box Plot dos dados de absorção de água de todos os dados ensaiados.



Fonte: Autor (2021).

Com homogeneidade confirmada pelo teste de Levene, foi realizada a análise de variância ANOVA e foram obtidos os seguintes dados conforme a Tabela 19 a seguir e, posteriormente, o post-hoc de Tukey HSD/Kramer na Tabela 20.

Tabela 19: Teste de ANOVA para os dados de absorção de água.

<i>Sources</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P value</i>
Entre os grupos	4	0,0019	11,38	0,001
Dentro dos Grupos	10	0,0001		
Total	14	0,0006		

Fonte: Autor (2021).

Tabela 20: Post-hoc de Tukey HSD/Kramer para os dados de absorção de água.

<i>Traço 1</i>	<i>Traço 2</i>	<i>Mean</i>	<i>Std Err</i>	<i>Q-Stat</i>	<i>P-Value</i>	<i>Mean-Crit</i>
TJ00-00	TJ20-00	0,006	0,008	0,814	0,976	0,035
TJ00-00	TJ20-20	0,014	0,008	1,911	0,669	0,035
TJ00-00	TJ20-30	0,011	0,008	1,403	0,853	0,035
TJ00-00	TJ20-40	0,064	0,008	8,404	0,001	0,035
TJ20-00	TJ20-20	0,008	0,008	1,097	0,932	0,035
TJ20-00	TJ20-30	0,004	0,008	0,590	0,993	0,035
TJ20-00	TJ20-40	0,058	0,008	7,591	0,002	0,035
TJ20-20	TJ20-30	0,004	0,008	0,507	0,996	0,035
TJ20-20	TJ20-40	0,049	0,008	6,494	0,007	0,035
TJ20-30	TJ20-40	0,053	0,008	7,001	0,004	0,035

Fonte: Autor (2021).

Pelo teste de ANOVA, com base nos valores de P observados, é verificado que o valor de p é menor que 0,05, invalidando a hipótese nula e indicando que há pelo menos um grupo dentre os 5 analisados onde há uma diferença significativa com os demais grupos. Desse modo, podemos dizer que há influência da adição de filito entre os traços analisados ($f(4,10) = 11,38$; $p = 0,001$).

Pelo teste post-hoc de Tukey HSD/Kramer, é possível verificar que na comparação entre TJ00-00 e TJ20-40, TJ20-00 e TJ20-40, TJ20-20 e TJ20-40 e TJ20-30 e TJ20-40, que o valor de p é menor que 0,05 indicando a adoção da hipótese alternativa. Isso estabelece que há uma diferença significativa entre as amostras analisadas, indicando que o traço com substituição de 40% de filito atestou a influência significativa de filito nos resultados de absorção de água obtidos.

Para os valores das demais comparações, verifica-se a manutenção da hipótese nula indicando semelhança estatística entre os dados analisados. Nestes casos de semelhança, as substituições de percentuais de filito em 20% e 30% influenciaram no aumento do percentual de absorção de água, havendo crescimento desses índices proporcional ao aumento do percentual de filito na amostra.

Avaliando, agora por meio do teste T, foi construída a Tabela 21 com os valores de p das comparações entre os traços com substituição e os traços de referência.

Tabela 21: Teste T independente dos dados de absorção de água.

<i>Traço 1</i>	<i>Traço 2</i>	<i>T-Stat</i>	<i>Df</i>	<i>P-Value</i>	<i>T-Crit</i>	<i>Significância</i>
TJ20-00 - TJ00-00		0,429	3,110	0,696	3,120	NÃO
TJ20-00 - TJ20-20		0,609	2,684	0,590	3,405	NÃO
TJ20-00 - TJ20-30		0,349	2,126	0,758	4,067	NÃO
TJ20-00 - TJ20-40		4,007	3,100	0,026	3,125	SIM

Fonte: Autor (2021).

Na comparação entre o traço TJ20-00 e seu traço de referência, o TJ00-00, verificou-se por meio do valor de p, a adoção da hipótese nula, onde p é maior que 0,05. Isso valida o resultado obtido pelo teste de ANOVA, indicando que a substituição de parcela do Solo A por RCC não gera diferença significativa na amostra, e, neste caso, o resíduo não interfere significativamente no aumento do índice de absorção de água do traço TJ20-00.

Na análise entre os traços TJ20-20 e TJ20-30 com o traço de referência correspondente, o TJ20-00, verificou-se que não houve diferença significativa entre as amostras mediante o dado do valor de p obtido ($p > 0,05$). Nestes casos, a adição de filito também não influenciou significativamente no aumento da capacidade de absorção de água dos tijolos produzidos.

Para o traço TJ20-40, quando comparado com o traço de referência TJ20-00, verificou-se que, com base no valor de p ($p < 0,05$), há diferença significativa entre as amostras analisadas. Em tal caso, a presença de 40% de filito influenciou no aumento significativo do teor de absorção de água, como resultado do aumento da superfície específica dos grãos como proposto anteriormente.

Assim, conclui-se com base nos dois testes realizados, o teste T e o teste ANOVA, há existência de semelhança estatística entre os dados obtidos nos traços TJ00-00 e TJ20-00, indicando a baixa influência da substituição de RCC ao tijolo de solo-cimento. Ainda, uma conclusão semelhante é obtida para os traços TJ20-20 e TJ20-30, com substituição de 20% e 30% de Solo A por filito, respectivamente. Nestes dois traços, verificou-se também a baixa influência da substituição de filito nos traços para o aumento do índice de absorção de água. Já para a avaliação da substituição de 40% de filito, em ambos os testes estatísticos realizados, verificou-se a influência desse teor de filito no aumento do percentual de absorção de água do traço TJ20-40.

4.4 Ensaio de resistência à compressão axial

Para efeito de comparação, foram realizados dois testes de resistência à compressão com as amostras produzidas. O objetivo foi avaliar as variações de resistência aos 7 dias e aos 28 dias após a fabricação dos elementos. Segundo a ABNT NBR 8491: 2012, os requisitos específicos para os tijolos de solo-cimento analisados aos 7 dias de cura, para a média das resistências, devem ter valores superiores a 2,0 MPa e, para resistências individuais, valores superiores a 1,7 MPa. Além dessa avaliação direta, os valores obtidos nos ensaios de compressão também serão analisados por métodos estatísticos. Neste caso, os dados serão avaliados por meio do teste T e o ANOVA juntamente com o teste de Kruskal-Wallis para uma avaliação das amostras independentes.

Os resultados do ensaio realizado aos 7 dias de cura estão descritos na Tabela 22. Também estão descritos ainda os valores de resistência à compressão média, desvio padrão e coeficiente de variação de cada um dos traços analisados.

Tabela 22: Resistência média aos 7 dias, DP e Coef. De Variação dos traços.

<i>Tipo</i>	<i>Elemento</i>	<i>Área (mm²)</i>	<i>Força (kN)</i>	<i>Resistência (MPa)</i>	<i>Resistência média (MPa)</i>	<i>Desvio Padrão</i>	<i>Coef. De Variação (%)</i>
TJ00-00	1	15596	19,20	1,231	1,35	0,282	20,96%
	2	15637	17,80	1,138			
	3	15663	26,10	1,666			
TJ20-00	1	15763	17,00	1,078	1,05	0,021	1,95%
	2	15625	16,30	1,043			
	3	15729	16,40	1,043			
TJ20-20	1	15584	14,50	0,930	0,88	0,049	5,57%
	2	15614	13,00	0,833			
	3	15620	13,70	0,877			
TJ20-30	1	15598	11,90	0,763	0,89	0,518	58,46%
	2	15412	6,80	0,441			
	3	15734	22,90	1,455			
TJ20-40	1	15693	32,30	2,058	1,88	0,289	15,38%
	2	15708	24,30	1,547			
	3	15661	31,90	2,037			

Fonte: Autor (2021).

Com base nos resultados da resistência à compressão, verificou-se que, segundo os critérios de resistência mínima aos 7 dias de cura, nenhum dos traços atingiu o valor de 2 MPa para as resistências médias. As prováveis causas para estes resultados se devem primeiramente a ineficiência ou falha do processo de cura úmida dos elementos uma vez que não houve a

molhagem constante dos elementos para evitar a perda de umidade dos elementos dificultando o processo de cura do cimento presente. Um outro fator que pode ter contribuído para os resultados foi o tempo de cura reduzido e qualidade do capeamento realizado.

Em relação aos valores individuais de cada elemento, apenas os tijolos 1 e 3 do traço TJ20-40 atingiram resistência superior a 1,7 MPa após os 7 dias. Neste traço, foi possível corrigir a qualidade do capeamento e garantir melhores condições de cura, devido à diferença de 4 dias entre a produção dos demais traços e o traço TJ20-40. Vale ressaltar que, mesmo havendo a diferença dos dias de produção, como relatado, as idades de rompimento foram garantidas.

Quando analisado os valores de coeficiente de variação das amostras aos 7 dias, percebe-se que para o traço TJ20-30, esse valor está acima de 30%, caracterizando uma alta dispersão dos dados, o que se traduz em uma heterogeneidade das amostras que compõe o traço. Para as amostras com coeficiente de variação entre 15% e 30% são verificadas uma média dispersão dos valores. Os traços com dispersão média são o TJ00-00 e o TJ20-40. Os traços TJ20-00 e TJ20-20 podem ser classificados como homogêneos.

Os resultados do ensaio realizado aos 28 dias de cura estão descritos na Tabela 23. Também estão descritos ainda os valores de resistência à compressão média, desvio padrão e coeficiente de variação de cada um dos traços analisados.

