



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**CARACTERIZAÇÃO DE ARGILAS COM VISTA À IMPERMEABILIZAÇÃO DE
RESERVATÓRIOS DE ÁGUA**

ACILAYNE FREITAS DE AQUINO

**Orientador: Prof. Dr. Érico Rodrigues Gomes
Coorientador: Prof. Dr. Roberto Arruda Lima Soares**

TERESINA

2019

ACILAYNE FREITAS DE AQUINO

**CARACTERIZAÇÃO DE ARGILAS COM VISTA À IMPERMEABILIZAÇÃO DE
RESERVATÓRIOS DE ÁGUA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais do Instituto Federal do Piauí, como parte integrante dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Materiais.

Área de concentração: Processamento e Caracterização de Materiais

Orientador: Prof. Dr. Érico Rodrigues Gomes

**Coorientador: Prof. Dr. Roberto Arruda Lima
Soares**

TERESINA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Aquino, Acilayne Freitas de

A657c Caracterização de argilas com vista a impermeabilização de reservatórios de água / Acilayne Freitas de Aquino. – 2019.
120 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Instituto Federal do Piauí, Campus Teresina Central, 2019.

Orientador: Prof. Dr. Érico Rodrigues Gomes.

Coorientador: Prof. Dr. Roberto Arruda Lima Soares.

1. Argila. 2. Caracterização. 3. SIG. 4. Impermeabilização. I. Título.

CDD – 620.1



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ - IFPI
CAMPUS TERESINA CENTRAL / DIRETORIA DE PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS / PPG-EM
Praça da Liberdade, 1597 - Centro - Teresina - PI CEP. 64.000-040
Fone: (86) 3131 – 9468, endereço eletrônico: <http://ppgem.ifpi.edu.br/home>

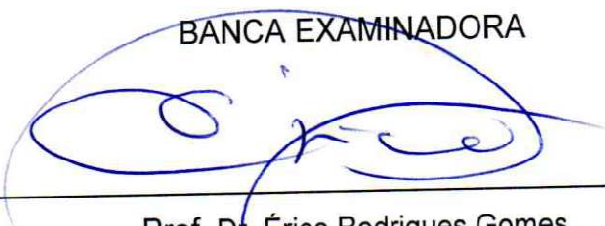
ACILAYNE FREITAS DE AQUINO

CARACTERIZAÇÃO DE ARGILAS COM VISTA A IMPERMEABILIZAÇÃO DE
RESERVATÓRIOS DE ÁGUA

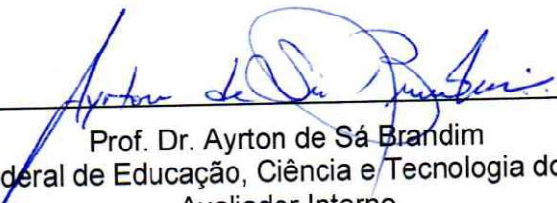
Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Materiais do Instituto Federal do Piauí, como parte
integrante dos requisitos para a obtenção do título
de Mestre em Engenharia de Materiais.

Aprovada em: 16/09/2019.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Érico Rodrigues Gomes
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí - IFPI
Orientador



Prof. Dr. Ayrton de Sá Brandim
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí - IFPI
Avaliador Interno



Prof.ª Dr.ª Maria Rita de Moraes Chaves Santos
Universidade Federal do Piauí - UESPI
Avaliadora Externa

*À minha mãe, Aci Freitas de Jericó, ao meu
esposo, Francisco Rodrigues de Aquino Júnior,
aos meus filhos, Kairo Igor Freitas de Aquino,
Vitória Freitas de Aquino e Letícia Freitas de
Aquino .*

Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço a Deus pela minha existência e por me conceder saúde, sabedoria, força, paciência durante os momentos de maior dificuldade durante a execução desta pesquisa.

A Nossa Senhora pelas graças alcançadas

À minha mãe, mulher guerreira, que batalhou para me proporcionar boa educação e por estar sempre ao meu lado, nos bons e maus momentos, sempre orando para que tudo desse certo. Ao meu pai, pelos ensinamentos e orações.

Aos meus filhos, pela colaboração e compreensão demonstradas durante tantas ausências que se fizeram necessárias e, em especial, ao meu marido, que está sempre ao meu lado, apoiando-me e colaborando, em todos os momentos, para que nada falte para nossos filhos.

Ao Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária- INCRA, por ter consentido meu afastamento das atividades e, em especial, à servidora Teresinha Coimbra pelo auxílio na construção do SIG.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Piauí- IFPI, pela oportunidade e disponibilidade da estrutura física.

Ao seleto corpo docente e Doutores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Piauí- IFPI, Campus Centro, sobretudo, ao Dr. Ayrton de Sá Brandim, pela amizade e incentivo dado à minha pesquisa.

Ao meu orientador, professor Dr. Érico Rodrigues Gomes, pela amizade, confiança e por todo empenho e disponibilidade em me acompanhar nos trabalhos de coleta das argilas e pelos ensinamentos, sobretudo, geológicos.

Ao meu coorientador, professor Dr. Roberto Arruda Lima Soares, pelos ensinamentos e colaboração na idealização do método de infiltração, bem como, pelo auxílio nas análises e no tratamento das argilas.

Aos colaboradores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Piauí- IFPI, Campus Centro, Francílio de Oliveira Sousa, Rui Barbosa Sousa e André Filipe Sousa Loiola.

Ao Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA, pelo auxílio financeiro e liberação do espaço físico para realização dos ensaios de infiltração, e em particular, o coordenador do curso de Engenharia Civil, o Professor Me. Ismeraldo de Oliveira, pela colaboração.

Ao Professor Me. Laydson Moura Fernandes Amorim, do Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA, pela amizade e pelo auxílio na análise dos testes de infiltração.

Aos alunos do Curso de Engenharia Civil da UNIFSA, Gustavo José da Costa Freitas e Laécio Gomes do Nascimento (também Técnico do Laboratório da UNIFSA), pela colaboração nos ensaios de sondagem e infiltração do solo.

Ao empresário e proprietário da Cerâmica Santa Maria, o Sr. Waldyr de Moraes Júnior, pela amizade e pela colaboração para com esta pesquisa.

Ao Gerente do LETA/Centro de Tecnologia em Cerâmica - CTC SENAI, Isac Medeiros, pela colaboração e pela amizade, e aos técnicos Lucélia Sepúlveda e Antonio Francisco Ribeiro pela colaboração na moagem das argilas.

Ao Laboratório de MEV, do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará- UFC, especialmente, à Professora Dra. Irani Clezar Mattos e ao Me. Joel Pedrosa Sousa, pela colaboração e pelo auxílio.

Ao laboratório de Raios-X do Departamento de Física da Universidade Federal do Ceará- UFC, com maior relevância, ao Professor Dr. José Marcos Sasaki.

À Universidade Federal do Piauí – UFPI

Ao Serviço Geológico do Brasil – CPRM

Por fim, agradeço aos familiares e amigos que colaboraram direta e indiretamente para a concretização desta pesquisa e, principalmente, aos amigos do Mestrado, pelas trocas de conhecimentos e de experiências.

*“Recria tua vida, sempre, sempre.
Remove pedras e planta roseiras e faz doces.
Recomeça.”*

Cora Coralina.

RESUMO

Todos têm consciência da importância da água no planeta e quão valiosa é para o desenvolvimento da humanidade. Foi pensando no problema da escassez hídrica, que se objetivou, através do estudo das argilas, verificar suas características e se seria possível aplicá-las como impermeabilizante natural em reservatórios de água. Diante disso, coletou-se na região da Grande Teresina, 33 amostras de argilas, as quais foram mapeadas e caracterizadas por meio de ensaios tecnológicos, químicos e mineralógicos, que aliados às coordenadas geográficas dos pontos de coletas, serviram como base para a construção de um banco de dados georreferenciado, utilizando-se como ferramenta o software Quantum GIS. A partir dos resultados das caracterizações, selecionou-se, para realização dos ensaios de impermeabilização, três amostras denominadas AM-02 (ilítica), AM-08 (caolinítica) e AM-14 (caolinítica) e, para testar a eficiência das mesmas, idealizou-se um método empírico, cujos resultados das infiltrações foram calculados tomando como base o método de Kostiakov. O ensaio consistiu na execução de 4 (quatro) cavas prismáticas de dimensões 40 x 40 x 30 cm de profundidade, 3 (três) revestidas com as argilas supracitadas e 01 (uma) sem revestimento. As ocorrências de infiltrações foram medidas durante uma hora. Visando à comprovação do método, repetiu-se o ensaio por três vezes, sucedendo-se 1 (um) no período chuvoso e 2 (dois) no período seco. Ao comparar o nível de infiltração ocorrido nas três cavas revestidas com as argilas, com o da cava desprovida de revestimento, verificou-se que as três foram eficazes, no tocante a capacidade de retenção de água nos reservatórios por mais tempo. No entanto, ao se comparar a infiltração entre as amostras AM-02, AM-08 e AM-4, constatou-se que a amostra AM-14 foi a mais eficiente, nos três ensaios realizados, apresentando uma menor taxa de infiltração aos 60 minutos, respectivamente iguais a 0,65 cm, 3,14 cm e 5,08 cm. Em segundo lugar, ficou a AM-02, com as seguintes taxas de infiltração: 2,49 cm, 3,54 cm e 6,38 cm. Constatou-se ser a amostra AM-08 a menos eficiente, apresentando taxas equivalentes a 2,29 cm, 6,45 cm, e 8,85 cm de infiltração, respectivamente. Visto isso, conclui-se, que a amostra AM-14 tem a melhor indicação como impermeabilizante de reservatórios de água.

Palavras-chaves: Argila. Caracterização. SIG. Impermeabilização.

ABSTRACT

Everyone is aware of the importance of water on the planet and how precious and valuable it is for the development of humanity. It was thinking about the problem of the most needy and how inhuman it is for a person to survive with water scarcity, which aimed, through the study of clays, to verify its characteristics and possible application, as a natural waterproofing of water reservoirs. Therefore, 33 (thirty-three) clay samples were collected in the Greater Teresina region, which were mapped and characterized by means of technological tests, the results of which, together with the geographic coordinates of the collection points, served as a basis for the construction of a georeferenced database, using Quantum GIS software as a tool. From the results of the characterizations, three samples named AM-02 (illitic), AM-08 (Caolinitic) and AM-14 (Caolinitic) were selected to perform the waterproofing tests and to test their efficiency, idealized it is an empirical method, the results of the infiltrations were calculated based on the Kostiaikov method. The test consists of the execution of 4 (four) prismatic armholes with dimensions 40 x 40 x 30 cm deep, 3 (three) of which are covered with the aforementioned clays and 01 (one) without coating, which were measured for one hour. In order to prove the method, the test was repeated three times, with 1 (one) in the rainy season and 2 (two) in the dry season. When comparing the level of infiltration that occurred in the three pits covered with clays AM-02, AM-08 and AM-14, with the pit without coating, there was a certain efficiency in all of them, as the infiltration occurred slower in the three. However, when comparing the infiltration between the samples, it was found that the AM-14 sample, in general, was the most efficient of the three in the three tests performed, presenting a lower infiltration rate at 60 minutes, respectively equal to 0.65 cm, 3.14 cm and 5.08 cm. In second place was the AM-02, with the following infiltration rates: 2.49 cm, 3.54 cm and 6.38 cm. The AM-08 sample being the least efficient, with rates equivalent to 2.29 cm, 6.45 cm and 8.85 cm of infiltration, respectively. In view of this, it is concluded that the sample AM-14 has the best indication as a waterproofing of water reservoirs.

Keywords: Clay. Characterization. GIS. Waterproofing

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1-	Formação da goethita (GO) em manchas avermelhadas, a partir da alteração do piroxênio.....	29
Figura 2-	Representação esquemática dos tipos de metamorfismo.....	33
Figura 3-	Figura panorâmica da formação de lago em crescente a partir da migração de meandros. Situação de 1 a 7	34
Figura 4-	Formação de diques naturais pela inundação fluvial.....	35
Figura 5-	Representação das unidades cristalográficas.....	36
Figura 6 -	Estrutura cristalina da caulinita.....	38
Figura 7 -	Estrutura cristalina da montmorilonita	38
Figura 8 -	Estrutura cristalina da illita.....	39
Figura 09-	Forma de estratificados regulares e irregulares.....	40
Figura 10 -	Curva granulométrica.....	42
Figura 11 -	Padrão DRX para a montmorilonita.....	44
Figura 12 -	Coletas de Argilas em José de Freitas, Nazária e Teresina.....	52
Figura 13 -	Porção de algumas amostras de solo coletado.....	52
Figura 14 -	Porções selecionadas das amostras.....	53
Figura 15-	Estufa contendo material a 110°C.....	53
Figura 16-	Defloculação da argila em água e amônia.....	54
Figura 17-	Lavagem da argila na peneira da ABNT 325.....	54
Figura 18-	Série de peneiras da série ABNT e Mesa agitadora.....	55
Figura 19-	Material pesado retido nas peneiras.....	55
Figura 20-	Moinho de bolas.....	56
Figura 21-	Etapas de preparação da massa para realização do ensaio de liquidez.....	57

Figura 22-	Aparelho Casagrande para determinação do limite de liquidez.....	57
Figura 23-	Teste do limite de plasticidade.....	58
Figura 24-	Espectrômetro por fluorescência de raios X.....	59
Figura 25-	Preparação da amostra para FRX.....	59
Figura 26-	Difratograma de raios X.....	60
Figura 27-	Preparação de amostra para análise de DRX.....	60
Figura 28-	Interface inicial do software <i>QuantFases</i>	61
Figura 29-	Telas de inserção dos teores e indicação das fases presentes na amostra AM-08.....	61
Figura 30-	Equipamento TM3000 da Hitachi.....	62
Figura 31-	Preparação da Amostra para realização da Microscopia.....	63
Figura 32 -	Etapas de coleta de material para sondagem do solo do local a ser impermeabilizado com as argilas.....	65
Figura 33-	Enterrando os anéis no solo.....	66
Figura 34-	Adição de água no anel e leituras de infiltração.....	66
Figura 35 -	Instalações do LETA/SENAI.....	69
Figura 36-	Procedimentos de moagem.....	70
Figura 37-	Marcação e execução das cavas.....	71
Figura 38-	Preparação da argamassa de revestimento.....	71
Figura 39 -	Revestimento das cavas AM-02; AM-08 e AM-14.....	72
Figura 40 -	Procedimentos do ensaio empírico.....	73
Figura 41 -	Situação das lâminas d'água após 1 hora do início da medição.....	74
Figura 42 -	Vista das 08 cavas durante a realização dos novos ensaios.....	74
Figura 43 -	Indicação dos municípios do PI e MA e dos assentamentos.....	75
Figura 44 -	Planilha com os dados literais de cada amostra.....	76
Figura 45 -	Buffer contendo os PAs, áreas licenciadas na AMN, pontos de coleta de campo.....	77