Tabela 23: Resistência média aos 28 dias, DP e Coef. De Variação dos traços.

<i>Tipo</i>	<i>Elemento</i>	<i>Área (mm²)</i>	<i>Força (kN)</i>	<i>Resistência (MPa)</i>	<i>Resistência média (MPa)</i>	<i>Desvio Padrão</i>	<i>Coef. De Variação (%)</i>
TJ00-00	1	15738	49,80	3,164	2,89	0,597	20,64%
	2	15725	34,70	2,207			
	3	15775	52,10	3,303			
TJ20-00	1	15688	46,90	2,990	2,71	0,329	12,12%
	2	15624	43,80	2,803			
	3	15788	37,10	2,350			
TJ20-20	1	15737	18,40	1,169	1,25	0,077	6,16%
	2	15570	19,80	1,272			
	3	15675	20,70	1,321			
TJ20-30	1	15848	17,50	1,104	1,37	0,236	17,21%
	2	15749	24,50	1,556			
	3	15625	22,60	1,446			
TJ20-40	1	15683	25,10	1,601	2,09	0,486	23,28%
	2	15665	40,30	2,573			
	3	15733	32,90	2,091			

Fonte: Autor (2021).

Para os valores do coeficiente de variação aos 28 dias, verifica-se que os traços TJ20-00 e TJ20-20 apresentaram baixa dispersão dos valores e os demais traços, apresentam média dispersão. Já com os valores de resistência após os 28 dias de idade dos tijolos, a resistência a compressão de 2 MPa foi superada pelos traços TJ00-00, TJ20-00 e TJ20-40. Contudo o valor obtido com o traço TJ20-40 foi de praticamente no limite de 2 MPa, podendo ser analisado de forma similar aos traços TJ20-20 e TJ20-30 que não superaram o valor de resistência de 2 MPa após os 28 de idade.

A presença de filito nos traços pode ser a maior influência dos resultados obtidos aos 28 dias. Isso porque, em virtude da característica pozolânica, o filito atua no prolongamento do tempo de cura, tendo como prioridade de atuação do material pozolânico, a diminuição do calor de hidratação e consequentemente, isso causa um retardo do ganho de resistência dos elementos.

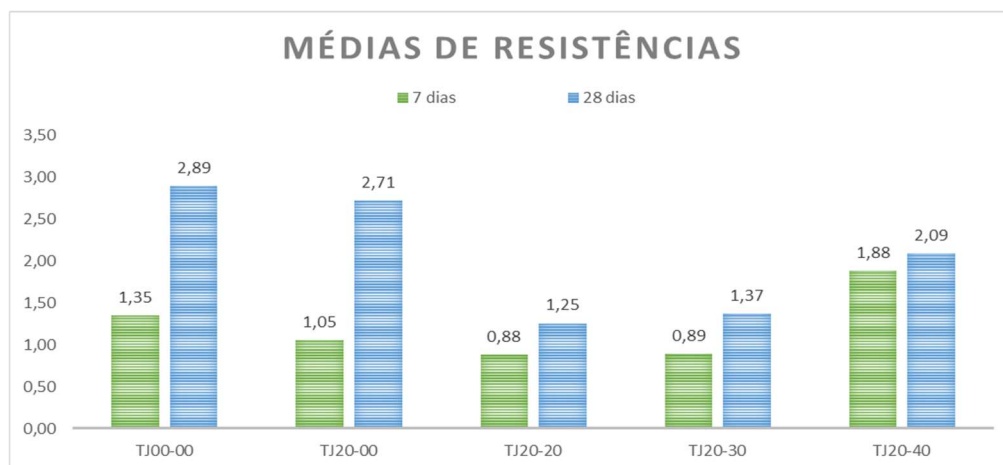
O ganho percentual de resistência das amostras entre os 7 e 28 dias, pode ser visualizado na Tabela 24 e a variação entre as médias de resistência dos traços está exibida na Figura 58. Estes valores o são fundamentais para a análise comparativa entre os traços e auxiliam na compreensão da influência da utilização de filito nos tijolos de solo-cimento.

Tabela 24: Ganho percentual de resistência aos 28 dias em relação ao valor de 7 dias.

<i>Tipo</i>	<i>Média aos 7 Dias (MPa)</i>	<i>Média aos 28 Dias (MPa)</i>	<i>Ganho de Resistência</i>
TJ00-00	1,35	2,89	114,9%
TJ20-00	1,05	2,71	157,3%
TJ20-20	0,88	1,25	42,5%
TJ20-30	0,89	1,37	54,4%
TJ20-40	1,88	2,09	11,0%

Fonte: Autor (2021)

Figura 58: Comparação da média de resistência dos tijolos aos 7 e 28 dias.



Fonte: Autor (2021).

Essa característica de baixos valores de resistência em curtas idades, pode ser identificada na análise entre os traços em que houve a substituição do solo por filito e os que não houve substituição. Verifica-se que nos traços TJ20-20, TJ20-30 e TJ20-40, com a presença do filito, o ganho percentual de resistência entre os valores de 7 e 28 dias foram inferiores ao ganho do tijolo de referência TJ20-00. Observa-se ainda que o traço com substituição de 40% de filito (TJ20-40), obteve o menor ganho percentual entre os traços, com 11% de aumento de resistência entre os 7 dias e 28 dias.

Na comparação entre os traços com filito, percebe-se que há um aumento do ganho de resistência do traço TJ20-30 em relação ao TJ20-20, onde o valor percentual passou de 42,5% para 54,4% de ganho de resistência entre as idades de 7 e 28 dias. Já com a substituição de 40% de filito, verifica-se que o traço TJ20-40 apresentou variação menor do ganho de resistência, quando comparado com o traço TJ20-30. Neste caso, observa-se que o aumento do teor de filito de 30% para 40%, influenciou no ganho mais baixo de resistência, vide o valor percentual entre os 7 dias e 28 dias.

Contudo a ressalva da comparação entre os traços com filito é que, a substituição de 40% de filito não influenciou na diminuição da resistência média dos traços, uma vez que o valor médio final do traço TJ20-40 foi superior aos valores dos traços TJ20-20 e TJ20-30. Diante destes resultados, verifica-se que a junção de solos argilosos com o filito em pequenas quantidades não apresenta bom desempenho. Essas conclusões também foram obtidas no grupo de pesquisa deste estudo e de outros pesquisadores, como a empresa JARFEL SAHARA ® (dados não publicados). Esse comportamento é visível, uma vez que, o traço de menor percentual de filito, o TJ20-20, foi o que apresentou menores resistências à compressão, enquanto os traços de maior percentual de filito, o TJ20-40, apresentou resultados mais satisfatórios quando comparados ao traço de referência TJ20-00.

Além da quantidade reduzida de blocos ensaiados para os traços produzidos (em virtude do limite de materiais disponíveis para a pesquisa), outros fatores também influenciaram nos valores obtidos nestes ensaios como, as condições de fabricação dos tijolos sob dependência direta da experiência do profissional, as condições de resistência do capeamento, o método de cura apropriado e execução do ensaio de compressão.

No processo de fabricação dos tijolos dessa pesquisa, foi possível verificar algumas destas condições de influência. Como exemplo, durante a preparação dos traços, a homogeneização dos solos utilizados foi feita de maneira manual, e este processo pode ter influenciado nos resultados obtidos. Um agravante disso pode ser verificado após o rompimento

dos elementos, onde verifica-se a presença de porções de solo sem a mistura adequada com o cimento e demais materiais (Figura 58).

Figura 59: Verificação do tijolo do traço TJ20-20 rompido com porções de solo não homogeneizados.



Fonte: Autor (2021).

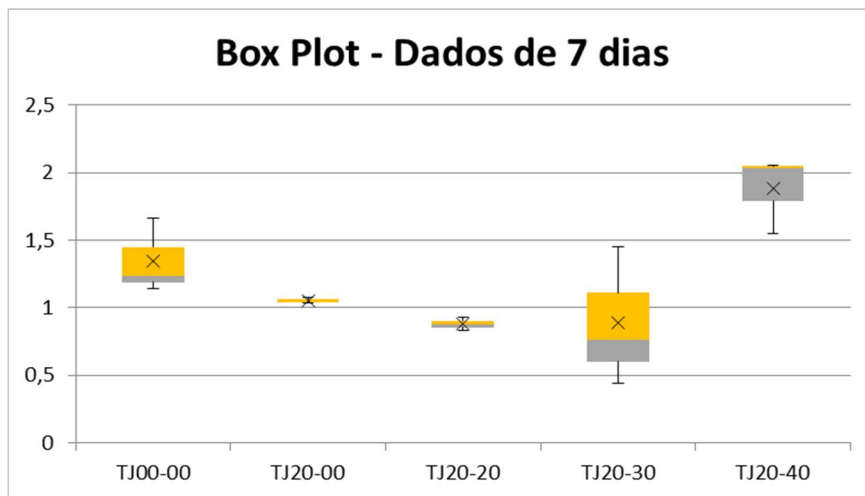
Um outro fator contribuinte para os baixos valores de resistência pode estar ligado ao percentual de finos presentes nas amostras de solo coletadas. Foi verificado em testes anteriores produzidos pela professora Daniela C. Mendonça e pela empresa JARFEL SAHARA (dados não publicados), que a inserção de filito em solos mais argilosos apresenta uma queda de resistência média entre os traços. Desse modo, fica mais claro a suposição de que a utilização de filito é mais adequada em solos mais arenosos, como o pó de brita, por exemplo.

Nessa pesquisa, a composição utilizada com o Solo A, como mencionado, foi classificado como Areia Argilo-siltosa e a adição de RCC, classificado como areia, atribuíram um aspecto arenoso mais favorável para a adição de filito, conforme previsto em experiências anteriores. Neste caso, seria necessário uma avaliação mais precisa na verificação dos índices de plasticidade e de liquidez, além do percentual de finos para cada um dos traços medidos. Isso porque a norma ABNT NBR 8461: 2012, que trata dos requisitos da produção do solo-cimento, relaciona os valores característicos ideais para parcela de solo e, nesta pesquisa, estes valores foram tratados de maneira individual, para o solo A, para o RCC e para o Filito e não para o conjunto, como por exemplo, do traço TJ20-40 com 40% de Solo A+20% de RCC+40% de filito.

4.4.1 Análise estatística do ensaio de resistência à compressão axial

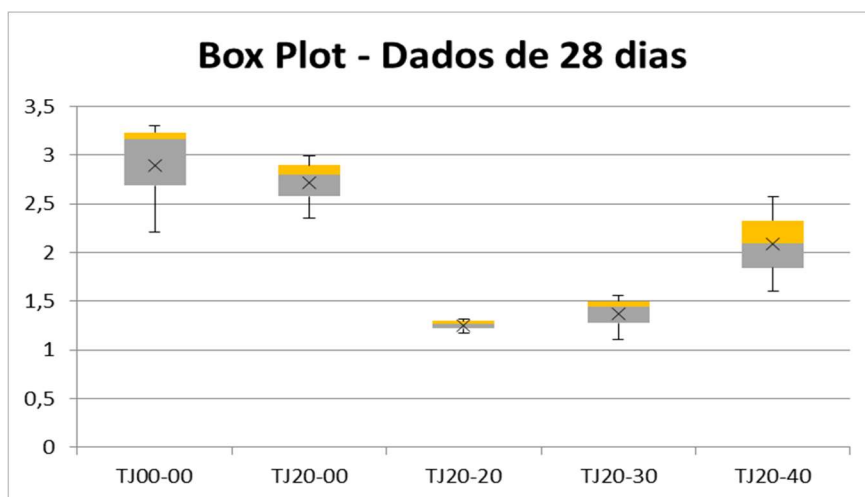
Para verificar a influência da variação de filito na resistência dos traços analisados, foi realizado o teste estatístico para as amostras entre os valores obtidos aos 7 dias e aos 28 dias. Seguindo o procedimento estatístico, em uma primeira análise, foram confirmadas as ausências de outliers para os traços analisados, tanto aos 7 dias como aos 28 dias. A verificação dessas ausências é vista no box plot exibido nas Figuras 60 e 61 a seguir.

Figura 60: Box Plot dos valores de compressão dos 7 dias.



Fonte: Autor (2021).

Figura 61: Box Plot dos valores de compressão aos 28 dias.



Fonte: Autor (2021).

Para a verificação da distribuição normal, foi realizado o teste de Shapiro-wilk onde foi verificado a normalidade dos dados aos 7 dias com os resultados da tabela 25, e aos 28 dias com os resultados da tabela 26.

Tabela 25: Teste de normalidade dos dados de compressão aos 7 dias.

<i>Shapiro-Wilk Test</i>	<i>TJ00-00</i>	<i>TJ20-00</i>	<i>TJ20-20</i>	<i>TJ20-30</i>	<i>TJ20-40</i>
W-Stat	0,882	0,761	0,997	0,957	0,781
P-Value	0,333	0,025	0,901	0,603	0,071
Alpha	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Normal	SIM	NÃO	SIM	SIM	SIM

Fonte: Autor (2021).

Tabela 26: Teste de normalidade dos dados de compressão aos 28 dias.

<i>Shapiro-Wilk Test</i>	<i>TJ00-00</i>	<i>TJ20-00</i>	<i>TJ20-20</i>	<i>TJ20-30</i>	<i>TJ20-40</i>
W-Stat	0,843	0,945	0,959	0,918	0,999
P-Value	0,222	0,548	0,615	0,447	0,989
Alpha	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Normal	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM

Fonte: Autor (2021).

Para os dados de 7 dias, mediante o valor de p-value, onde a hipótese nula ($p > 0,05$) refere-se à verificação de distribuição normal dos dados, pode ser definido que os dados do traço TJ20-00 não atendem a distribuição normal. Contudo, a normalidade dos dados é verificada para os demais traços. Para os valores de 28 dias, conforme o valor de p-value, onde a hipótese nula ($p > 0,05$) refere-se à verificação de distribuição normal dos dados, todos os dados foram classificados com distribuição normal.

Para a verificação de homogeneidade, foi realizado o teste de Levene. Neste teste, os dados são considerados homogêneos pela validação da hipótese nula ($p > 0,05$) indicando que há homogeneidade entre os dados. Os resultados do teste estão apresentados na tabela 27.

Tabela 27: Teste de Levene para verificação de homogeneidade das amostras aos 7 e 28 dias.

Teste de Levene – 7 dias		Teste de Levene – 28 dias	
Type	P-Value	Type	P-Value
Média	0,023	Média	0,135

Fonte: Autor (2021).

Neste caso, os valores obtidos aos 28 dias podem ser considerados com homogeneidade de variâncias. Os dados de 7 dias não foram considerados homogêneos pelo teste de Levene e, desse modo, para uma melhor verificação dos resultados, foi decidido pela adoção da correção dos dados pelo método de Welch, para as amostras rompidas aos 7 dias tanto na análise da ANOVA quanto do teste T.

Para a verificação de significatividade entre os grupos, foi realizado o teste de variância ANOVA de uma via, tendo como base de avaliação a medida de tendência central média dos grupos. Para este teste, são analisados os dados de todos os grupos em conjunto, verificando a significância entre eles.

O modelo de verificação da análise de variância ANOVA considera como hipótese nula a igualdade entre as médias dos dados. Neste caso, o valor do P-Value deve ser maior que 0,05 (5%) para que haja uma semelhança estatística entre os dados. Caso o valor de p seja menor que 0,05, a hipótese alternativa é aceita indicando que há pelo menos um grupo dentre os 5 analisados onde há diferença significativa com os demais grupos.

Como verificado no teste de homogeneidade de Levene, os valores obtidos aos 7 dias não atenderam a hipótese nula ($p < 0,05$) e, portanto, foi realizado a ANOVA com a correção de Welch com um post-hoc pelo teste de Games-Howell. Assim a análise ANOVA com a correção de Welch realizada obteve os resultados conforme a Tabela 28. Ainda, os valores da avaliação de post-hoc estão descritos na tabela 29.

Tabela 28: Teste de ANOVA com correção de Welch para os dados de 07 dias.

<i>F-Stat</i>	<i>Df1</i>	<i>Df2</i>	<i>P-Value</i>	<i>Significância</i>
10,631	4	4,288	0,018	SIM

Fonte: Autor (2021).

Tabela 29: Post-hoc pelo teste de Games-Howel para os dados de 07 dias.

<i>Traço 1</i>	<i>Traço 2</i>	<i>Mean</i>	<i>Q-Stat</i>	<i>Df</i>	<i>P-Value</i>	<i>Mean-Crit</i>
TJ00-00	TJ20-00	0,292	2,538	2,021	0,538	1,239
TJ00-00	TJ20-20	0,467	4,008	2,122	0,284	1,200
TJ00-00	TJ20-30	0,460	1,912	3,082	0,688	1,774
TJ00-00	TJ20-40	0,534	3,243	3,997	0,307	1,036
TJ20-00	TJ20-20	0,175	8,056	2,681	0,049	0,180
TJ20-00	TJ20-30	0,168	0,795	2,006	0,970	2,297
TJ20-00	TJ20-40	0,826	6,978	2,020	0,114	1,276
TJ20-20	TJ20-30	0,006	0,031	2,036	1,000	2,275
TJ20-20	TJ20-40	1,001	8,357	2,115	0,075	1,237
TJ20-30	TJ20-40	0,994	4,103	3,135	0,210	1,767

Fonte: Autor (2021).

Analisando os resultados da ANOVA com a correção de Welch, é verificado que o valor de $p < 0,05$, invalidando a hipótese nula e indicando que há pelo menos um grupo dentre os 5 analisados onde há diferença significativa com os demais grupos. Desse modo, podemos dizer que há uma certa influência da adição de filito entre os traços analisados ($f(3,6) = 14,314$; $p = 0,0169$).

Pelo teste de post-hoc de Games-Howel é possível verificar a existência desta diferença significativa. Na relação comparativa entre os traços TJ00-00 e o traço TJ20-00, observa-se um valor de p superior a 0,05, adotando a hipótese nula. Esse resultado indica que a substituição de 20% de RCC no traço de referência do tijolo de solo-cimento não apresenta influência significativa na resistência do tijolo de solo-cimento. Na comparação entre TJ20-00 e TJ20-20, o valor de p é de 0,041, menor que 0,05, indicando a adoção da hipótese alternativa, verificando assim uma diferença das médias entre as amostras. Isso mostra que a adição de 20% de filito na mistura de Solo A e RCC influenciou significativamente nos resultados de compressão obtidos ($f(3) = 8,056$; $p = 0,041$).

Como os valores das demais comparações da Tabela 29, verifica-se a manutenção da hipótese nula indicando semelhança estatística entre os dados analisados, e nestes casos, a adição de filito não influenciou significativamente no ganho de resistência à compressão.