Figura 46 -	Informações litológicas com indicação dos pontos de coletas.....	77
Figura 47 -	Prancha contendo todas as informações sobre a argila AM-02.....	78
Figura 48 -	Prancha contendo todas as informações sobre a argila AM-14.....	78
Figura 49 -	Porções das amostras de argilas coletadas, devidamente Identificadas.....	81
Figura 50-	Composição Granulométrica da amostra AM-02.....	86
Figura 51 -	Composição Granulométrica da amostra AM-08.....	87
Figura 52 -	Composição Granulométrica da amostra AM-14.....	88
Figura 53 -	Morfologia geral da amostra AM-02.....	93
Figura 54 -	Morfologia geral da amostra AM-08.....	93
Figura 55 -	Morfologia geral da amostra AM-14.....	94
Figura 56 -	Sistema TRB de classificação dos solos.....	95
Figura 57-	Local de extração da argila AM-14 em agosto de 2019.....	106
Figura 58-	Local de extração da argila AM-14 em outubro de 2019.....	106

IMAGENS

Imagem 1-	Limite geográfico do estado do Piauí e parte do Maranhão com a delimitação da abrangência da pesquisa.....	50
Imagem 2-	Destaque dos municípios inseridos na área de abrangência da pesquisa.....	50
Imagem 3 -	Local de realização dos ensaios.....	64

MAPAS

Mapa 1-	Distribuição espacial das argilas coletadas e Projetos de assentamentos.....	79
Mapa 2 -	Área de Estudo com indicação dos pontos de coleta e shapes da ANM.....	80

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Difractograma da amostra AM-02.....	90
Gráfico 2 - Difractograma da amostra AM-08.....	91
Gráfico 3 - Difractograma da amostra AM-14.....	91
Gráfico 4 - Distribuição granulométrica do solo.....	95
Gráfico 5 - Infiltração acumulada em função do Tempo.....	97
Gráfico 6 - Velocidade de Infiltração pelo método de Kostiakov.....	97
Gráfico 7 - Infiltração acumulada referente ao primeiro teste de infiltração.....	103
Gráfico 8 - Infiltração acumulada referente ao segundo teste de infiltração.....	104
Gráfico 9 - Infiltração acumulada referente ao terceiro teste de infiltração.....	104

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -	Cores dos sedimentos baseado na composição química.....	82
Quadro 2 -	Resultado das caracterizações físicas das amostras.....	83
Quadro 3 -	Granulometria da AM-02.....	85
Quadro 4-	Granulometria da AM-08.....	86
Quadro 5 -	Granulometria da AM-14.....	87
Quadro 6 -	Quantificação de fases da AM-02.....	92
Quadro 7 -	Quantificação de fases da AM-08.....	92
Quadro 8 -	Quantificação de fases da AM-14.....	92
Quadro 9 -	Velocidades de Infiltração básica dos solos.....	97
Quadro 10-	Resumos das infiltrações aos 60 minutos, nas três situações, ocorridas nas 04 cavas.....	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Granulometria do solo segundo a ABNT.....	31
Tabela 2-	Superfícies Específicas dos minerais argílicos.....	40
Tabela 3-	Parâmetros de plasticidade	43
Tabela 4 -	Valores típicos de condutividade hidráulica	47
Tabela 5 -	Composição química da AM-02 obtida por FRX(%).....	88
Tabela 6-	Composição química da AM-08 por FRX(%)	88
Tabela 7 -	Composição química da AM-14 por FRX (%).....	89
Tabela 8 -	Transformação logarítmica, no tempo acumulado, do teste de Infiltração.....	96
Tabela 9 -	Resultado das infiltrações acumuladas e velocidades de infiltração acumulada em função do tempo.....	96
Tabela 10-	Infiltrações em função do tempo – amostra sem revestimento.....	99
Tabela 11-	Infiltrações em função do tempo- amostra AM-02.....	99
Tabela 12-	Infiltrações em função do tempo- amostra AM-08.....	99
Tabela 13-	Infiltrações em função do tempo- amostra AM-14.....	99
Tabela 14-	Infiltrações em função do tempo – amostra sem revestimento.....	100
Tabela 15-	Infiltrações em função do tempo- Amostra AM-02.....	100
Tabela 16-	Infiltrações em função do tempo – Amostra AM-08.....	100
Tabela 17-	Infiltrações em função do tempo – Amostra AM-14.....	100
Tabela 18-	Infiltrações em função do tempo- Amostra sem revestimento.....	101
Tabela 19-	Infiltrações em função do tempo- Amostra AM-02.....	101
Tabela 20-	Infiltração em função do tempo – Amostra AM-08.....	101
Tabela 21-	Infiltração em função do tempo – Amostra AM-14.....	101

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANM	Agência Nacional de Mineração
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DRX	Difração de Raios X
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FRX	Fluorescência de Raios X
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFPI	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
LME	Laboratório de Microscopia Eletrônica
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
NBR	Norma Brasileira
PA's	Projetos de Assentamentos Federais
SIRGAS2000	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
TRB	<i>Transportation Research Board</i>
UFPI	Universidade Federal do Piauí
UFC	Universidade Federal do Ceará
UNIFSA	Centro Universitário Santo Agostinho
VIB	Velocidade de Infiltração Básica
VIM	Velocidade de Infiltração Média

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	19
2. JUSTIFICATIVA	21
3. OBJETIVOS.....	24
3.1 GERAL	24
3.2 ESPECÍFICOS	24
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	25
4.1 PROCESSOS GEOLÓGICOS FORMADORES DOS ARGILOMINERAIS.....	25
4.1.1 Minerais.....	26
4.1.2 Formações Rochosas.....	27
4.1.3 Intemperismo Químico.....	28
4.1.3.1 Solos.....	30
4.1.4 Metamorfismo.....	32
4.1.4.1 Metamorfismo Hidrotermal	32
4.1.4.2 Metamorfismo de Fundo Oceânico	32
4.1.5 Depósitos Sedimentares.....	33
4.1.5.1 Formação de lagos a partir da migração dos meandros	33
4.1.5.2 Formação de lagos a partir das planícies de inundação fluvial.....	35
4.2 ARGILAS.....	36
4.2.1 Definição.....	36
4.2.2 Classificação quanto ao grupo dos argilominerais.....	37
4.2.2.1 Cauliníticas	37
4.2.2.2 Montimoriloníticas	38
4.2.2.3 Ilíticas.....	39
4.2.2.4 Superfície Específica dos solos.....	39
4.2.3 Interextratificada.....	40
4.3 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DAS ARGILAS.....	41
4.3.1 Ensaios Físicos.....	41
4.3.1.1 Análise Residual	41
4.3.1.2 Granulometria	41
4.3.1.3 Ensaio de Plasticidade	42
4.3.2 Ensaios Químicos.....	43

4.3.2.1 Fluorescência de Raios X – (FRX)	43
4.3.3 Ensaio Mineralógicos.....	44
4.3.3.1 Difração de Raios X (DRX).....	44
4.3.4 Análise Racional.....	44
4.3.5 Ensaio Microestrutural.....	45
4.3.5.1 Microscopia Eletrônica de Varredura – (MEV).....	45
4.4 IMPERMEABILIZAÇÃO DE RESERVATÓRIOS.....	45
4.4.1 Impermeabilização Natural.....	45
4.5 CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DOS SOLOS.....	46
4.6 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA – SIG	47
4.6.1 QGIS - Ferramenta de SIG.....	48
5. METODOLOGIA DA PESQUISA.....	49
5.1 TIPOS DE PESQUISA.....	49
5.2 UNIVERSO E AMOSTRA.....	49
5.3 MÉTODOS E TÉCNICAS DOS ENSAIOS	51
5.3.1 Coletas de Argilas.....	51
5.3.2 Análise Residual.....	53
5.3.3 Ensaio de Granulometria.....	55
5.3.4 Ensaio de Plasticidade.....	56
5.3.4.1 Limite de Liquidez.....	56
5.3.4.2 Limite de Plasticidade.....	58
5.3.5 Ensaio de Fluorescência de Raios X – FRX	58
5.3.6 Ensaio de Difração de Raios X – DRX.....	60
5.3.7 Ensaio de Análise Racional.....	61
5.3.8 Ensaio de Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV.....	62
5.4 ENSAIO DE INFILTRAÇÃO E IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO.....	63
5.4.1 Caracterização da área dos ensaios.....	64
5.4.2 Ensaio de Sondagem à trado.....	64
5.4.3 Ensaio do Infiltrômetro de Anéis Concêntricos.....	65
5.4.4 Ensaio de Impermeabilização.....	67
5.4.4.1 Preparação das Amostras.....	69
5.4.4.2 Processo de Impermeabilização.....	70
5.5 MÉTODOS E TÉCNICAS DE ELABORAÇÃO DE UM SIG.....	75

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	79
6.1 COLETAS DAS AMOSTRAS.....	79
6.2 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	81
6.3 ENSAIOS FÍSICOS.....	83
6.3.1 Análise Granulométrica.....	85
6.3.1.1 Amostra AM-02.....	85
6.3.1.2 Amostra AM-08.....	86
6.3.1.3 Amostra AM-14.....	87
6.4 ENSAIO QUÍMICO	88
6.5 ENSAIO MINERALÓGICO.....	90
6.5.1 Difração de Raios X (DRX).....	90
6.5.2 Análise Racional.....	92
6.5.3 Microscopia Eletrônica de Varredura- MEV	93
6.6 ENSAIO DE IMPERMEABILIZAÇÃO.....	94
6.6.1 Ensaio de Sondagem à Trado.....	94
6.6.2 Teste do Infiltrômetro de Anéis Concêntricos.....	96
6.6.3 Teste de Impermeabilização com as argilas.....	98
7. CONCLUSÃO.....	107
REFERÊNCIAS	109

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Gomes (2011), a água é um recurso natural essencial, seja como componente bioquímico de seres vivos ou como meio de vida de várias espécies vegetais e animais. Ela também é considerada elemento representativo de valores sociais e culturais e até como fator de produção de vários bens de consumo final e intermediário. Esse teórico ressalta ainda que, provavelmente, a água seja o único recurso natural que tem a ver com todos os aspectos da civilização humana, desde o desenvolvimento agrícola e industrial, aos valores culturais e religiosos arraigados na sociedade.

Além disso, para Machado (2009), quando as pessoas não têm acesso à água, quer seja potável para ingestão ou como fonte de recurso produtivo, suas escolhas e liberdades são limitadas pela doença, pobreza e vulnerabilidade.

Segundo as Nações Unidas no Brasil (ONUBR, 2017), estima-se que um bilhão de pessoas necessita de uma fonte de abastecimento, que possibilite fornecer por dia 20 litros de água, por pessoa, a uma distância não superior a mil metros. No entanto, um relatório da ONU, divulgado em julho de 2017 pelo Portal ONU News, revela que cerca de 2,1 bilhões de pessoas de todo o mundo, não têm água potável em casa. O mesmo relatório afirma que a maioria dessas pessoas vive em áreas rurais.

No Brasil, particularmente no estado do Piauí, o problema relacionado à escassez de água não é diferente do resto mundo. Pois, apesar de possuir em seu subsolo um lençol freático bastante rico em água, a população brasileira, sobretudo na região semiárido, enfrenta problemas de seca e estiagem.

Segundo informações do Departamento Nacional de Obras contra as Secas (DNOCS), obtidas em julho de 2017, 176 municípios do Brasil, entre estes, 25 do Piauí, encontravam-se em emergência por conta da estiagem prolongada, fato que contribui para agravar ainda mais a situação de miséria vivenciada pelas comunidades rurais mais carentes e desprovidas de assistência.

Outrossim, o estado crítico em que vivem os agricultores familiares, por conta da precariedade no fornecimento d'água, ou até mesmo da total falta de abastecimento em algumas localidades, tem sua gênese atrelada a questões de cunho político, administrativo, financeiro e técnico.

Diante dessa triste e preocupante realidade, faz-se necessário pesquisar uma alternativa financeiramente viável que possa atender ou amenizar essa anomia social. O caminho aqui em análise baseia-se na aplicação de material argiloso potencialmente impermeabilizante, visando garantir uma reserva de água durante tempo suficiente para suprir necessidades básicas e garantir a produção do agricultor familiar nos períodos de seca.

Destarte, o pesquisador objetiva estudar as argilas na região da grande Teresina, a fim de verificar suas características e possível aplicação, separadas ou combinadas entre si, como impermeabilizante natural de reservatórios de água para diversos fins, tais como: consumo doméstico, dessedentação animal, uso para irrigação e para coleta em tanques de piscicultura.

A impermeabilização natural ocorre quando se utiliza o próprio solo local como barreira para diminuir a infiltração de água nos reservatórios. Esse solo deve possuir baixa condutividade hidráulica e alta porcentagem de argila (MAZERINE, 2002)

Segundo Soares (2010), a argila é considerada um material natural, terroso, que possui uma granulometria inferior a 2 μm e adquire, quando hidratada, certa plasticidade. Quimicamente, é formada essencialmente por silicatos hidratados de alumínio, ferro e magnésio.

De acordo com Lukiantchuki (2007), alguns parâmetros têm influência direta na condutividade hidráulica do solo. Pode-se destacar, dentre outros: o tipo de argilomineral, o teor de umidade e a composição mineralógica.

Entretanto, para avaliar a composição mineralógica de uma determinada argila, precisa-se primeiramente conhecer os constituintes básicos das rochas que lhe deram origem, bem como entender seu processo de formação.