Para os dados de 28 dias, com homogeneidade confirmada pelo teste de Levene, foi realizada a análise de variância ANOVA e foram obtidos os seguintes dados conforme a tabela 30 a seguir e com o post-hoc de Tukey HSD/Kramer na tabela 31.

Tabela 30: Teste de ANOVA para os dados de 28 dias.

<i>Sources</i>	<i>Df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P Value</i>
Entre grupos	4	1,68	11,05747	0,001
Dentro dos grupos	8	0,101		
Total	11	0,453		

Fonte: Autor (2021).

Tabela 31: Post-hoc de Tukey HSD/Kramer para os dados de 28 dias.

<i>Traço 1</i>	<i>Traço 2</i>	<i>Mean</i>	<i>Q-Stat</i>	<i>P-Value</i>	<i>Mean-Crit</i>
TJ00-00	TJ20-00	0,177	0,785	0,979	1,049
TJ00-00	TJ20-20	1,637	7,264	0,003	1,049
TJ00-00	TJ20-30	1,522	6,754	0,005	1,049
TJ00-00	TJ20-40	0,803	3,563	0,162	1,049
TJ20-00	TJ20-20	1,460	6,479	0,007	1,049
TJ20-00	TJ20-30	1,346	5,969	0,012	1,049
TJ20-00	TJ20-40	0,626	2,778	0,347	1,049
TJ20-20	TJ20-30	0,115	0,510	0,996	1,049
TJ20-20	TJ20-40	0,834	3,701	0,140	1,049
TJ20-30	TJ20-40	0,719	3,191	0,235	1,049

Fonte: Autor (2021).

Analisando os resultados da ANOVA para os dados de 28 dias, é verificado que o valor de p é menor que 0,05, invalidando a hipótese nula e indicando que há pelo menos um grupo dentre os 5 analisados onde há uma diferença significativa com os demais grupos. Desse modo,

podemos dizer que há influência da adição de filito ou RCC nos traços desta pesquisa ($f(3,11) = 11,057$; $p = 0,001$).

Pelo teste post-hoc de Tukey HSD/Kramer, é possível verificar que na comparação de TJ20-00 e TJ20-20 e entre TJ20-00 e TJ20-30, o valor de p é menor que 0,05 indicando a adoção da hipótese alternativa. Isso estabelece que há uma diferença significativa entre as amostras, indicando que a substituição de 20% e de 30%, respectivamente, de filito na mistura de Solo A e RCC influenciou significativamente nos resultados de compressão obtidos. Para os valores das demais comparações, verifica-se a manutenção da hipótese nula indicando semelhança estatística entre os dados analisados.

Utilizando uma análise paramétrica para uma avaliação de grupos independentes, foi escolhido o Teste-t independente, com o auxílio do software Excel de modo a verificar a significância entre os traços. Com base neste modelo, foi analisada, em um primeiro momento, a relação entre o traço TJ00-00 e o traço TJ20-00. Posteriormente foi avaliada a significância do traço TJ20-00 e os demais traços onde houve a introdução do filito (TJ20-20, TJ20-30 e TJ20-40) para os dois momentos do ensaio de compressão (aos 7 dias e aos 28 dias).

Assim, para os dados aos 7 dias, foi realizado o teste de teste T-independente com correção de Welch, e os resultados estão descritos na tabela 27.

Tabela 32: Teste T independente para os dados de 7 dias.

<i>Traço 1</i>	<i>Traço 2</i>	<i>T-Stat</i>	<i>Df</i>	<i>P-Value</i>	<i>T-Crit</i>
TJ20-00 - TJ00-00		1,795	2,021	0,213	4,259
TJ20-00 - TJ20-20		5,697	2,681	0,014	3,408
TJ20-00 - TJ20-30		0,562	2,006	0,631	4,290
TJ20-00 - TJ20-40		4,934	2,020	0,038	4,262

Fonte: Autor (2021).

Com base nos valores de p obtidos, entre a amostra TJ00-00 e TJ20-00, foi verificado que o $p > 0,05$, aceita a hipótese nula e indicando que não houve diferença significativa dos dados. Isso se traduz na manutenção das características do tijolo de solo-cimento quando há a substituição de parcela do solo por 20% de RCC ($t_{(2)} = 1,79$; $p = 0,213$). Desse modo, podemos considerar que os traços TJ20-00 é estatisticamente semelhante ao traço TJ00-00.

Na análise entre os traços TJ20-00 e TJ20-20, foi verificado que o $p < 0,05$, rejeita a hipótese nula e indicando que houve diferença significativa dos dados. Isso indica que a utilização de 20% de filito no traço analisado infere nas características do tijolo de solo-cimento

com RCC quando há a substituição de parcela do solo por Filito ($t_{(3)} = 5,69$; $p = 0,014$). Desse modo, podemos considerar que o traço TJ20-00 é estatisticamente diferente do traço TJ20-20.

Para a comparação entre as amostras TJ20-00 e TJ20-30, foi verificado que o $p > 0,05$, aceitando a hipótese nula e indicando que não houve diferença significativa dos dados. Isso se traduz na manutenção das características do tijolo de solo-cimento com RCC quando há a substituição de parcela do solo por 30% Filito ($t_{(2)} = 0,562$; $p = 0,631$). Desse modo, podemos considerar que os traços TJ20-00 é estatisticamente semelhante ao traço TJ20-30.

Na análise entre os traços TJ20-00 e TJ20-40, foi verificado que o $p < 0,05$, rejeitando a hipótese nula e indicando que houve diferença significativa dos dados. Isso indica que a utilização de 40% de filito no traço analisado interferiu nas características do tijolo de solo-cimento com RCC ($t_{(2)} = 4,93$; $p = 0,038$). Desse modo, podemos considerar que o traço TJ20-00 é estatisticamente diferente ao traço TJ20-40.

Para os dados de 28 dias, foi realizado o teste T-independente, e os resultados estão descritos na tabela 32.

Tabela 33: Teste T independente para os dados de 28 dias.

<i>Traço 1</i>	<i>Traço 2</i>	<i>T-Stat</i>	<i>Df</i>	<i>P-Value</i>	<i>T-Crit</i>
TJ20-00 - TJ00-00		0,450	4,000	0,676	2,776
TJ20-00 - TJ20-20		7,484	4,000	0,002	2,776
TJ20-00 - TJ20-30		5,760	4,000	0,005	2,776
TJ20-00 - TJ20-40		1,848	4,000	0,138	2,776

Fonte: Autor (2021).

Para a verificação dos resultados aos 28 dias, com base nos valores de p obtidos, entre a amostra TJ20-00 e TJ00-00, novamente foi verificado que o $p > 0,05$, aceitando a hipótese nula e indicando que não houve diferença significativa dos dados. Isso se traduz na manutenção das características do tijolo de solo-cimento quando há a substituição de parcela do solo por RCC ($t_{(4)} = 0,450$; $p = 0,676$). Desse modo, podemos considerar que os traços TJ20-00 é estatisticamente semelhante ao traço TJ00-00.

De igual maneira, na análise entre os traços TJ20-00 e TJ20-20, foi verificado que o $p < 0,05$, rejeitando a hipótese nula e indicando que houve diferença significativa dos dados. Isso indica que a utilização de 20% de filito no traço analisado infere na alteração das características do tijolo de solo-cimento com RCC quando há a substituição de parcela do solo por Filito ($t_{(4)}$

= 7,484; $p = 0,002$). Desse modo, podemos considerar que o traço TJ20-00 é estatisticamente diferente ao traço TJ20-20.

Diferente do resultado aos 7 dias, a análise entre os traços TJ20-00 e TJ20-30 aos 28 dias, foi verificado que o $p < 0,05$, rejeitando a hipótese nula e indicando que houve diferença significativa dos dados. Isso indica que a utilização de 30% de filito no traço analisado infere na alteração das características do tijolo de solo-cimento com RCC quando há a substituição de parcela do solo por Filito ($t_{(4)} = 5,76$; $p = 0,005$). Desse modo, podemos considerar que o traço TJ20-00 é estatisticamente diferente ao traço TJ20-30.

Entre a amostra TJ20-00 e TJ00-40, também houve mudança na conclusão dos resultados entre os 7 dias e 28 dias. Foi verificado que o $p > 0,05$, acatando a hipótese nula e indicando que não houve diferença significativa dos dados. Ou seja, houve manutenção das características do tijolo de solo-cimento quando há a substituição de parcela do solo por 40% de filito ($t_{(4)} = 1,848$; $p = 0,138$). Desse modo, podemos considerar que os traços TJ20-00 é estatisticamente semelhante ao traço TJ00-40.

Após estas análises estatísticas, verifica-se que a aplicação do teste de variância ANOVA e do Teste-T independente apresentaram conclusões semelhantes. Em ambos os casos, foi encontrada semelhança estatística entre o traço sem substituições, TJ00-00 e o traço com substituição de 20% de RCC, o TJ20-00. Observou-se que essa substituição não apresentou influência no traço, indicando que a utilização do resíduo cumpre o objetivo de destinação do material reciclado sem comprometimento da qualidade do tijolo de solo-cimento comum.

Sendo assim, a substituição de 20% de solo por RCC em tijolos de solo-cimento não afeta significativamente no desempenho de resistência à compressão ou no índice de absorção de água dos elementos. Para os traços com substituição de parcela do solo por filito e por 20% de RCC, quando comparados com o traço de referência, o TJ20-00, foi verificado diferenças significativas entre eles. Desse modo, constatou-se que houve influência do filito utilizado nos tijolos de solo cimento tanto na resistência à compressão axial dos tijolos nos testes de 7 dias e de 28 dias como nos índices de absorção de água.