De acordo com Linhares Júnior (2015), as argilas classificam-se quanto à geologia, em residuais e sedimentares. As residuais são encontradas no local de sua formação, enquanto as sedimentares foram transportadas de seu lugar de formação pelos agentes naturais. Neste último caso, têm-se uma argila mais fina e mais plástica.

2. JUSTIFICATIVA

A pesquisa justifica-se pela preocupação com a precariedade em que vivem as comunidades rurais prejudicadas pela escassez e pela falta de abastecimento d'água, afetando, dentre outras áreas, a da produção agrícola, não só aquela destinada ao comércio, mas também, a produção voltada para o consumo familiar.

As cisternas de concreto, de fibra de vidro e de polietileno, utilizadas pelas comunidades, armazenam água para uso doméstico. Isso se dá, porém, em quantidade insuficiente para uso agropastoril ou para criatórios de peixe. Esse fato estimula a tentativa de desenvolver um material de base argilosa, impermeabilizante, de baixo custo e que seja capaz de manter a água por muito mais tempo nos reservatórios.

Essa ação, dada a importância da manutenção de água nas comunidades rurais, resultaria em segurança alimentar para os assentados, melhoria na qualidade de vida, aumento da renda do agricultor familiar, além de contribuir com o desenvolvimento sustentável do meio rural.

Para se chegar a um material que atenda às propriedades requeridas, faz-se necessário, antes de tudo, conhecer suas características físicas, químicas, mineralógicas e microestruturais para posterior aplicação. Ressalta-se que devido à falta de informações detalhada se precisas sobre as características dos solos da região da Grande Teresina, tanto ao nível de órgãos públicos (CPRM, ANM, EMBRAPA etc.), como em trabalhos científicos, fez-se necessária a realização de todos os ensaios tecnológicos a seguir.

Através dos ensaios de caracterização física do solo foi possível identificar o tamanho e a distribuição dos grãos presentes na amostra estudada (ensaio de granulometria), bem como definir o índice de plasticidade das amostras de argila (ensaios de plasticidade) (PINTO, 2010).

A caracterização química, segundo Santos (1989), visa identificar os elementos químicos presentes na amostra e sua proporção, através da técnica de Fluorescência de raios X – FRX e EDS.

Já a caracterização mineralógica, necessária para identificação das fases cristalinas existentes no material estudado, por meio da Difração de Raios X – DRX, permitiu conhecer os argilominerais predominantes nas amostras (ACCHAR, 2006).

E ainda, buscando identificar em qual grupo dos argilominerais as argilas se enquadram, fez-se uma análise microestrutural das amostras em estudo, através de um microscópio eletrônico de varredura - MEV, que é capaz de fazer ampliações, possibilitando mostrar o hábito cristalino, bem como uma visão em relevo das partículas de argilominerais (SUGUIO, 2003).

É importante ressaltar que, com o conhecimento sobre as diversas características dos argilominerais, tem-se a possibilidade futura de inúmeras outras aplicações nas mais diversas áreas, como mostram as pesquisas a seguir:

Andrés (2012), da DICYT (Agência Iberoamericana para la difusión de la ciencia y la tecnología), noticiou que pesquisadores da Universidade de Salamanca, na Espanha, estão estudando as aplicações das argilas sepiolita e palygorskita nas indústrias de petróleo e farmacêutica. Em declaração feita à agência, a diretora do Departamento de Geologia, Mercedes Suárez, relatou que as argilas, apesar de possuírem aparência semelhante, têm propriedades diferentes em sua estrutura nanométrica.

Ainda segundo a diretora Mercedes Suárez, as argilas que estavam sendo estudadas por um grupo de pesquisadores já possuíam aplicações no campo da medicina e no de cosméticos. Suárez também citou a utilização nos circuitos de velocidade por absorver o óleo dos motores. Isso só é possível por conta da composição que alguns tipos de argilas possuem. No caso das sepiolitas, estas são compostas por fibras e muitos poros, de tal forma a possuir ar em seu interior, podendo alojar moléculas de outros materiais.

Além das aplicações supracitadas, pesquisas também destacam a utilização das argilas nas áreas agronômicas e ambientais. Sartor & Azevedo (2014) apresentam e discutem, a partir de uma revisão bibliográfica, conceitos de pilarização em argilas expansivas (esmetitas e vermiculitas), método já difundido nas áreas da Engenharia Química e de Materiais e evoluindo no campo de outras ciências.

Antes de discorrer sobre as contribuições das argilas no combate à poluição ambiental, é salutar entender o processo de pilarização. Segundo a União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC), a partir do relatório técnico apresentado por SCHOONHEYDT et al. (1999), citado por Santor & Azevedo (2014), define-se como pilarização o método em que um composto lamelar é transformado

em um material micro e/ou mesoporoso, termicamente estável, sem destruição da estrutura lamelar durante o processo. Isso é possibilitado pela introdução de compostos químicos (agentes pilarizantes) entre as lamelas de argila, que funcionam como pilares moleculares; mantendo-as afastadas e dando origem aos microporos. (LUNA & ULF SCHUCHARDT, 1999)

Em relação à aplicação da argila para fins ambientais, pode-se destacar a pesquisa realizada por Ferreira (2014) com uma argila maranhense tratada com ácido clorídrico, aplicada na remoção dos corantes têxteis violeta cristal (VC) e azul turquesa (AT) em meio aquoso. Ao final da pesquisa, o autor conclui que a argila tratada se mostrou um bom adsorvente de baixo custo, de fácil aquisição, podendo ser empregada no processo de adsorção.

Como cosméticos, as argilas desempenham várias funções na pele, que estão relacionadas com suas características físico-químicas e mineralógicas. Os elementos químicos presentes na sua composição servem de indicadores para seu correto uso, tais como: alumínio atua na firmeza da pele, no clareamento e na cicatrização. Silício atua na hidratação, na limpeza e na desinfecção. O ferro atua na hidratação do tecido. Manganês atua como antialérgico cicatrizante. E, por fim, o sódio e o potássio atuam na hidratação (AMORIM; PIAZZA, 2010).

Buscou-se, através das diversas aplicações utilizando as argilas, demonstrar o quão vastas são as aplicações que esse mineral possibilita. O sucesso das aplicações, no entanto, depende da origem e formação geológica da argila. Esta pesquisa possibilitará, então, a descoberta de outras funções para as argilas estudadas.

3. OBJETIVOS

3.1 GERAL

Analisar e mapear as composições argilosas naturais da Grande Teresina com potencial de impermeabilização de reservatórios de água.

3.2 ESPECÍFICOS

Delimitar na região da Grande Teresina os pontos de coleta das argilas naturais;

Caracterizar as amostras argilosas através dos ensaios de análise residual, granulometria, plasticidade, técnicas de Fluorescência de Raios X (FRX), Difração de raios X (DRX), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Análise Racional;

Analisar as características do solo a ser impermeabilizado por meio de teste de infiltração e sondagem;

Revestir o solo com as massas argilosas previamente selecionadas, para verificar o potencial de impermeabilização;

Avaliar as características físico-químicas das argilas selecionadas;

Elaborar um Sistema de Informações Geográficas–SIG, utilizando o software Quantum Gis-QGIS.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Considerando que o objetivo precípua deste trabalho é descobrir um material impermeabilizante, de baixo custo, a partir da argila ou mistura argilosa, que possa atender às necessidades das comunidades mais carentes, sobretudo ao agricultor familiar, faz-se necessário um estudo aprofundado da referida matéria-prima, a fim de se conhecer suas características.

A princípio, serão abordados alguns conceitos sobre os constituintes básicos das rochas, objetivando esclarecer a formação dos argilominerais. Posteriormente, serão tratados os ensaios de caracterização física, química, mineralógica e microestrutural.

Por fim, pretende-se discutir sobre os diversos tipos de impermeabilizantes empregados em reservatórios de água, ensaios tecnológicos, dentre outros quesitos, que são imprescindíveis ao entendimento sobre o assunto.

4.1 PROCESSOS GEOLÓGICO FORMADORES DOS ARGILOMINERAIS

Segundo Queiroz (2009), a evolução da crosta terrestre resulta das manifestações endógenas e exógenas ao longo do tempo geológico e provoca mudanças ao longo dos anos. As mudanças ocorridas pela geodinâmica interna (endógena) originam-se no manto terrestre, gerando correntes internas de convecção, induzindo movimentos lentos, produzindo tensões e deformações nas camadas de rochas. Já a geodinâmica externa (exógena) origina-se por meio da energia solar, a qual produz o ciclo hidrológico, provocando intemperismo, erosão, transporte e depósitos de fragmentos rochosos, dando origem à formação de relevo.

Para melhor entender como se constituem os argilominerais, além de conhecer as diversas manifestações geológicas ocorridas ao longo dos anos, precisa-se de um embasamento teórico acerca das rochas e dos minerais que atuam na sua formação.

Para Frank Press (2006), enquanto o concreto, o aço e o plástico servem para identificar a estrutura, o design e a arquitetura dos grandes edifícios, os minerais e as rochas (que são agregados de minerais) são úteis para identificar as diversas partes do sistema terrestre.

4.1.1 Minerais

O conhecimento prévio acerca dos minerais é valioso para este trabalho, tendo em vista que são constituintes básicos das rochas, das quais são formados os diversos tipos de argilominerais. Esse saber facilita, aos pesquisadores, identificar as matérias-primas que atendam aos objetivos propostos, posto que as características das argilas e consequente aproveitamento, dependem de sua origem.

Os minerais são sólidos inorgânicos, encontrados na natureza, com estruturas cristalinas e composição química específica, cuja cristalização decorre do agrupamento de átomos ou íons em proporções adequadas, formando um arranjo tridimensional ordenado, no qual a configuração básica repete-se em todas as direções. Essas características, bem como a forma em que estão dispostos os átomos na sua estrutura interna, é que os tornam únicos (FRANK PRESS, 2006).

De acordo com Teixeira (2009), um mineral pode ser entendido como um sólido homogêneo, com composição química definida, podendo variar dentro de intervalos restritos, formados por processos naturais inorgânicos, cujos átomos estão organizados em um arranjo periódico tridimensional. Os tipos de ligações químicas que ocorrem nos minerais determinam grande parte das suas propriedades físicas.

As ligações iônicas, que ocorrem quando átomos doam e recebem elétrons, são consideradas fortes, resultando em materiais iônicos de baixa maleabilidade e alto ponto de fusão.

As ligações covalentes se dão pelo compartilhamento de elétrons dos orbitais de valência, derivando materiais com baixa maleabilidade, alto ponto de fusão e alta dureza.

Já as ligações metálicas, as quais apresentam cátions neutralizados por uma nuvem eletrônica envolvente, permitindo a condução de calor e eletricidade, resultam em materiais dúcteis e maleáveis.

Há também as ligações de Van der Waals e as pontes de hidrogênio, que são consideradas ligações mais fracas formadas por cargas eletrostáticas residuais; em que as matérias resultantes possuem baixa dureza. Comumente, pode haver na estrutura dos minerais mais de um tipo de ligação atômica, como também ligações de caráter misto, dependendo da eletronegatividade dos íons envolvidos.

4.1.2 Formações Rochosas

As rochas são formações geológicas constituídas por agrupamentos de minerais ao longo do tempo.

Dos milhares de minerais encontrados na natureza, de acordo com Frank Press (2006), pouco mais de 30 (trinta) são considerados formadores de rochas. Embora os minerais sejam os constituintes das rochas mais abundantes na crosta terrestre, esta é composta por apenas oito elementos químicos: oxigênio, silício, alumínio, ferro, cálcio, sódio, potássio e magnésio.

Ainda de acordo com o mesmo autor, os minerais formadores de rochas mais comuns são classificados em silicatos e não silicatos.

São considerados silicatos os minerais que possuem como constituinte básico o íon silicato. O silicato de composição química mais comum, arranjado em redes tridimensionais é a sílica (SiO_2), que é encontrada na forma de quartzo. Como exemplo de minerais com estruturas em forma de folhas tem-se a olivina (Mg_2SiO_4), a muscovita ou mica branca ($\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}$) e a caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) que é um argilomineral comum, encontrado em sedimentos e constitui a matéria-prima essencial para a fabricação de cerâmicas.

Os feldspatos, que são silicatos duplos de alumínio e de um metal alcalino ou alcalino-terroso (K, Na ou Ca), ao sofrerem decomposição por ação da natureza e ação da água, se transformam em argila branca denominada caulim (CAPUTO, 2013).

Em relação aos não silicatos (os que não possuem o íon silicato como constituinte), há os carbonatos, como a calcita (CaCO_3); os óxidos, como a hematita (Fe_2O_3); os sulfetos, em que a mais comum é a pirita (FeS_2) e, por fim, os sulfatos, entre eles, a gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), formada pela evaporação das águas do mar.

O intemperismo, segundo Branco (2014), é definido como o conjunto de alterações físicas e químicas que ocorrem nas rochas quando expostas na superfície terrestre. Em estágio avançado, dele resulta o solo, que pode ser residual ou sedimentar.

Segundo Queiroz (2009), os solos residuais resultam da fragmentação e decomposição das rochas no local de origem e mantêm as estruturas da rocha mãe. Em relação aos solos sedimentares ou transportados, estes foram levados do seu local de origem por algum agente de transporte e lá depositados (PRESS, 2006).

Para Teixeira (2009), os fatores que controlam a ação do intemperismo são o clima, o relevo, a fauna e a flora, a rocha parental e, finalmente, o tempo de exposição da rocha aos agentes intempéricos.

4.1.3 Intemperismo Químico

A água da chuva, carregada de substâncias dissolvidas ao longo de sua trajetória pela atmosfera, é a maior responsável pela ocorrência do intemperismo químico, pois ao infiltrar nas rochas, através de fraturas provocadas pelo intemperismo físico, estas sofrem reações químicas, produzindo novos minerais. As principais reações que podem ser observadas nesse tipo de intemperismo são: hidrólise, hidratação, oxidação, carbonatação e complexação (TOLEDO, 2002).

Dentre os tipos de intemperismo supracitado, Toledo (2002) considera a hidrólise a mais importante reação de intemperismo nos climas tropicais. Pois, destrói a estrutura do mineral, quebrando as ligações químicas entre os elementos que o constitui, com adição da molécula de água (H_2O).

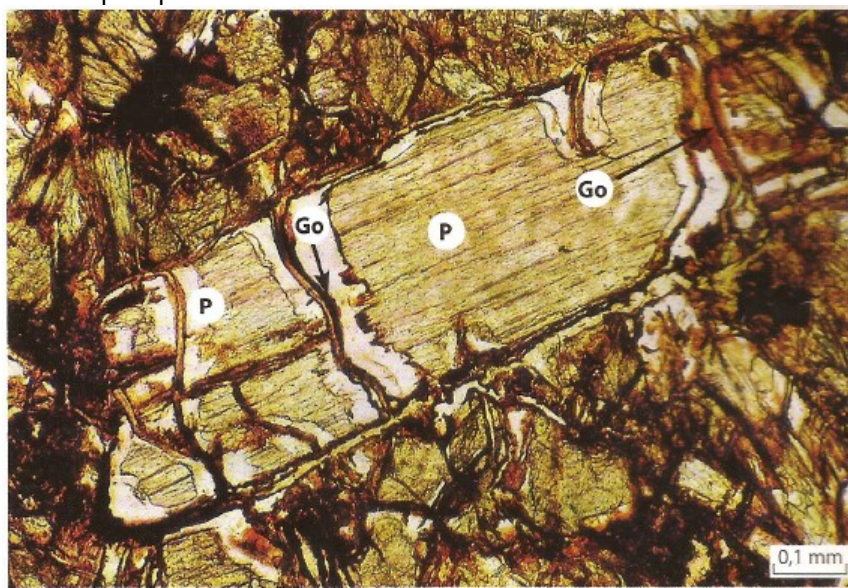
Conforme explica Teixeira (2009), o processo de hidrólise nos silicatos ocorre quando o silicato, ao entrar em contato com a água (H_2O), faz com que o íon H^+ , entre nas estruturas minerais, deslocando os cátions alcalinos, os quais são liberados para a solução. Com isso a estrutura, na interface sólido/solução de alteração, rompe-se liberando Si e Al em íons isolados ou polimerizados para a fase líquida. Esses elementos, quando combinados, resultam na neoformação de minerais secundários.

Segundo o mesmo autor, a hidrólise pode ser total ou parcial. Considera-se hidrólise total, quando 100% da sílica e potássio são eliminados, caso que ocorre quando se tem altas pluviosidades e suficiente drenagem. A hidrólise do K-feldspato resulta em hidróxido de alumínio (gibbsita). Já a hidrólise de um silicato com ferro (piroxênio) forma o óxi-hidróxido de ferro (goethita). Nos dois casos, têm-se exemplos de hidrólises totais (Figura 1).

A hidrólise parcial ocorre quando parte da sílica permanece no perfil e o potássio é total ou parcialmente liberado, caso que ocorre em situação de drenagem menos eficiente. Quando ambos reagem com o alumínio, há a formação dos aluminossilicatos hidratados, que são argilominerais. Em função do grau de

eliminação do potássio (K), têm-se duas situações: na primeira, 100% do K (potássio) é eliminado em solução, ocorrendo a formação da caolinita (com 66% de sílica e permanência de 100% de Alumínio). Na segunda, parte do K (potássio) não é eliminada em solução. Nesse caso, forma-se a esmectita (com 87% de potássio, 46% de sílica e permanência de todo o alumínio).

Figura 1 -Formação da goethita (GO), em manchas avermelhadas, a partir da alteração do piroxênio (P), em imagem obtida através de microscópio óptico.



Fonte: Teixeira (2009).

As outras formas de intemperismo químico (hidratação, oxidação, carbonatação) serão definidas segundo Campos (2009), a seguir:

A hidratação ocorre pela adição de moléculas de água à composição de certos minerais, formando novos compostos. Como consequência, os minerais têm os seus volumes aumentados. É o caso da anidrita (CaSO_4), que assim forma o gipso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e da Hematita (Fe_2O_3), que forma a limonita ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

A oxidação acontece quando os minerais se decompõem pela ação oxidante do O_2 e do CO_2 . Ela ocorre em minerais que possuem íons de Fe^{++} (pirita, micas e olivinas). Quando a Pirita é oxidada, o Fe^{++} passa a Fe^{+++} , formando a limonita, liberando enxofre que, combinando com água, produz ácido sulfúrico, o qual dissolve os sais de Ca, Mg, K e Na, transportando-os pelos rios até os mares, sob forma de sulfatos.

A carbonatação é um processo de decomposição por CO₂, contido na água (colóides) e forma-se de pequena quantidade de ácido carbônico (H₂O + CO₂ ► H₂CO₃), que, em contato com a calcita (CaCO₃), por exemplo, forma o bicarbonato de cálcio (Ca(HCO₃)₂). Ao escapar o CO₂, o bicarbonato de cálcio precipita-se, formando os grandes depósitos de rochas (calcita, dolomitas, gipsitas etc...). Esse tipo de formação aparece, particularmente, nas estruturas das cavernas calcárias.

4.1.3.1- Solos

Em virtude de o solo ser um material complexo, sua definição varia de acordo com sua função e utilização, ou seja, cada especialidade o define conforme seus objetivos.

De acordo com Teixeira (2009), o solo é um produto gerado pela resistência do manto do intemperismo à ação intempérica. Esse manto é constituído por minerais primários e minerais secundários (argilominerais, óxidos, hidróxidos, óxi-hidróxidos). Isso ocorre em regiões planas ou de relevo suave na superfície da Terra, ou, ainda, quando há proteção por cobertura vegetal.

Após a existência da Pedologia, o solo que antes era tido como um corpo inerte, que refletia apenas a composição da rocha parental, agora é considerado um material que evolui no tempo, sob ação do clima, da topografia e da biosfera.

Teixeira (2009), considera o solo como o produto do intemperismo, do remanejamento e da organização das camadas superiores do manto intempérico, sob ação da atmosfera, da hidrosfera, da biosfera e das trocas de energia envolvidas.

Caputo (2013), tomando como base a definição dada pelos pedologistas, relata que a formação de um solo está em função da rocha origem (r), da ação dos organismos vivos (o), do clima (cl), da fisiografia (p) e do tempo (t), conforme representação a seguir:

$$s=f(r, o, cl, p, t)$$

À medida que as rochas se intemperizam, os horizontes ou as camadas se diferenciam entre si. A parte superior, mais intemperizada do perfil do solo, corresponde aos horizontes A+B, e denomina-se sólum. O perfil de solo é o conjunto de horizontes e/ou camadas no sentido vertical, desde a superfície até a rocha

matriz e quanto maior o número de horizontes e maior sua espessura, mais maduro será o solo (CAMPOS, 2009).

Os solos podem apresentar características e propriedades físicas, químicas e físico-químicas diferenciadas em função das condições ambientais, tais como: rocha parental, clima, relevo, tempo e organismos vivos, incluindo o homem. Eles podem ser classificados, segundo as variações texturais, em argilosos e arenosos. Quanto às variações químicas e/ou mineralógicas, classificam-se em vermelhos, amarelos ou cinza esbranquiçados. O solo pode ser rico ou pobre em matéria orgânica, pode ser espesso ou raso e ainda se apresentar homogêneo ou nitidamente diferenciado em horizontes (TEIXEIRA, 2009).

Segundo a EMPRAPA (2017), os solos se classificam em argissolos, cambissolos, chernossolos, espodossolos, gleissolos, latossolos, luvissolos, neossolos, nitossolos, organossolos, planossolos, plintossolos e vertissolos.

Em virtude da região de atuação da pesquisa, serão definidos apenas os latossolos, que são solos característicos de clima tropical, de região plana, altamente evoluídos, laterizados, ricos em argilominerais 1:1 e óxi-hidróxidos de ferro e alumínio. Esse tipo de solo apresenta horizonte B latossólico, precedido de qualquer tipo de horizonte A, dentro de 2 m da superfície ou dentro de 3 m, se o horizonte A apresenta mais que 1,50 m de espessura.

Outra classificação dada ao solo está relacionada segundo o diâmetro dos seus grãos. A ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, através da NBR 6502/95, distribui o solo em frações granulométricas (Tabela 1).

Tabela 01- Granulometria do solo segundo a ABNT

FRAÇÃO	Limites definidos pela ABNT
Pedregulho	de 4,80 mm a 7,60 cm
Areia Grossa	de 2,00 mm a 4,80 mm
Areia média	de 0,42 mm a 2,00 mm
Areia Fina	de 0,05 mm a 0,42 mm
Silte	de 0,005 mm a 0,05 mm
Argila	< 0,005 mm

Fonte: Pinto (2006)

4.1.4 Metamorfismo

De acordo com o Serviço Geológico do Brasil-CPRM (2018), considera-se metamorfismo o processo de transformações mineralógicas, texturais e estruturais ocorridas em rochas pré-existentes, sob ação das variáveis, temperatura e/ou pressão, sem mudança química significativa, podendo ser: fundo oceânico, hidrotermal, dinamotermal ou regional, de soterramento, termal, cataclástico e de impacto.

A base de todo o processo metamórfico reside no fato de que os minerais têm certas condições físico-químicas de sobrevivência. Mudando-se essas condições (pressão, temperatura etc.), o mineral passa a uma nova forma estável (CAMPOS, 2009).

Dos processos metamórficos listados, apenas o Hidrotermal e Fundo Oceânico são responsáveis pela formação dos argilominerais. A Figura 2 trata da representação esquemática das duas situações.

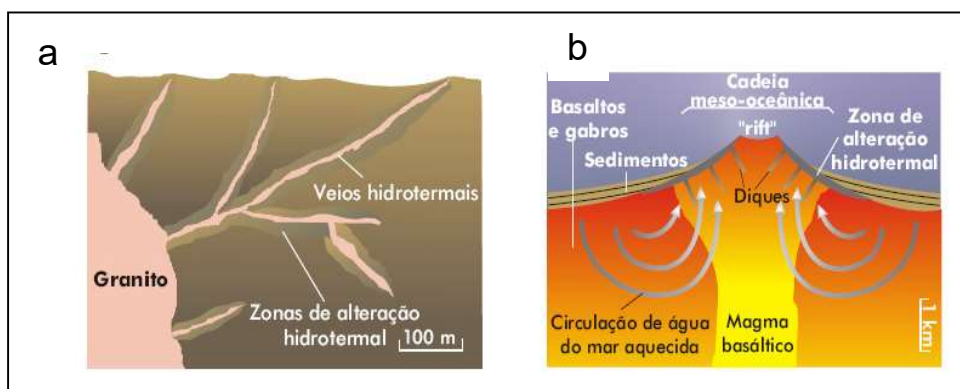
4.1.4.1 Metamorfismo hidrotermal

O metamorfismo hidrotermal resulta da percolação de águas quentes em espaços intergranulares. É um processo metassomático que se desenvolve através de trocas iônicas entre água circundante e paredes das fraturas, onde os minerais perdem estabilidade e formam novas assembleias entre 100 e 370°C. Ocorre em bordas de intrusões graníticas, vulcanismo basáltico, campos geotermiais, o último, gerador de depósitos minerais.

4.1.4.2 Metamorfismo de fundo oceânico

São ocorrências que se dão na vizinhança de *rifts* das cadeias meso-oceânicas, onde a crosta recém-formada e quente interage com a água do mar. A água quente carregando íons, percola a rocha em um movimento de convecção, removendo, precipitando elementos e provocando sensíveis mudanças.

Figura 2 – Representação esquemática dos diferentes tipos de metamorfismo: a) hidrotermal; b) fundo oceânico.



Fonte: Senra (2008)

4.1.5 Depósitos Sedimentares

A maioria dos sedimentos transportados pelos rios é depositada no mar, acumulando-se na borda da plataforma continental e transportadas para as regiões mais profundas pelas correntes de turbidez. No litoral, podem formar deltas, praias, mangues, e retrabalhados pelas correntes litorâneas, marés e ventos, formam as dunas.

Os lagos, relacionados ao ambiente fluvial, acumulam sedimentos arenosos em suas fáceis próximas à desembocadura das drenagens e sedimentos finos nas fáceis distais, depositando-se por decantação.

Segundo Teixeira (2009), os depósitos lacustres apresentam como característica comum a abundância de fáceis de decantação, contudo as fáceis sedimentares variam conforme o clima e a atividade tectônica.

Os lagos, atuais jazidas de argila, segundo Frank Press (2006), também são formados a partir da migração dos meandros de um canal fluvial e das planícies de inundação.

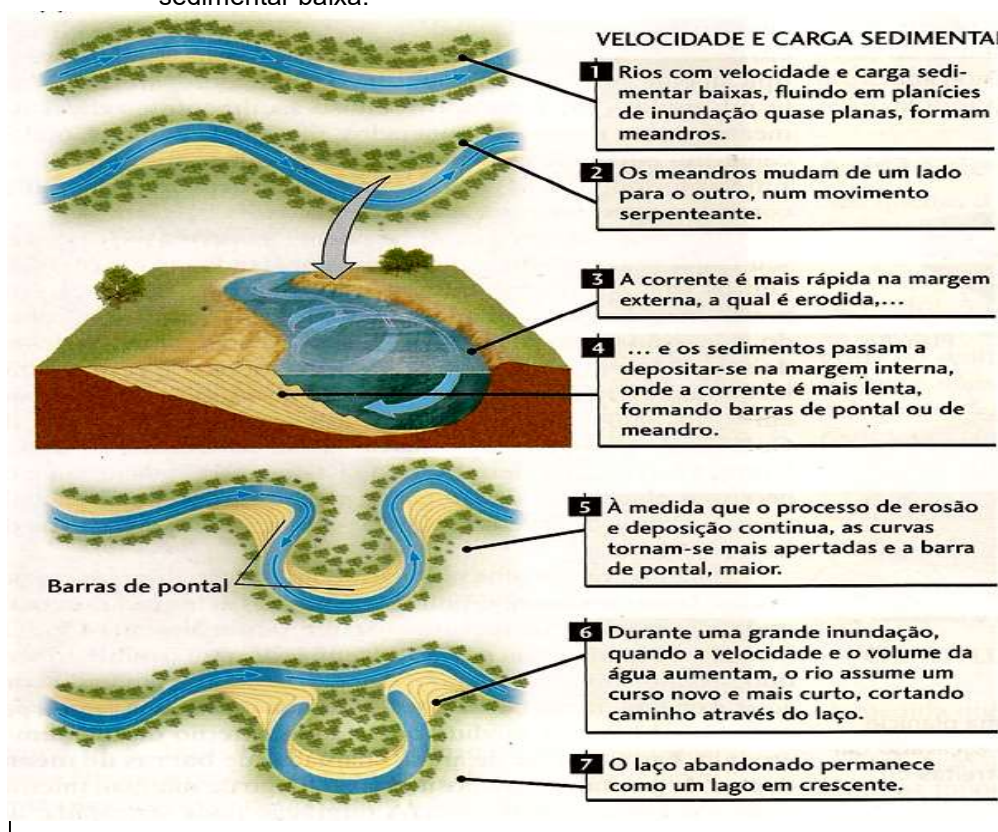
4.1.5.1 Formação de lagos a partir da migração dos meandros

Meandros são padrões de canais fluviais que seguem formas curvas e laços mais comuns em rios que fluem em declives suaves de planícies ou terras baixas, onde os canais tipicamente cortam sedimentos não consolidados (areia fina, silte e argila) ou substrato rochoso facilmente erodível (PRESS, 2006).