Assim, a partir destes resultados apresentados, devido ao não atendimento dos critérios de resistência aos 7 dias (2 MPa), nenhum dos tijolos apresentados nesta pesquisa cumpre o desempenho mínimo adequado de resistência e, portanto, não poderão ser utilizados em alvenaria de vedação. Neste cenário, o traço com adição de filito que obteve melhor desempenho de absorção de água foi o TJ20-30 e o traço com melhor desempenho de resistência foi o TJ20-40.

5. CONCLUSÃO

A construção desta pesquisa fundamentou-se no cumprimento dos objetivos estabelecidos inicialmente. A priori, buscou-se caracterizar os solos utilizados, verificando suas conformidades diante dos pressupostos estabelecidos pela norma de referência. Para tais, os resultados foram satisfatórios, obedecendo os critérios de granulometria máxima, percentual de finos e limites de liquidez e plasticidades estabelecidos na ABNT NBR 8461: 2012.

O filito também teve suas características definidas, conforme proposto. A verificação dos percentuais de silício, alumínio e oxigênio apresentaram níveis como o esperado, confirmando os minerais base deste elemento. Ainda, pela presença dos óxidos SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 de forma majoritária na amostra, foi possível verificar o potencial pozolânico do material.

Nesta pesquisa a aplicação de filito nos solos utilizados não favoreceu o aumento de desempenho dos blocos testados aos 7 dias e 28 dias de idade. Com base nos ensaios de absorção, a adição de filito ao traço TJ20-00 apresentou um aumento do índice de absorção, uma vez que, em comparação com este traço, os traços TJ20-20, TJ20-30 e TJ20-40 apresentaram um ganho de porosidade resultando em um maior nível de absorção de água.

Uma das explicações para o crescimento deste índice de absorção de água está ligado ao acréscimo do percentual de finos nas amostras com filito. Isso influencia diretamente no aumento da área de superfície específica, que acarreta no aumento da demanda de água e, conseqüentemente, em uma massa mais seca com menor capacidade de compactação. Isso pode ter sido o causador do aumento de porosidade e posterior aumento da capacidade de absorção de água dos elementos. Com base nos índices limites propostos pela ABNT NBR 8462: 2012, apenas o traço TJ20-40 ultrapassou o limite indicado para a absorção de água em tijolos de solo-cimento.

Em avaliações anteriores feitos por pesquisadores ligados ao mesmo grupo de pesquisa e cujos resultados ainda não foram divulgados, a utilização de filito juntamente com solos de percentual significativo de argila, ou seja, apresentando “liga” quando umedecido, foi verificada uma perda de resistência à compressão axial dos elementos. Na ótica desta pesquisa, apesar de classificado primariamente como solo arenoso, o Solo A possui características argilosas contendo limites de liquidez e plasticidade coerente para a produção de tijolo de solo-cimento.

Contudo, para tijolos de solo-cimento sob influência de filito, o solo base para produzir os tijolos de solo-cimento deve possuir outros valores de granulometria, limite de plasticidade

e liquidez, uma vez que, o filito irá influenciar diretamente no comportamento do solo, e este cenário ainda não está previsto na atual norma de produção dos tijolos de solo-cimento.

Os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão evidenciam, dentre outros fatores, esta falha de aplicação entre os solos mais argilosos e o filito. A verificação de resistência à compressão média dos elementos e os valores a serem obedecidos por norma revelam que nenhuma das amostras com filito testadas atingiu os valores correspondentes para a aceitação. Observou-se ainda que, quando comparados os valores de resistência à compressão obtidos entre as amostras com filito (TJ20-20, TJ20-30 e TJ20-40), houve um aumento de resistência proporcional ao aumento do percentual de filito, motivado pelo potencial pozolânico do elemento mineral alinhado a diminuição do percentual de Solo A. Esse cenário pode ser visualizado tanto nos ensaios de 7 dias quanto nos ensaios de 28 dias.

Pelas análises estatísticas apresentadas, considerando a relação de substituição de parcela do solo por resíduo de construção civil na comparação entre os traços TJ00-00 e TJ20-00 aos 7 e 28 dias, foi verificada uma semelhança estatística entre as amostras indicando que tal substituição não interfere significativamente nos valores obtidos. Já nas análises feitas com a avaliação da substituição de parcela do Solo A por Filito, entre o traço TJ20-00 e os traços TJ20-20, TJ20-30 e TJ20-40, foi verificado que houve uma influência desta substituição, indicada pela aceitação da hipótese alternativa nestes casos, inferindo que houve uma diferença significativa entre os dados, ou seja, o filito influenciou na resistência à compressão dos tijolos de solo-cimento com adição de 20% de RCC.

Assim, com base nos resultados obtidos, não é possível indicar que os tijolos propostos nesta pesquisa, com parcela de Solo A substituída por RCC e filito, sejam utilizados para alvenaria de vedação, uma vez que, não foram atendidos os requisitos de resistência à compressão mínima de 2 MPa aos 7 dias exigidos por norma e, quanto ao teor de absorção de água, apenas o traço TJ20-40 não atendeu ao limite de 18% de absorção.

Portanto, como sugestão de pesquisas futuras, com a utilização de filito em tijolos de solo-cimento com RCC, recomenda-se utilizar um “solo base” com classificações granulométricas mais arenosa, como por exemplo, o pó de brita ou o próprio resíduo de construção civil, para uma melhor exploração das características do filito. Uma outra opção é aumentar os percentuais de RCC nas amostras uma vez que o mesmo é classificado como areia, não possuindo características plásticas e contribuindo com as condições de atuação do filito.

REFERÊNCIAS

ABREU, S. F.; **Recursos Minerais do Brasil**. Editora Edgard Blücher LTDA. São Paulo. 1973.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Dosagem das misturas de solo-cimento-Normas de Dosagem e Métodos de ensaios**. 3.ed. São Paulo: ABCP, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. 7.ed. São Paulo: ABCP, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais**. 3.ed.rev.atual. São Paulo, ABCP, 2000. 16p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Dosagem das misturas de solo-cimento; Normas de dosagem e métodos de ensaios**. 3.ed. atual. revisada pelo Eng. Márcio Rocha Pitta. São Paulo, 1986. 57p. ilustr. 30cm.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Amostras de solo—Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 6458**: Solo – Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 6459**: Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 7180**: Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 7181**: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 8491**: Tijolo de solo-cimento - Requisitos. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 8492**: Tijolo de solo-cimento – Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 10833**: Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica — Procedimento. Rio de Janeiro, 2012 incorpora a Errata 1 de 04.04.2013.

_____. **NBR 10834**: Bloco de solo-cimento sem função estrutural — Requisitos. Rio de Janeiro, 2012 incorpora a Errata 1 de 04.04.2013.

_____. **NBR 16697**: Cimento Portland — Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

AZEVEDO, G. O. D.; KIPERSTOK, A.; MORAES, L. R. S. **Resíduos da construção civil em salvador: os caminhos para uma gestão sustentável**. Artigo técnico, Vol.11 - Nº 1 - jan./mar 2006, 65-72. 2006.

BIONDI, J. C.; MARCZYNSKI, E. S. **Caracterização física e química dos filitos Açungui (PR) visando sua utilização pela indústria cerâmica.** Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, UFPR. 2004.

BOUTH, Jorge Alberto Cardoso. **Estudo da Potencialidade da produção de tijolos de adobe misturado com outros materiais: uma alternativa de baixo custo para a construção civil.** 2005. 82 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Materiais; Projetos Mecânicos; Termociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2005.

BRASIL. CONAMA (2002). **Resolução nº 307, de 5 de junho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.** p. 95-96. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acesso em: 10 abr. 2020.

CRISTINA DE SOUZA, MAISA. **Caracterização químico-mineralógica do quartzito friável proveniente da microrregião do planalto de Araxá.** 2018. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Minas) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG. Araxá, MG. 2018.

COIMBRA, M. A., LIBARDI, W. AND MORELLI, M. R. **Estudo da influência de cimentos na fluência em concretos para a construção civil.** Cerâmica, Mar 2006, vol.52, no.321, p.98-104. ISSN 0366-6913.

DAS, B. M. **Fundamentos de engenharia geotécnica,** 6 ed. Rio de Janeiro: Cengage. 2010.

DALLACORT, R.; JÚNIOR, H. C. L.; WILLRICH, F. L.; 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, Campina Grande, PB, DEAG/UFCG, 2002.

FELICIANO DE OLIVEIRA, P.; EDUARDO DA SILVA, C. **Estudo comparativo entre sistemas construtivos: bloco convencional x bloco solo-cimento.** 2018. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2018.

FRANCO DE OLIVEIRA, D. **Evolução e Financiamento do Setor da Construção Civil Residencial nos anos de 2001 a 2011.** 2012. 50 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto de Economia. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.

FUNDAÇÃO DE TECNOLOGIA DO ESTADO DO ACRE. **Cartilha para produção dos tijolos de solo-cimento.** 1.ed.rev.atual. Rio Branco, FUNTAC, 1999. 25p.

GALHARDO GUTIERREZ, PEDRO. **Estudo do setor cimenteiro: produção e aplicação. Estudo do Setor cimenteiro: produção e aplicação.** Rio de Janeiro: UFRJ / Escola Politécnica, 2014. ix, 96 p.: 29,7 cm. Orientador: Jorge dos Santos. Projeto de Graduação – UFRJ / Escola Politécnica / Curso de Engenharia Civil, 2014.

GANESAN; K; RAJAGOPAL; K; THANGAVEL, K. **Evaluation of bagasse ash as supplementary cementitious material.** Cement and Concrete Composites, v.29, p.515 – 524, 2007.