Os meandros em uma planície de inundação migram em períodos de muitos anos, erodindo as margens externas das curvas, em movimentos alternados. À medida que o lado externo da margem é erodido, barras curvas de areia e silte (barras de pontal) são depositadas ao longo da margem interna. Conforme os meandros migram, os laços podem crescer cada vez mais próximos uns dos outros ao ponto de ocasionar um corte no curso primitivo, fazendo com que este assuma um novo percurso, abandonando o caminho anterior, formando um lago em crescente, preenchido com água. A Figura 3 trata de uma visão panorâmica da situação supra apresentada.

Vale salientar que, por este mesmo processo, o rio Parnaíba, localizado em Teresina-PI, abandonou, em determinada época, parte de seu curso natural dando origem às lagoas da zona norte do município; que são conhecidas como Lagoas do Norte.

Figura 3 – Figura panorâmica da formação de lago em crescente, a partir da migração de meandros. Situação de 1 a 7 de velocidade e carga sedimentar baixa.



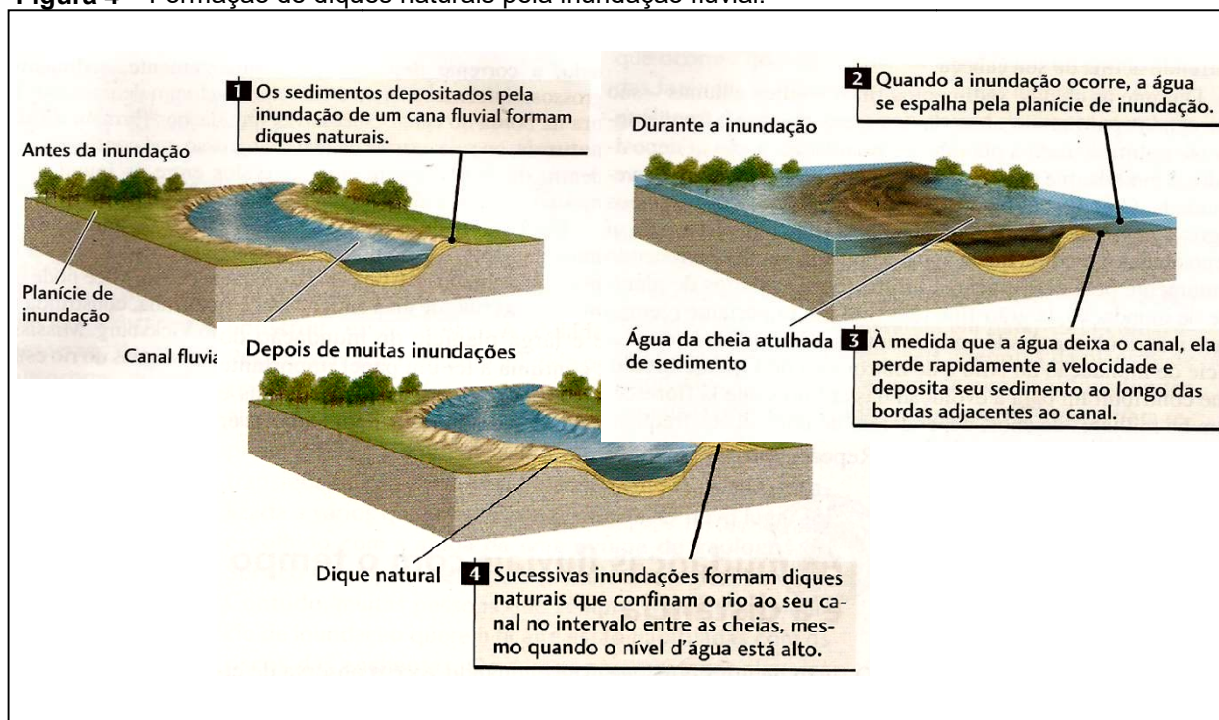
Fonte: Press (2006)

4.1.5.2 Formação de lagos a partir das planícies de inundação fluvial

Press (2006) define planície de inundação como um canal fluvial que migra sobre o fundo de um vale. À medida que a água da cheia alaga essa planície, sua velocidade diminui fazendo com que a corrente perca sua capacidade de carregar os sedimentos, ocasionando um depósito predominante de sedimentos grossos, tipicamente, areia e cascalho, ao longo de uma estreita faixa na borda do canal. A ocorrência de sucessivas inundações provoca a formação de **diques naturais**, considerados cristas de material de granulometria grossa que confinam o rio dentro de suas margens, nos intervalos entre as inundações, mesmo quando o nível da água está alto (Figura 4).

Como consequência das cheias, sedimentos finos (siltes e lama) são carregados para muito além das margens do canal, cobrindo toda a planície de inundação e ali permanecendo, à medida que as águas perdem a velocidade. Quando as águas da cheia começam a recuar, deixam pequenos lagos e poças de água estagnada. A exemplo desse processo, ressaltam-se as lagoas formadas ao longo do rio Poti, localizado em Teresina-PI.

Figura 4 – Formação de diques naturais pela inundação fluvial.



Fonte: Press (2006)

4.2 ARGILAS

4.2.1 Definição

Várias são as definições para o termo “Argila”, e observa-se que está muito relacionado com a área de concentração estudada (mineralogia, química, petrologia, sedimentologia, cerâmica, etc...). Segundo Lopes (2011) a definição mais aceitável, considera argila como uma rocha constituída basicamente por minerais argilosos como também outros minerais não argilosos, além de matéria orgânica e outras impurezas, que quando em contato com a água, em quantidade adequada, se torna plástica. Tornando-se consistente e rígida após a secagem, e após queima em temperatura superior a 1000°C adquire grande dureza.

Os minerais argílicos, de acordo com Caputo (2013), são compostos por agrupamentos de duas unidades cristalográficas fundamentais, uma com a configuração de um tetraedro (T), na qual existe um átomo de silício equidistante de quatro átomos de oxigênio (Figura 5a) e a outra representada por um octaedro (O), com um átomo de alumínio central envolvido por seis átomos de oxigênio, ou grupos de oxidrilas OH (Figura 5b).

Figura 5a: Representação de uma unidade tetraédrica

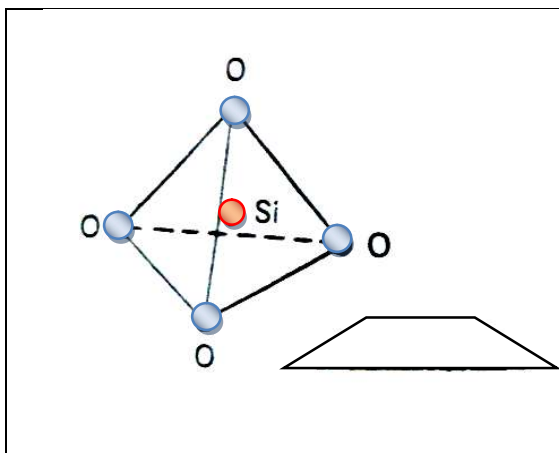
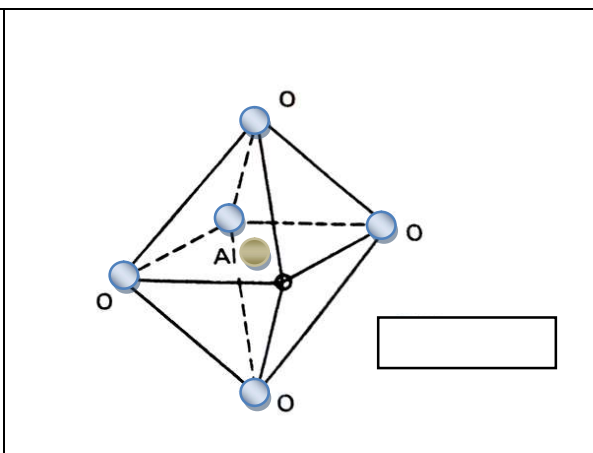


Figura 5b: Representação de uma Unidade octoédrica



Fonte: Caputo (2013) - adaptado

Segundo Teixeira Neto (2009), as argilas possuem uma estrutura formada por lamelas cristalinas nanométricas (menos que 1 nm de espessura) empilhadas como um baralho de cartas, em que cada lamela é formada pelo arranjo

(combinação) de dois tipos de folhas cristalinas, uma tetraédrica (T) e outra octaédrica (O).

As lamelas são consideradas do tipo 1:1 quando se tem 1(uma) folha (T) ligada a 1(uma) folha (O). Já nas do tipo 2:1, há 1(uma) folha (O) ensanduichada entre 2 (duas) folhas (T). São as mais abundantes e relevantes. Como exemplo pode-se citar as argilas montmorilonitas.

4.2.2 Classificação quanto ao grupo dos argilominerais

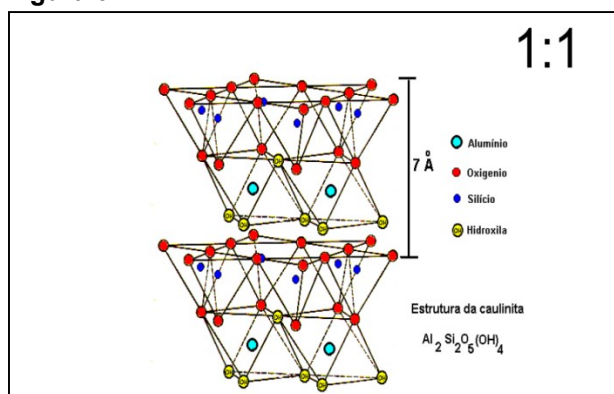
Os argilominerais do tipo 1:1 também são ditos bilaminares, como o caso da caulinita e do tipo 2:1 denominados de trilaminares, como a esmectita e illita. A diferença entre esses dois grupos está da facilidade com que as camadas são separadas uma da outra. As esmectitas são referidas como argilas de rede expandida, pois suas camadas são facilmente separadas pela água adsorvida, o que justifica a mesma entumecer-se quando colocada na água. Esmectita é o nome dado a um grupo de filossilicato de espécies minerais, das quais fazem parte a montmorilonita, beidellite, saponita e hectorita (MACÍAS-QUIROGA; GIRALDO-GÓMEZ; SANABRIA-GONZÁLEZ, 2018).

4.2.2.1 Cauliníticas

As argilas são ditas cauliníticas quando são constituídas essencialmente por argilominerais do grupo da caulinita. Pertencem a este grupo todos os silicatos de alumínio hidratado. Por serem pobres em óxidos e hidróxidos de ferro e de outros elementos cromóforos, apresentam cores claras de queima, menor plasticidade e retenção de água (TUBINO, 2007).

De acordo com Ferreira (2010), a Caulinita apresenta um arranjo estrutural do tipo 1:1, formado pela superposição de uma folha tetraédrica e de uma folha octaédrica. Entre camadas, ocorre o empilhamento que se mantém por ligações da hidroxila presente na folha octaédrica superior interagida com os átomos de oxigênios adjacentes da folha tetraédrica inferior (Figura 6).

Para Caputo (2013), tal arranjo confere às caulinitas certa rigidez estrutural, justificando serem relativamente estáveis na presença de água.

Figura 6 –Estrutura cristalina da caulinita

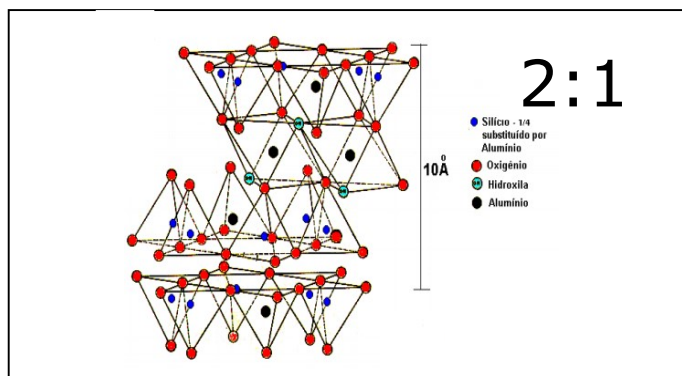
Fonte: Ferreira (2010)

4.2.2.2 Montmoriloníticas

As Montmoriloníticas são constituídas por argilominerais compostos principalmente por alumínio, magnésio e ferro. São altamente plásticas, e possui grande capacidade de retenção de água. Têm a facilidade de variar de volume, por isso também são conhecidas como argilas expansivas. (TUBINO, 2007)

Segundo Teixeira Neto (2009) as montmorilonitas possuem um arranjo estrutural do tipo 2:1, formada pelo empilhamento de uma lamela octaédrica entre duas tetraédricas. Pertencem ao grupo das esmectitas, que é o principal componente da argila bentonita. Material derivado da alteração química de um material vítreo de origem ígnea emitida por vulcões. (MACÍAS-QUIROGA; GIRALDO-GÓMEZ; SANABRIA-GONZÁLEZ, 2018).

Pode-se observar na Figura 7 as ligações hidroxilas interagindo com os átomos de oxigênio adjacentes.

Figura 7 – Estrutura cristalina da montmorilonita

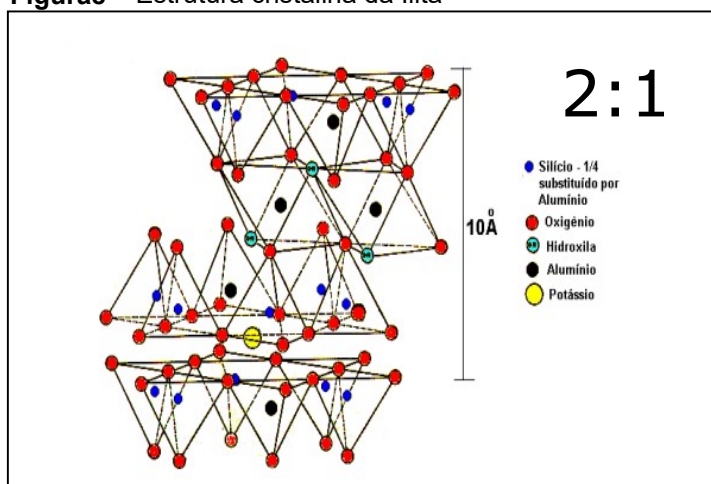
Fonte: Ferreira (2010)

Segundo Macambira (2002), a montmorilonita tem como característica uma baixa condutividade hidráulica, em virtude de as moléculas de água entrarem facilmente pelas camadas, fazendo-as contrair e expandir consideravelmente.

4.2.2.3 Ilíticas

Segundo Tubino (2007), as argilas ilíticas são compostas por argilominerais do grupo da illita e constituídas por silicatos hidratados de alumínio, ferro, potássio e magnésio. São Intermediárias entre as cauliníticas e as esmectíticas. A sua estrutura atômica pode ser observada na Figura 8. Tanto as illitas quanto as caulinitas possuem baixo potencial de expansão (MACAMBIRA, 2002).

Figura8 – Estrutura cristalina da Illita



Fonte: Ferreira (2010)

4.2.2.4 Superfície específica dos solos

Caputo (2013) define superfície específica de um solo como sendo a soma das superfícies de todas as partículas contidas na unidade de volume (ou de peso) do solo. Logo, quanto mais fino for o solo, mais partículas esféricas por unidade de volume terá e, conseqüentemente, maior superfície específica, o que constitui umas das razões da diferença entre as propriedades físicas dos solos arenosos e argilosos. No caso dos minerais argílicos, observa-se, na tabela 2, a diferença entre os valores das superfícies específicas:

Tabela 02- Superfícies específicas dos minerais argílicos

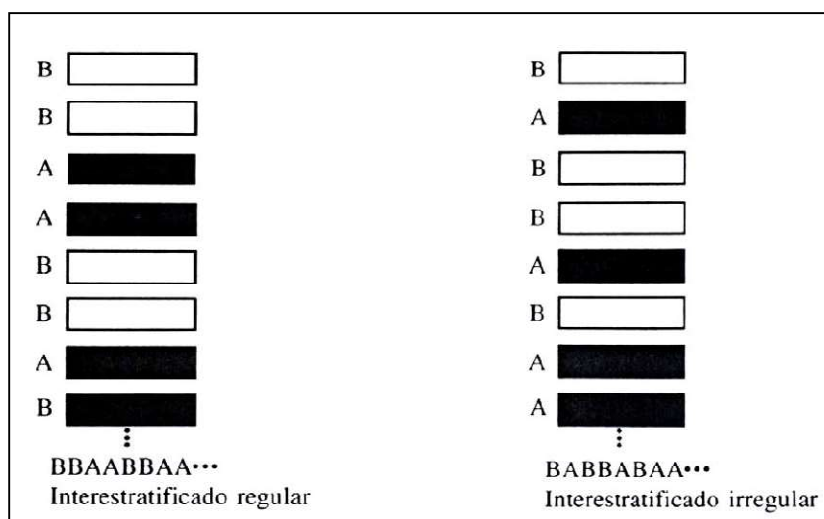
Minerais	Superfície Específica
Caolinita	10 m ² /g
Ilita	80 m ² /g
Montmorilonita	800 m ² /g

Fonte: Caputo (2013)

4.2.3 Interestratificação

Segundo Santos (1998), são considerados interestratificados os minerais compostos por folhetos de naturezas diferentes e dispostos de forma alternada e que estão presentes na maior parte do globo. As principais ocorrências estão entre folhetos de biotita, ilita, montmorilonita, vermiculita, clorita e caulinita. Quando as interestratificações envolvem três ou mais espécies, torna-se difícil a sua identificação na difração de raios X, pois resultam em efeitos difusos.

Bortoluzzi et al. (2007), também afirma que estudos que visam identificar os argilominerais interestratificados são muito difíceis de realização. Programas de computadores, como o *Newmod* e o *DecompRX*, que ajustam curvas nos difratogramas de raios X, têm sido utilizados a fim de identificar argilominerais com distâncias basais muito próximas. Estudos realizados nesse sentido permitiram melhor entendimento da evolução mineralógica de argilominerais em solos. As estratificações podem ocorrer de forma regular ou irregular (Figura 09).

Figura 09- Forma de estratificados regulares e irregulares

Fonte: Bortoluzzi (2007)

4.3 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DAS ARGILAS

Para que se possa manipular os argilominerais ao fim a que se destinam, necessita-se primeiramente analisá-los sob aspectos físico, químico e mineralógico, buscando conhecer as frações granulométricas do material coletado, seu grau de plasticidade, identificar e quantificar as fases presentes na amostra, os elementos químicos existentes, bem como sua proporção. Todas essas informações serão possíveis de serem alcançadas graças aos ensaios que seguem.

4.3.1 Ensaios físicos

4.3.1.1 Análise Residual

Ensaio realizado com o intuito de avaliar a natureza dos resíduos da argila. Para proceder a análise, faz-se necessário 100 g do argilomineral coletado, o qual deve ser seco em estufa (110°C). Em seguida, coloca-se essa argila em defloculador com água e amônia por 24 h. Depois, deve ser lavada na peneira da ABNT 325 e secada em estufa por mais 24 h. Em seguida, o resíduo retido é pesado e é verificada a sua natureza (SOARES, 2008).

4.3.1.2 Granulometria

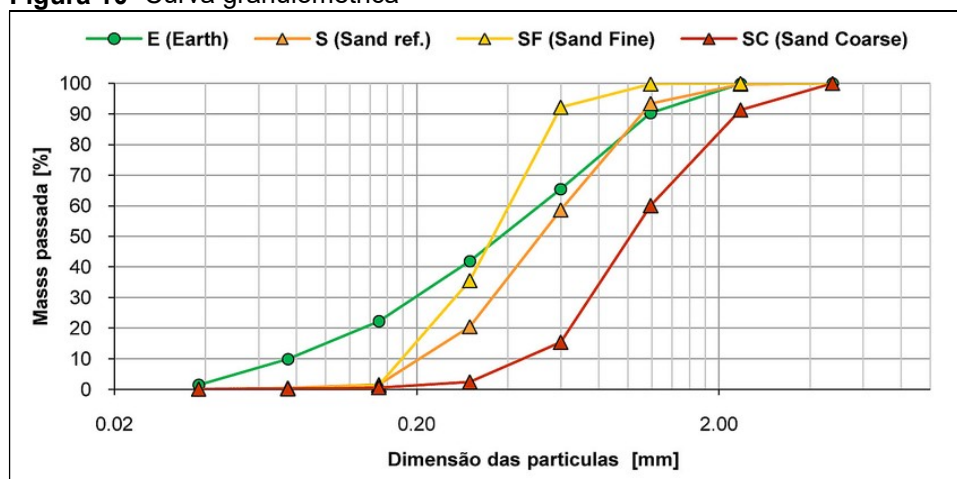
O ensaio de granulometria visa determinar a distribuição granulométrica do solo, ou seja, determinar a percentagem em peso que cada faixa especificada de tamanho de grãos representa na massa seca total utilizada para o ensaio.

Esse ensaio é dividido de acordo com o tipo de solo e conforme as finalidades de cada caso. Há a análise granulométrica por peneiramento e a análise granulométrica por sedimentação. Os solos grossos (areias e pedregulhos) podem ter a sua curva granulométrica inteiramente determinada, utilizando-se somente o peneiramento, independente de possuir pouca ou nenhuma quantidade de finos. Em solos que possuem quantidades de finos significativas, deve-se realizar o ensaio de granulometria conjunta, que engloba as fases de peneiramento e sedimentação.

Através dos resultados obtidos nesse tipo de ensaio, é possível a construção

da curva de distribuição granulométrica (Figura 10), que possui fundamental importância na caracterização geotécnica do solo, principalmente no caso dos solos grossos (NBR-7181/ABNT).

Figura 10- Curva granulométrica



Fonte: Lima (2016)

4.3.1.3 Ensaio de Plasticidade

Segundo Caputo (1989), plasticidade é a propriedade que os solos têm de serem moldados, sob certas condições de umidade, sem variação de volume e sem ruptura.

Os teores de umidade correspondentes às mudanças de estado sólido, semi-sólido e líquido, são definidos através de dois limites: limite de liquidez, limite de plasticidade.

O limite de liquidez (LL) é determinado através do método do Aparelho Casagrande, seguindo as recomendações da NBR 6459/84 da ABNT. Equivale ao teor de umidade no qual, uma ranhura feita numa porção de solo, disposto em uma concha metálica, se fecha após 25 golpes, a uma velocidade constante (ALMEIDA 2015).

Esse limite também pode ser entendido como a máxima quantidade de água que a argila pode conter para ainda ser moldável.

Segundo Júnior (2015), o limite de plasticidade (LP) indica a quantidade de água mínima que a argila deve conter para ser conformada (moldada). Conforme a NBR 7180/ da ABNT, refere-se ao teor de umidade no qual um cilindro de solo

executado com a palma da mão, por meio de movimentos regulares de vaivém, sobre uma placa de vidro fosco, começa a fissurar ao atingir dimensões padrões: $\theta = 3$ mm, e $L = 10$ cm.

A diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade é conhecida como índice de plasticidade ($IP = LL - LP$).

Para Pinto (2010), por meio do resultado obtido é possível saber se determinada matéria-prima possui menor ou maior quantidade de materiais argilosos. O índice de plasticidade procura medir a plasticidade do solo a partir de parâmetros estabelecidos, como na Tabela 03.

Tabela 03- Parâmetros de Plasticidade

Índice de Plasticidade	Parâmetros
$IP = 0$	Não Plástico
$1 < IP < 7$	Pouco Plástico
$7 < IP < 15$	Plasticidade Média
$IP > 15$	Muito Plástico

Fonte: Pinto (2010)

Segundo Bauer (2000) e Gomes (1988), a composição mineralógica da própria matéria-prima, dimensões e formato das partículas, bem como a presença de outros minerais e impurezas (matéria orgânica), além dos argilominerais (quartzo) interferem na plasticidade das argilas.

4.3.2 Ensaio Químico

4.3.2.1 Fluorescência de Raios X – (FRX)

A fluorescência de raios X é uma técnica não destrutiva que permite, a partir de uma análise qualitativa e quantitativa, identificar os elementos químicos presentes numa amostra e estabelecer a proporção em que se encontra cada elemento presente (SANTOS, 1989).

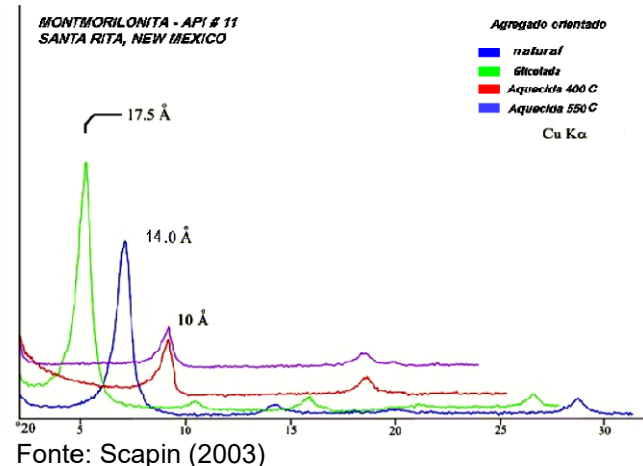
4.3.3 Ensaios Mineralógicos

4.3.3.1 Difração de Raios X (DRX)

Esse tipo de ensaio permite a identificação das fases cristalinas, seu uso não é indicado para materiais semicristalinos ou amorfos, visto que esta análise só consegue identificar fases cristalinas (ACCHAR, 2006).

Segundo Scapin (2003), a difração de raios X é a técnica mais apropriada para determinar as fases cristalinas, tendo em vista que na maioria dos cristais, os átomos se ordenam em planos cristalinos, separados entre si por distâncias da mesma ordem de grandeza dos comprimentos de onda dos raios X. Essa técnica apresenta vantagens em relação aos outros métodos, devido à agilidade na preparação das amostras, na confiabilidade dos resultados, na possibilidade de análise de materiais compostos por uma mistura de fases, bem como na análise quantitativa destas fases. A Figura 11 apresenta os diferentes padrões DRX para a montmorilonita.

Figura 11 – Padrão DRX para a montmorilonita: situação natural, solvatada em etileno glicol e aquecida a 400 e 550°C.



4.3.4. Análise Racional

A análise racional é uma técnica que permite quantificar, através dos resultados da DRX e FRX, a fração de cada fase cristalina identificada no difratograma de raios X (SOARES, 2008).

4.3.5 Ensaio Microestrutural

4.3.5.1 Microscopia Eletrônica de Varredura – (MEV)

A observação e a análise de características microestruturais de objetos sólidos é realizada através do microscópio eletrônico - MEV, que é um dos mais versáteis instrumentos disponíveis. Sua característica mais importante é a aparência tridimensional da imagem das amostras, resultado direto da profundidade de campo. Permite, também, o exame em pequenos aumentos e com profundidade de foco, o que é extremamente útil, pois a imagem eletrônica complementa a informação dada pela imagem óptica (DEDAVID, 2007).

O microscópio eletrônico é capaz de fazer ampliações que permitem fazer investigações de constituintes estruturais muito finos ou pequenos. A imagem da estrutura investigada é formada através de lentes magnéticas, utilizando-se feixes de elétrons em lugar de radiação luminosa (CALLISTER, 2002).

4.4 IMPERMEABILIZAÇÃO DE RESERVATÓRIOS

4.4.1 Impermeabilização Natural

Considera-se impermeabilização natural quando se utiliza o próprio solo local como barreira para minimizar a infiltração de água nos reservatórios de contenção.