GONÇALVES, H. H. S.; MARINHO, F.A.M.; FUTAI, M. M. **Mecânica dos solos e fundações – Notas de Aula**. Disponível em: < http://www.fau.usp.br/cursos/graduacao/arq_urbanismo/disciplinas/pef0522/Pef0522-notas_de_Aula.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2020.

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

GRIM, R. E., CUTHBERT, F. L. **Some clay-water properties of certain clay minerals**. Journal of the American Ceramic Society, v. 28, n.3, p. 90-95, 1945.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA e ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Pedologia**. Rio de Janeiro, 2007.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA e ESTATÍSTICA. **Pesquisa Anual da Indústria da Construção – PAIC 2017**. Rio de Janeiro, 2017.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Construção Civil – Relatório de pesquisa**. Brasília, 2012.

KARPINSKI, LUISETE ANDREIS *et al.* **Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: Uma abordagem ambiental**. Porto Alegre: Edipucrs, 2009. 163 p. Disponível em: <<http://www.pucrs.br/orgaos/edipucrs/>>. Acesso em: 05 abr. 2020.

LIMA, DANIEL A. S. M. F. **Avaliação do tijolo modular de solo-cimento fabricado em prensa manual como material para construção de baixo custo com mão de obra comunitária**/ Daniel Aloysio Shiguematsu Menezes Freitas – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2018. 125p.: il. Orientador: Leandro Torres Di Gregório Coorientador: Gustavo Vaz de Mello Guimarães. Projeto de Graduação – UFRJ/ Escola Politécnica/ Curso de Engenharia Civil, 2018.

LIMA, T. V. **Estudo da produção de blocos de solo-cimento com matérias primas do núcleo urbano da Cidade de Campos dos Goytacazes–RJ** / Thiago Vicente Lima. – Campos dos Goytacazes, 2006. xiii, 107f.: il. Orientador: Jonas Alexandre. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Engenharia Civil. Campos dos Goytacazes, 2006.

MELO, LIS G. D. A. **Filito: um material estratégico para fabricação de novos cimentos**. Seção de Engenharia Elétrica (SE/4) – Instituto Militar de Engenharia (IME), Praça General Tibúrcio, Rio de Janeiro, RJ. 2012.

MENDONÇA, ANA M. G. D. et al. **Reuso de resíduo de caulim na produção de tijolos solo-cimento**. VIII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Campo Grande/MS. 2017.

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M., **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais Propriedades e Materiais**. IBRACON 2008 IBRACON, 2008.

MIRANDA, C. M. **Estudo de tijolos de solo-cimento com substituição do solo por resíduos da construção civil na sua composição.** 2019. 87 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2019.

MODRO, N.L.R. ET AL. **Avaliação de concreto de cimento Portland contendo resíduos de PET.** *Matéria* (Rio J.), Abr 2009, vol.14, no.1, p.725-736. ISSN 1517- 7076.

NEVILLE, A.M.; BROOKS, J.J. (2013). **Tecnologia do concreto.** Tradução: Ruy Alberto Cremonini. 2.ed. Porto Alegre: Bookman.

PINHEIRO, RENÊ. **Estudo da resistência do tijolo de adobe com adição de fibras naturais de coco verde para habitações de baixo custo.** 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

PANZERA, T. H. ET AL. **Propriedades mecânicas de materiais compósitos à base de cimento Portland e resina epóxi.** *Cerâmica*, Mar 2010, vol.56, no.337, p.77-82. ISSN 0366-6913

RADAMBRASIL. **Mapa exploratório de solos: Tocantins, folha SC-22.** Programa de Integração Nacional. Ministério de Minas e Energia. Secretaria Geral. Volume 22. Rio de Janeiro. 1981.

REVISTA HABITARE. **Programa Habitare apoia aprimoramento de tecnologias de estabilização de solos.** Disponível em: <http://www.habitare.org.br/ConteudoGet.aspx?CD_CONTEUDO=261>. Acesso em: 30 Mar. 2020.

RODRIGUES, ROGUER A.; JUNIOR, VITOR E. M.; LOLLO, JOSÉ A. **Influência dos constituintes do esgoto no colapso de um solo arenoso.** 2010. *Eng Sanit Ambient.* v.15 n.1. jan/mar. Pag. 29-36. 2010.

SAAR DE ALMEIDA, BRUNA. **Geoquímica dos filitos carbonosos do depósito morro de ouro, Paracatu, Minas Gerais.** 2009. 92 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, Brasília, 2009.

SANTIAGO, CYBÈLE CELESTINO. **O Solo como Material de Construção.** 2. ed. Salvador-BA: Coleção Pré-textos, 2001. 76 p.

SEBRAE. **Panorama do setor de Construção Civil.** 2019. Disponível em: <https://atendimento.sebrae-sc.com.br/inteligencia/infografico/panorama-do-setor-de-construcao-civil>. Acesso em: 05 jan. 2021.

SILVA, P. E.; MOREIRA, R. R. **Projeto de alvenaria de vedação – diretrizes para a elaboração, histórico, dificuldades e vantagens da implementação e relação com a NBR 15575: 2013.** 2017. 87 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2017.

SOUZA, MÁRCIA I. B. ET AL. **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 Campina Grande, PB, UAEEAg/UFCG. 2008.

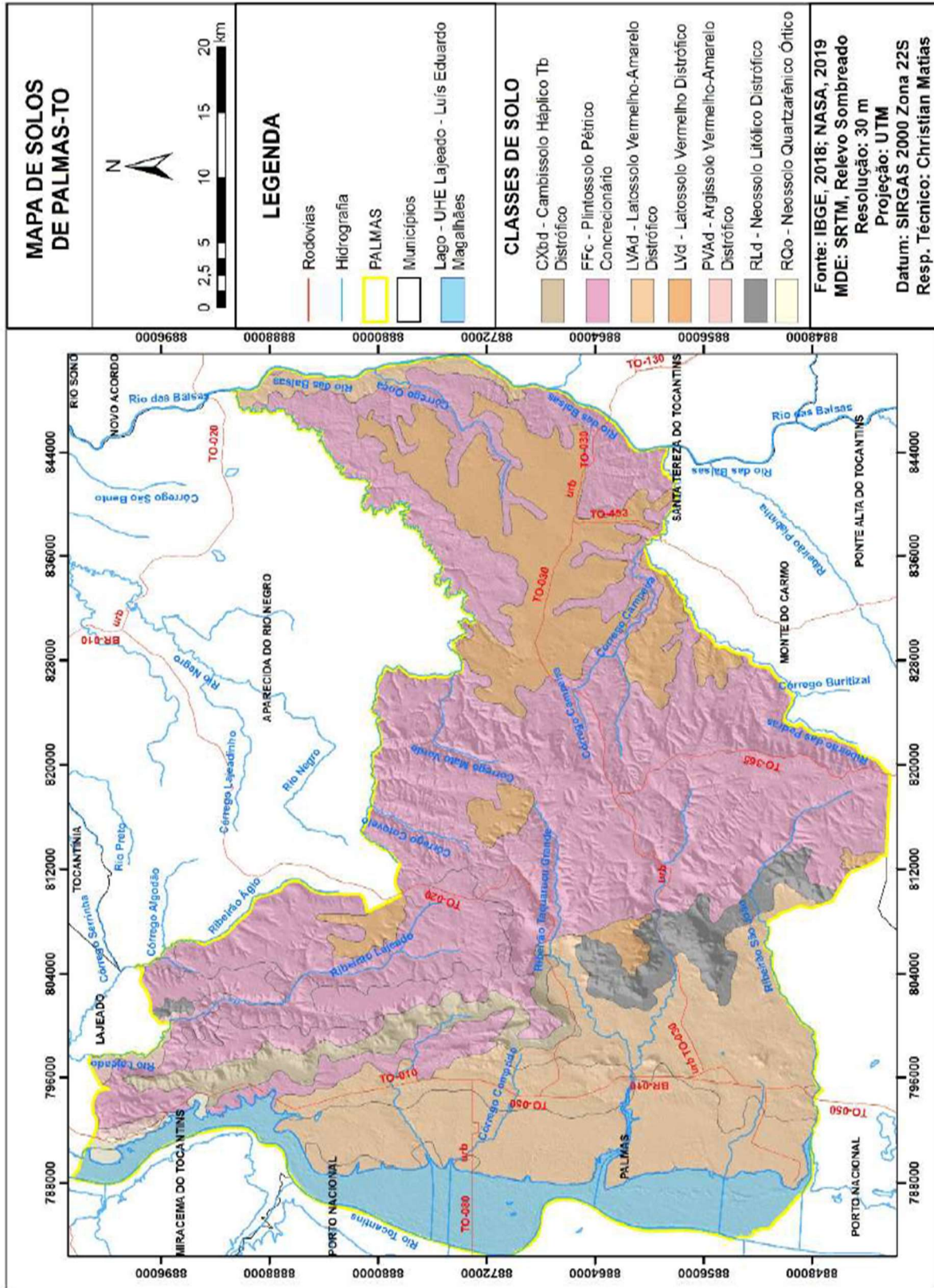
TRALDI, R. MIRANDA. **A destinação dos resíduos da construção civil no município de Palmas Tocantins** / Rafaella Miranda Traldi – Palmas, 2019. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação do Tocantins, Campus Palmas, 2019.

VALERA, T.S.; RIBEIRO, A.P.; VALENZUELA-DÍAZ, F.R.; ET.AL.; **The effect of phyllite as a filler for PVC plastisols**. In: Annual Technical Conference, Society of Plastics Engineers, 2002.