Segundo Mazerine (2002), esse tipo de impermeabilização é realizado com solos que possuem baixa condutividade hidráulica, geralmente menor que 1×10^{-7} cm/s e com alta porcentagem de argila. O fator que pode influenciar no comportamento hidráulico do solo é o tipo de argilomineral que constitui este solo.

No caso das argilas de origem montmoriloníticas, as moléculas de água entram facilmente entre as camadas, fazendo-as contrair e expandir consideravelmente, apresentando baixa condutividade hidráulica. Já as caulinitas e as ilitas possuem baixo potencial de expansão, dessa forma, é mais apropriada para execução das barreiras impermeáveis.

Para Leme (2013), os solos naturais, como as argilas, argilas siltosas e siltes

argilosos, de baixo coeficiente de permeabilidade, quando compactados, possuem potencial para serem boas barreiras impermeabilizantes. Dentre os principais argilominerais, a caulinita é considerada um material com fraco potencial de retenção de água ou outros líquidos orgânicos, pois possui baixa eletronegatividade e baixa capacidade de troca catiônica, ou seja, torna-se plástica para teores de umidade relativamente baixos.

Segundo o mesmo autor, os argilominerais do grupo esmectita, como as montmorilonitas, fornecem alto potencial de retenção de água e expansibilidade devido à introdução de moléculas de água ou de outros líquidos orgânicos em sua estrutura, pois possuem elevadas cargas negativas e capacidade de troca catiônica. Já as ilitas são minerais de moderadas eletronegatividade, capacidade de troca catiônica e plasticidade, logo são pouco expansíveis na presença de água ou líquidos orgânicos.

Piedade Júnior (2003), citado por Leme (2013) adverte que se deve ter precaução quanto ao uso de materiais de alta plasticidade, pois nesse tipo de material é passível a formação de torrões duros quando o solo está seco e torrões gomados (pegajosos) quando o solo está úmido, tornando difícil o manejo desses solos em campo.

4.5 CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DOS SOLOS

Segundo Lukiantchuki (2007), o estudo da condutividade do solo é importante em todos os casos em que ocorre o fluxo de água nesse meio, principalmente, quando se trata de barreiras impermeabilizantes, pois é fator decisivo na escolha do material, posto que é necessário, nesses casos, utilização de materiais de baixíssima condutividade hidráulica.

De acordo com a mesma autora, a condutividade hidráulica de um solo varia de acordo com os vazios presentes no material e ela será tanto menor, quanto menor for o tamanho das partículas que constituem esse solo.

A Tabela 4 a seguir, mostra valores típicos de condutividade hidráulica de acordo com o material.

Tabela 4- Valores típicos de condutividade Hidráulica

Tipo de material	Condutividade hidráulica (cm/s)
Argilas	Menor 10^{-9}
Siltos	$10^{-8} - 10^{-9}$
Areias Argilosas	10^{-7}
Areias Finas	10^{-5}
Areias Médias	10^{-4}
Areias Grossas	10^{-6}

Fonte: Pinto (2000)

Segundo Oliveira (2001), a condutividade hidráulica saturada de sedimentos argilosos depende das propriedades dos líquidos e das propriedades dos argilominerais presentes nos meios porosos.

Existem alguns parâmetros que têm influência direta na condutividade hidráulica, tais como: o índice de vazios, o grau de saturação, o grau de compactação, o teor de umidade, o tipo de argila, a sua densidade compactada, o grau de floculação e a dispersão das plaquetas de argila, bem como a composição mineralógica. Na Tabela 5, pode-se observar a relação da condutividade hidráulica com o tipo de argilomineral e o índice de plasticidade.

Tabela 5- Condutividade hidráulica dos argilominerais

Argilomineral	Índice de Plasticidade (IP)	Condutividade Hidráulica (cm/s)
Caulinita	20	$1,5 \times 10^{-6}$
Ilita	60	$2,0 \times 10^{-9}$
Montmorilonita	500	$1,0 \times 10^{-11}$

Fonte: Lukiantchuki (2007).

4.6 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA - SIG

Segundo Câmara (1998), um SIG representa um conjunto de "ferramentas" computacionais especializadas em adquirir, armazenar, recuperar, transformar e emitir informações espaciais. Suas principais características são integrar e combinar, numa única base de dados, as informações espaciais com as informações literais, como, cadastro de censo e cadastro urbano, gerando, a partir daí uma diversidade de produtos, como mapas temáticos, que poderão ser gerenciados, analisados, consultados e plotados.

De acordo com Calazans (2000), ao se implantar um SIG, busca-se uma melhor organização dos dados, através de um banco de dados georreferenciado, este pode ser compartilhado com outros usuários, obtendo assim, diferentes informações intrínsecas a esses dados e de forma mais rápida.

4.6.1 QGIS - Ferramenta de SIG

O Quantum Gis (QGis) é um sistema de informação geográfica livre e aberto, licenciado, segundo a Licença Pública Geral GNU. Trata-se de um projeto oficial da *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo) e funciona em *Linux, Unix, MacOSX, Windows* e *Android* e suporta inúmeros formatos de vetores, *rasters* e bases de dados e funcionalidades, tais como: visualizar, gerir, editar, analisar dados e criar mapas para impressão(QGIS.ORG, 2019)

5. METODOLOGIA DA PESQUISA

5.1 TIPOS DE PESQUISA

Quanto à abordagem, a pesquisa é considerada quantitativa, pois os resultados obtidos serão analisados de maneira objetiva. Para Fonseca (2002), a pesquisa quantitativa é centrada na objetividade, a análise dos dados é realizada por meio de procedimentos matemáticos e estatísticos e os resultados obtidos podem ser quantificados.

Quanto à natureza, a pesquisa é aplicada, somando os conhecimentos teóricos à prática, objetivando determinar um material alternativo capaz de ser aplicado como impermeabilizante em reservatório de água, para vários fins, contribuindo para o desenvolvimento sustentável das comunidades rurais.

A pesquisa, quanto aos objetivos, possui caráter exploratório, pois foi realizada por meio de investigação, coleta, exploração e caracterização da argila enquanto matéria prima, procurando contribuir com acervo de informações a respeito do que se busca determinar.

Quanto aos procedimentos, trata-se de uma pesquisa experimental, realizada tanto em campo, como em laboratório. Isso porque o pesquisador necessitou coletar a matéria prima, objeto de estudo, diretamente na natureza e, posteriormente, trabalhar com os ensaios em laboratório.

5.2 UNIVERSO E AMOSTRA

Considerou-se, para a realização desta pesquisa, o universo das argilas naturais presentes no Estado do Piauí e do Maranhão.

Para a amostragem, em primeiro lugar, delimitou-se, virtualmente, uma superfície de 50 km de raio, com área equivalente a $7.885,89 \text{ Km}^2$, inserida na região da Grande Teresina, onde foram coletadas as 33 amostras de argilas. O centro geométrico, da referida área, está localizado no cruzamento das Avenidas Joaquim Nelson e Noé Mendes, no bairro Dirceu, em Teresina-PI, de coordenadas geográficas: Latitude $-5^{\circ}06'29,60''$ e Longitude $-42^{\circ}45'08,41$, ambas referenciadas ao Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas - SIRGAS2000 (Imagem 1).

Imagem 1- Limite geográfico do estado do Piauí e parte do Maranhão com a delimitação da abrangência da pesquisa.



Fonte: Google Earth (2017)

É salutar informar que a escolha do referido centro geométrico teve como critério a incorporação do município de Timon na área de abrangência da pesquisa, pois ele é parte constituinte da região da Grande Teresina.

Na imagem 2, pode-se observar todos os municípios que estão dentro da área de abrangência da pesquisa.

Imagem 2- Destaque dos municípios inseridos na área de abrangência da pesquisa.



Fonte: Google Earth (2017)

5.3 MÉTODOS E TÉCNICAS DOS ENSAIOS FÍSICOS, QUÍMICOS E MINERALÓGICOS

Objetivando identificar os locais de coleta de argila, buscou-se, a priori, identificar na base de dados georreferenciada do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA, a localização dos Projetos de Assentamentos existentes dentro e próximos da área de abrangência.

A fim de verificar a incidência de material argiloso nas proximidades dos Assentamentos e dentro da área de abrangência, foi consultada a base cartográfica da Agência Nacional de Mineração - ANM e fez-se *download* dos *shapes* das áreas de argilas (requeridas e já licenciadas) para posterior cruzamento de dados.

Após análise espacial da situação, foram selecionados os locais de coleta do material a ser estudado. Complementar a estes, outros locais de coleta utilizados foram baseados no conhecimento e experiência do orientador desta pesquisa, o geólogo e professor, Dr. Érico Rodrigues Gomes.

5.3.1- Coletas de Argilas

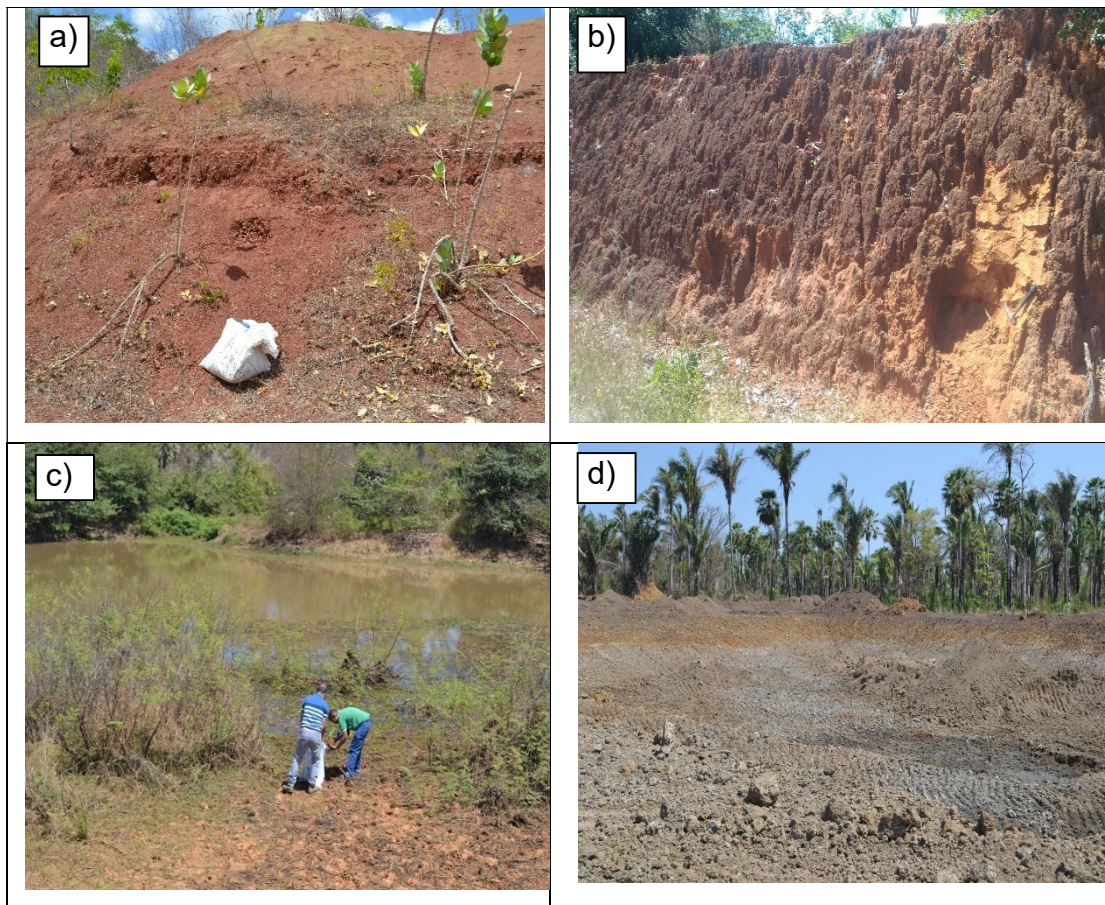
Após identificação das áreas prioritárias, deu-se início à coleta do material. Ao todo foram coletadas 33 amostras de argilas, em diferentes localidades e municípios. Buscou-se tanto argilas de morro, quanto de várzea.

As coletas ocorreram, precisamente, nos dias 10/11/2017, 23/05/2018, 04/09/2018, 16/09/2018, 03/10/2018, 18/10/2018, 09/11/2018, finalizando em 19/03/2019.

Na oportunidade, foram realizados registros fotográficos, observações quanto aos aspectos e descrições geológicas, bem como assinaladas as coordenadas geográficas dos pontos de extração, utilizando um GPS de navegação da marca *Garmim*, visando georreferenciá-los ao Sistema Geodésico Brasileiro – SGB, para subsidiar a construção de um Sistema de Informações Geográfica – SIG.

As Figuras 12a, 12b, 12c e 12d, registram uma vista panorâmica dos locais onde foram coletadas as amostras de argila nos municípios de José de Freitas, Nazária, Teresina (Piauí) e Timon (Maranhão).

Figura 12a) – Argilito coletado em José de Freitas; **12b)** - argila coletada em Nazária; **12c)** argila de várzea do rio Parnaíba em Timon **12d)** – argila de várzea do rio Parnaíba em Teresina.



Fonte: Autoria Própria (2018)

De posse das amostras adquiridas (Figura 13), estas foram levadas ao Laboratório de Materiais Cerâmicos do Programa de Pós-Graduação do IFPI, objetivando proceder com todos os ensaios necessários a um estudo detalhado e criterioso.

Figura 13- Porção de algumas amostras de solo coletado



Fonte: Autoria Própria (2018)

5.3.2- Análise Residual

Após a realização das coletas das amostras, todo material foi separado em porções de aproximadamente 700 g (Figura 14) e em seguida colocado na estufa da marca MARO Labor, a uma temperatura de 110°C, por 24 h para secagem completa (Figura15).

Figura 14- Porções selecionadas das amostras



Fonte: Autoria Própria (2018)

Figura 15- Estufa contendo material a 110°C



Fonte: Autoria Própria (2018)

Após retirado o material da estufa, pesou-se uma alíquota de 100 g em uma balança de precisão, da marca Bel, de propriedade do IFPI, objetivando, a princípio,

o ensaio de Análise Residual, visto que a preparação da amostra serviu de base, também, para realização de outros ensaios, os quais serão demonstrados na sequência.