VIZCARRA, GINO OMAR CALDERÓN; CASAGRANDE, MICHÉLE DAL TOÉ; MOTTA, LAURA MARIA GORETTI. **Aplicabilidade de Cinzas de Resíduo Sólido Urbano para Base de Pavimentos**. Rio de Janeiro, 2010. 120 p. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

WEBER, E; CAMPOS, R. F. F.; BORGA, T. **Análise da eficiência do tijolo ecológico solo-cimento na construção civil**. Ignis: Periódico Científico de Arquitetura e Urbanismo, Engenharias e Tecnologia da Informação, v. 06, n. 2, p. 18-34, mai./ago. 2017. Disponível em: <https://periodicos.uniarp.edu.br/index.php/ignis/article/view/1178>. Acesso em: 05 jan. 2021.

ANEXO A – Solos presentes no município de Palmas-TO.



Fonte: Miranda (2019)

ANEXO B – Resultados da Microscopia Eletrônica De Varredura no mineral Filito.

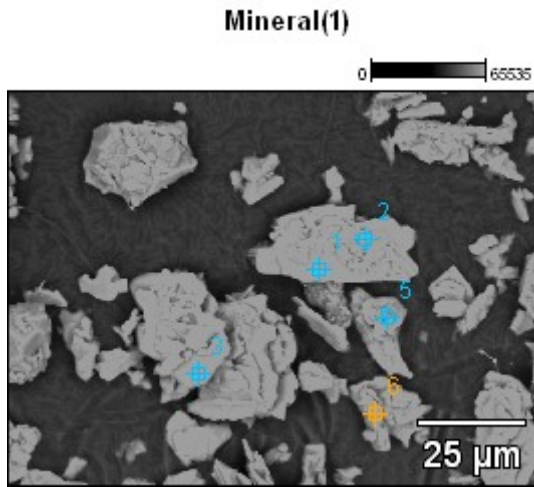


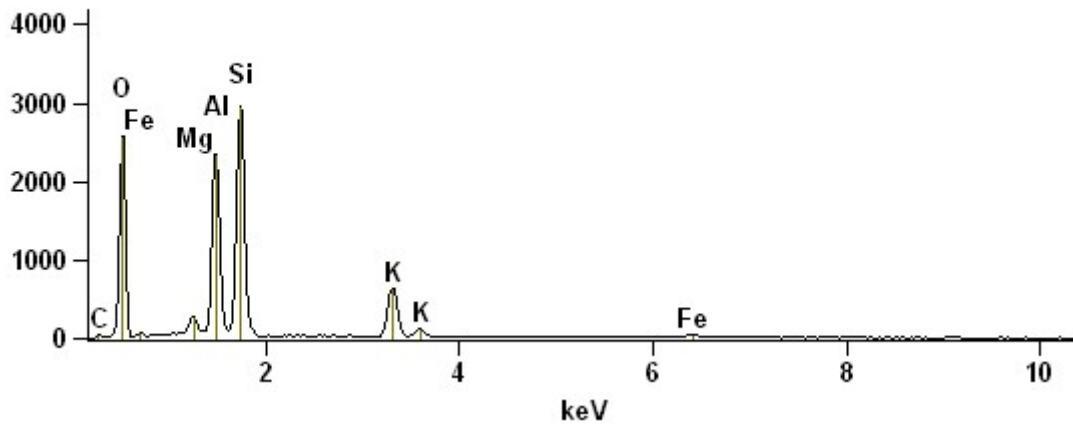
Image Name: Mineral (1)

Accelerating Voltage: 15.0 kV

Magnification: 1000

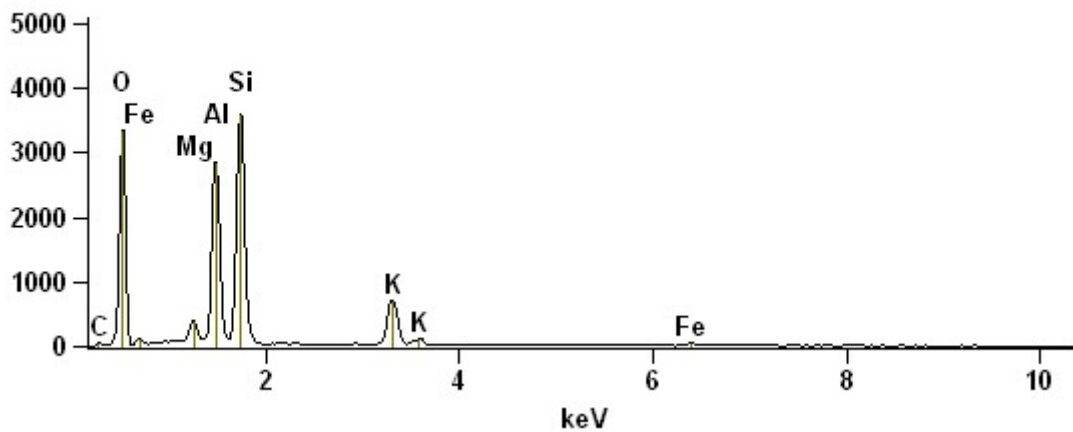
Full scale counts: 2950

Mineral(1)_pt1



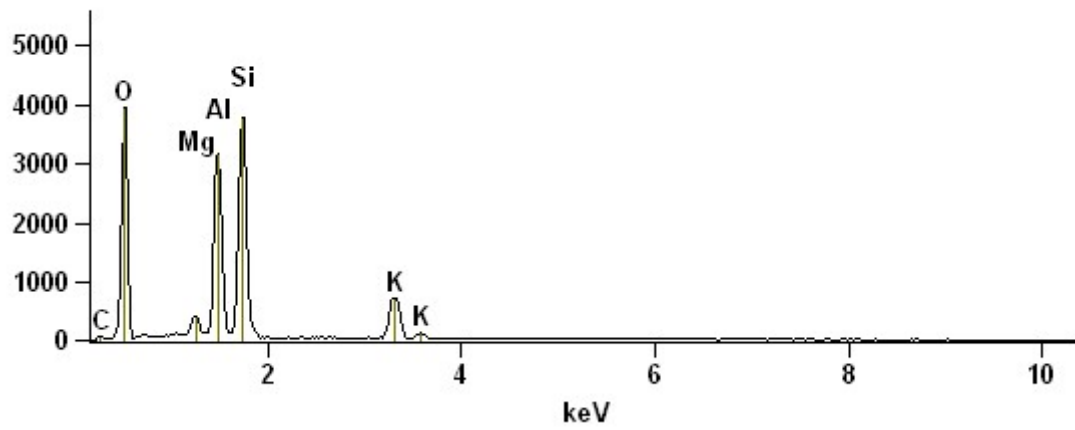
Full scale counts: 3588

Mineral(1)_pt2



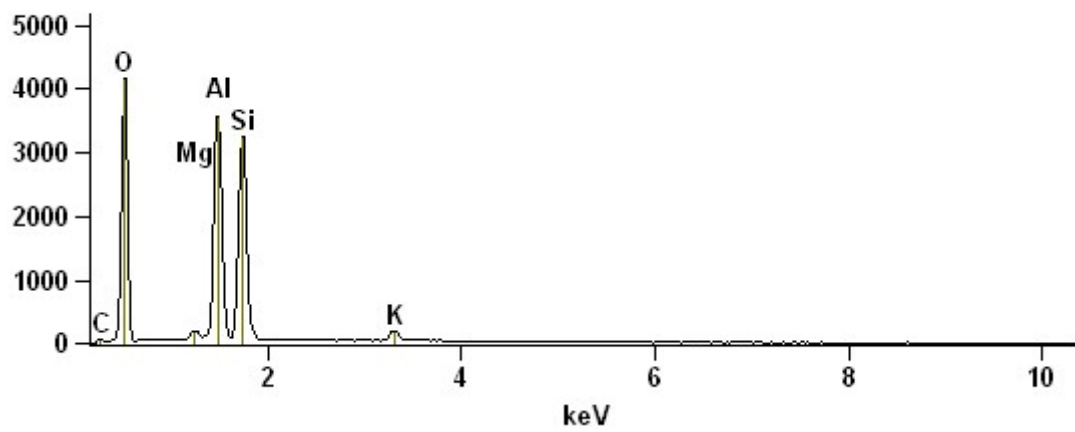
Full scale counts: 3933

Mineral(1)_pt3



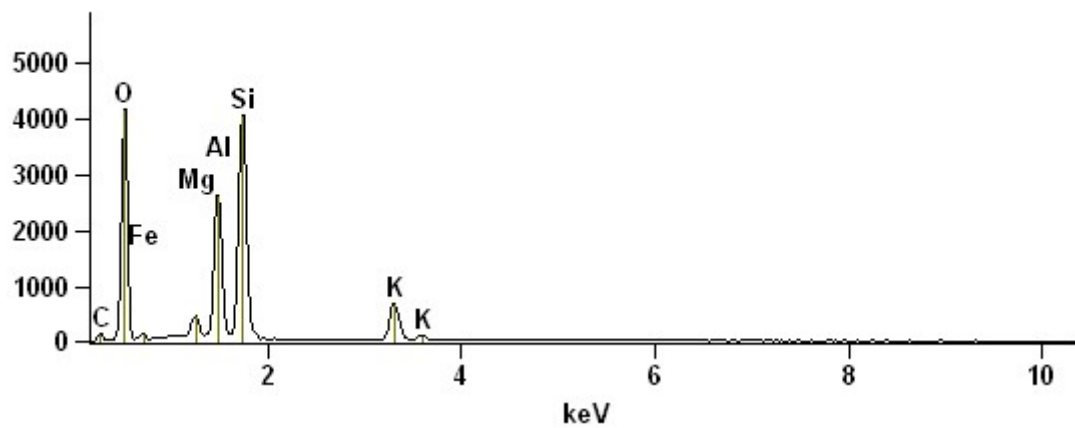
Full scale counts: 4156

Mineral(1)_pt5



Full scale counts: 4169

Mineral(1)_pt6



Fonte: LabMic – UFG

Mineral(2)

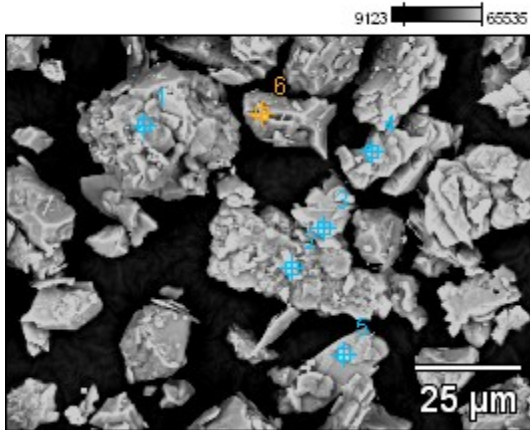


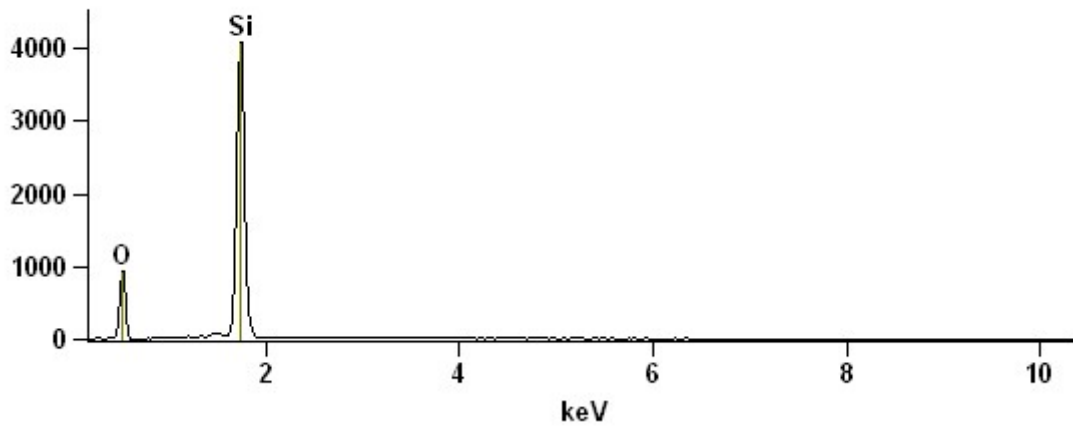
Image Name: Mineral (2)

Accelerating Voltage: 15.0 kV

Magnification: 1000

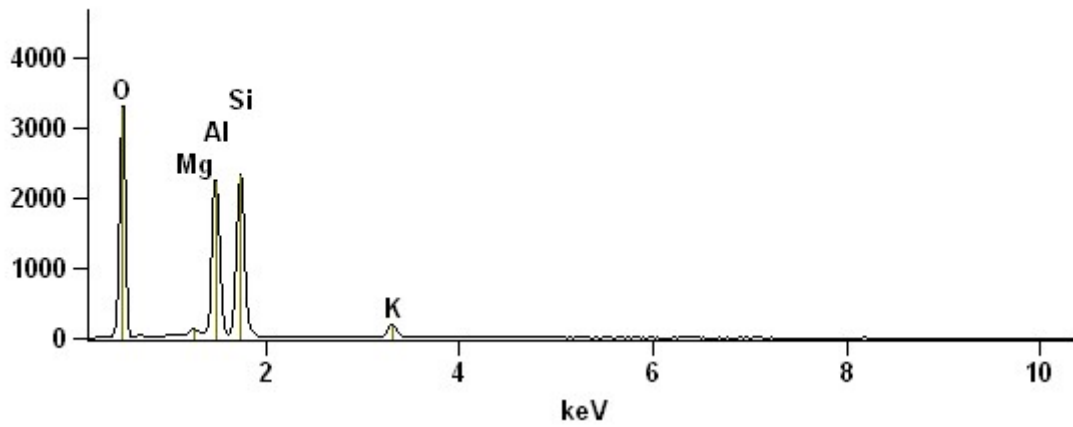
Full scale counts: 4063

Mineral(2)_pt1



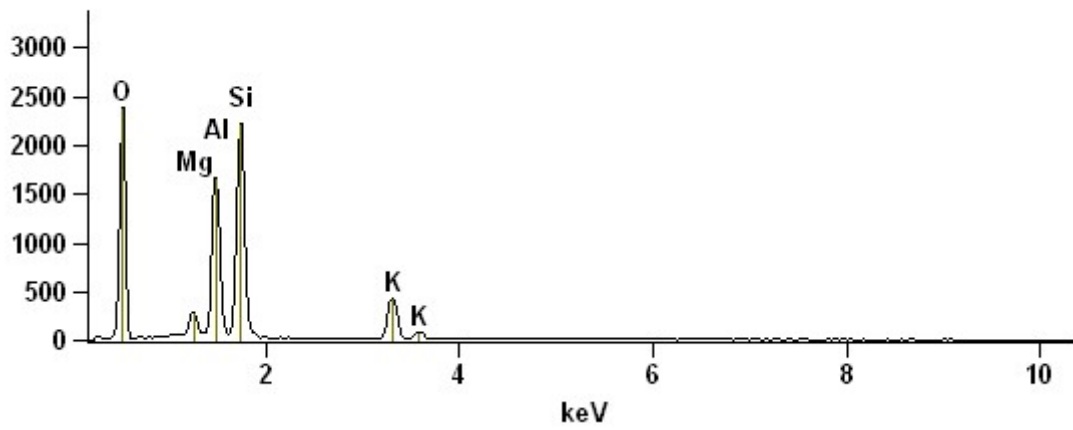
Full scale counts: 3293

Mineral(2)_pt2



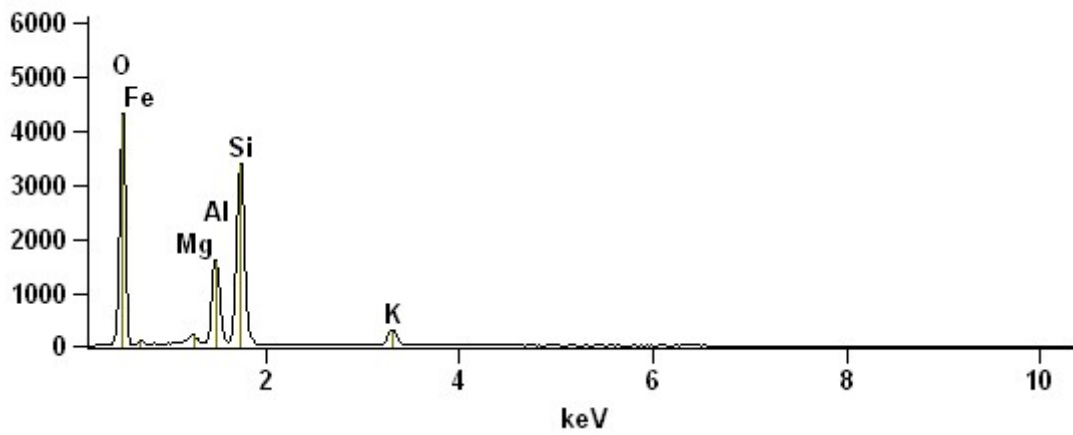
Full scale counts: 2382

Mineral(2)_pt3



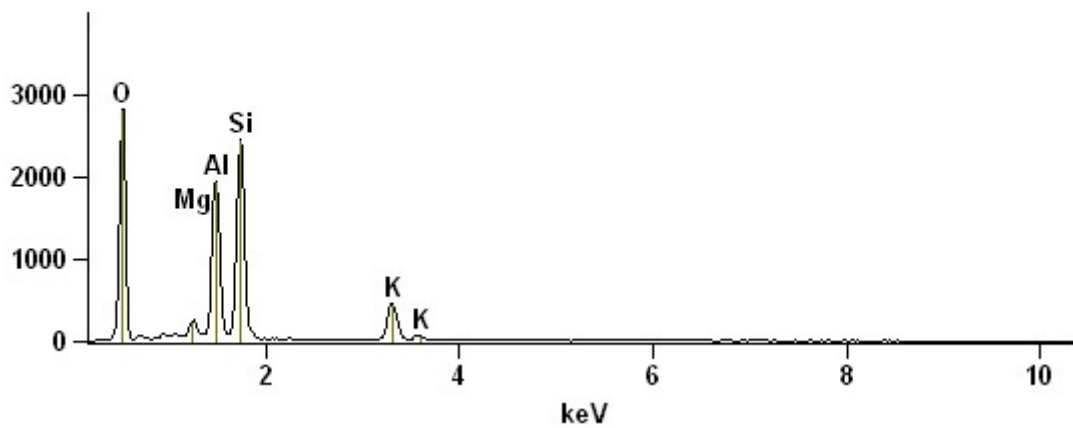
Full scale counts: 4303

Mineral(2)_pt4



Full scale counts: 2819

Mineral(2)_pt5



Fonte: LabMic – UFG