Após a pesagem, a porção foi colocada dentro de um defloculador contendo água e amônia por aproximadamente 24 h (Figura 16).

Figura 16- Defloculação da argila em água e amônia



Fonte: Autoria Própria (2018)

Transcorrido o tempo necessário, o material foi lavado em água corrente na peneira nº 325 da ABNT (Figura 17), até a retirada de toda fração de finos ($<0,005$ mm) equivalente à argila. O resíduo retido na peneira foi levado novamente à estufa, por mais 24 h, para obtenção do peso seco e determinação da porcentagem da argila presente na amostra.

Figura 17- Lavagem da argila na peneira da ABNT 325

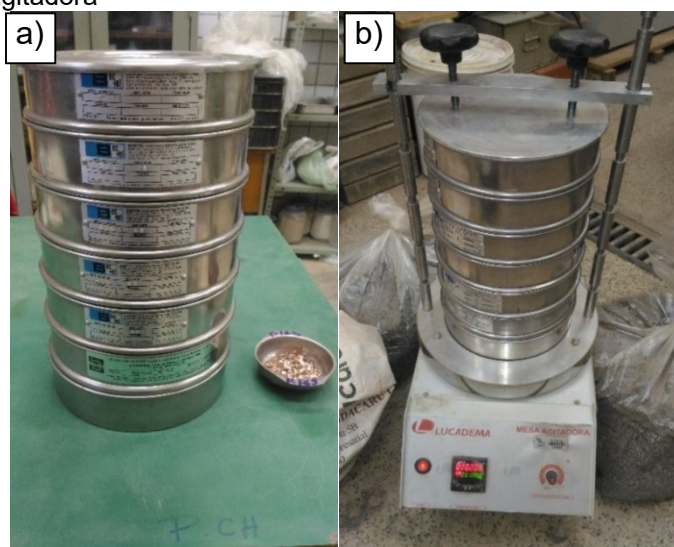


Fonte: Autoria Própria (2018)

5.3.3- Ensaio de Granulometria

O ensaio de granulometria foi realizado com o resíduo da argila retido na peneira nº 325 da ABNT, proveniente do ensaio de análise residual, acima mencionado. Tal resíduo foi pesado a priori e, em seguida, colocado em 6 peneiras, série da ABNT (Figuras 18a e 18b), de cima para baixo, em ordem crescente, de maior abertura das malhas, conforme sequência: 16, 25, 45, 60, 80 e 100, seguido do fundo.

Figura 18a- série de peneiras da série ABNT **e18b-** mesa agitadora



Fonte: Autoria Própria (2018)

As peneiras foram agitadas por 20 minutos em uma mesa agitadora da marca Lucadema e depois o material retido em cada peneira foi devidamente pesado e ensacado (Figura 19) para posterior confecção da curva granulométrica.

Figura 19- Material pesado retido nas peneiras



Fonte: Autoria Própria (2018)

5.3.4- Ensaio de Plasticidade

Para realização dos ensaios de Limite de Liquidez e Plasticidade, inicialmente, seguiu-se a orientação da NBR 6457, quanto aos procedimentos a serem adotados no preparo das amostras. Seguindo a recomendação, foi passado aproximadamente 400 g do material pela peneira 0,42 mm da ABNT, de modo a conseguir uma porção equivalente a 200 g. Quantidade também recomendada pela referida norma.

No caso dos argilitos, necessitou-se, primeiramente, moer o material em um moinho de bolas (Figura 20), por um período de 24 h, objetivando diminuir o tamanho dos grãos, de forma a facilitar passarem na peneira de número 200, granulometria necessária para realização dos ensaios de FRX, DRX e MEV.

Figura 20- Moinho de Bolas

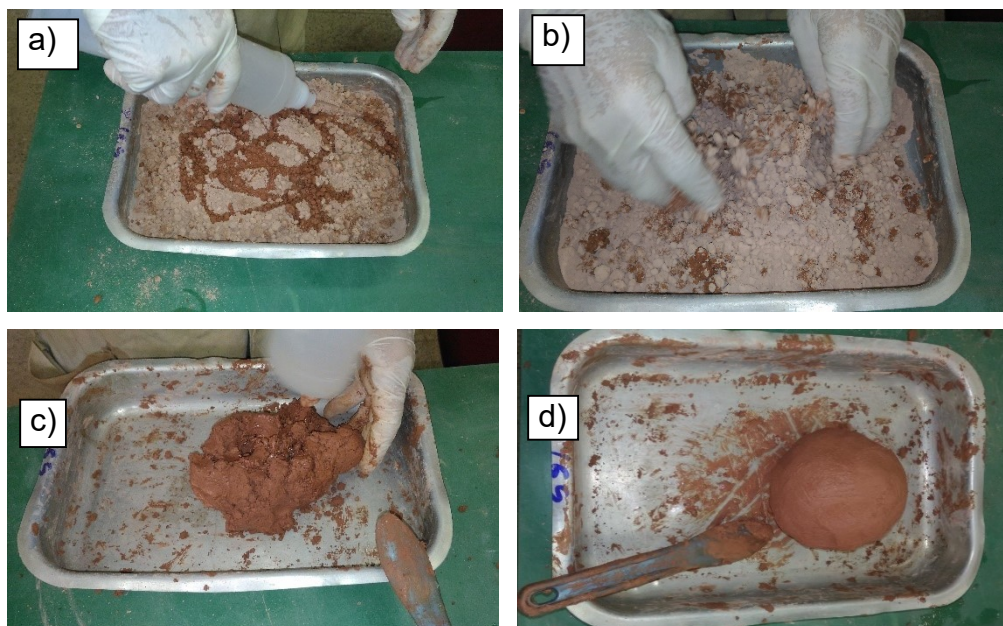


Fonte: Autoria Própria (2018)

5.3.4.1- Limite de Liquidez

Depois de a amostra ter sido preparada de acordo com a NBR 6457, separou-se a metade e colou-se em um recipiente. Aos poucos, foi-se adicionando água destilada e amassando até obtenção de uma massa homogênea, conforme demonstrado nas Figuras 21a, 21b, 21c e 21d. Em seguida, tomaram-se os devidos cuidados para a massa não perder umidade para o meio, antes de proceder ao ensaio.

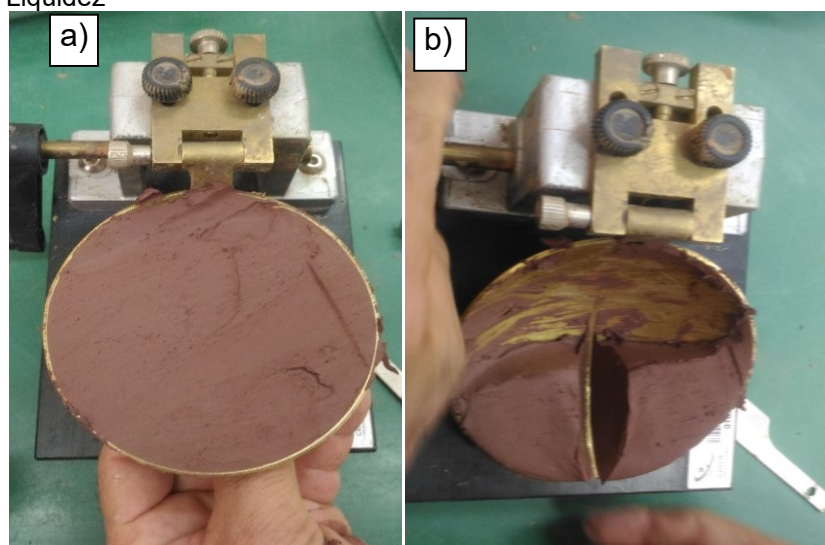
Figuras 21a b c e d- etapas de preparação da massa para realização do ensaio de liquidez.



Fonte: Autoria Própria (2018)

Passado o tempo de homogeneização e as devidas calibrações do aparelho, foi colocada uma porção na concha e moldada de forma a obter na parte central a espessura de 1 cm, conforme Figuras 22a e 22b abaixo. Todos os outros procedimentos subsequentes seguiram a NBR 6459/84, até obtenção do resultado. Entende-se por Limite de Liquidez (LL) a quantidade máxima de água que a argila pode conter para ainda ser moldável.

Figura 22- Aparelho Casagrande para determinação do Limite de Liquidez

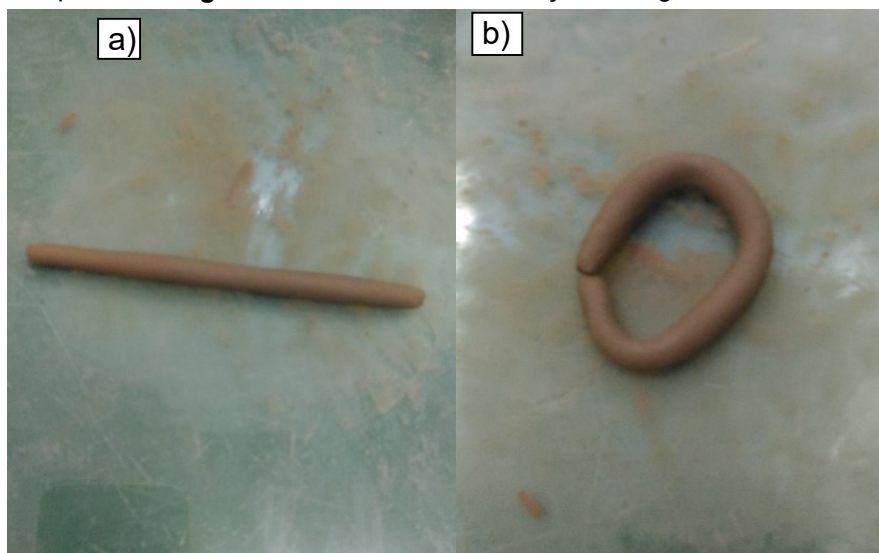


Fonte: Autoria Própria (2018)

5.3.4.2- Limite de Plasticidade

O limite de plasticidade (LP) indica a quantidade de água mínima que as argilas devem conter para serem conformadas. Para proceder o ensaio, tomou-se a outra metade da amostra já preparada de acordo com a NBR 6457 e separou-se aproximadamente 10 g. Com a palma das mãos, fez-se uma bola e sobre uma superfície lisa procurou-se fazer um cordão de 3 mm de espessura por 10 mm de comprimento. Observando sempre se a quantidade de água presente era suficiente para que fosse conformada, em atendimento a NBR 7180 (Figura 23 a e b).

Figura 23a- Cordão de argila com 3 mm de espessura e 10 mm de comprimento. **Figura 23b-** Teste de conformação da argila.



Fonte: Autoria Própria (2018)

Ao atingir as condições estabelecidas pela norma, a amostra foi colocada num recipiente e levada a estufa para determinação da umidade.

De posse dos resultados dos Limites de Liquidez e Plasticidade, procedeu-se a diferença algébrica entre eles, visando obter o índice de plasticidade (IP), a fim de estabelecer parâmetros e enquadrar as argilas, em cada caso, classificando-as em não plástica, pouco plástica, medianamente plástica e altamente plástica.

5.3.5- Ensaio de Fluorescência de Raios X – FRX

Para verificação da composição química das amostras, utilizou-se o equipamento Espectrômetro por Fluorescência de Raios X, modelo Epsilon 3, da

fabricante PANalytical (Figura 24). O ensaio foi realizado no Laboratório de Engenharia de Materiais do Instituto Federal do Piauí – IFPI.

Figura 24- Espectrômetro por Fluorescência de Raios X



Fonte: RITM Insdustry (2019)

Ressalta-se que as matérias-primas utilizadas foram moídas até granulometria inferior a 325 mesh ($44\mu\text{m}$) e preparadas e acopladas ao equipamento, segundo instruções do fabricante, como demonstrado na Figura 25.

Figura 25- Preparação da amostra para realização do FRX



Fonte: Autoria Própria (2018)

5.3.6- Ensaio de Difração de Raios X – DRX

Os difratogramas de raios x foram obtidos a partir de um equipamento pertencente ao laboratório de Engenharia de Materiais do IFPI, modelo *Empyrean*, que é um difractômetro, com varredura de 2 ° a 80 ° para 2 θ (Figura 26).

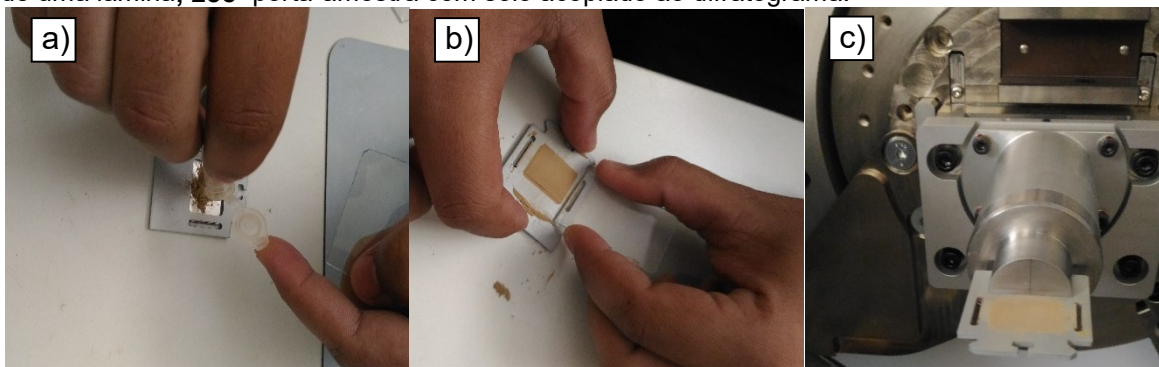
Figura 26- Difratograma de raios X



Fonte: Autoria Própria (2018)

As amostras dos solos analisados foram previamente moídas e passadas na peneira nº 200, série ABNT. Todas as etapas e procedimentos para preparo da amostra e identificação das fases cristalinas seguiram as devidas orientações do manual do fabricante. Algumas dessas etapas estão apresentadas através das Figuras 27 a, b,c.

Figura 27a- solo sendo colocado no porta-amostra; **27b-** retirada dos excessos do solo com auxílio de uma lâmina; **28c-** porta-amostra com solo acoplado ao difratograma.

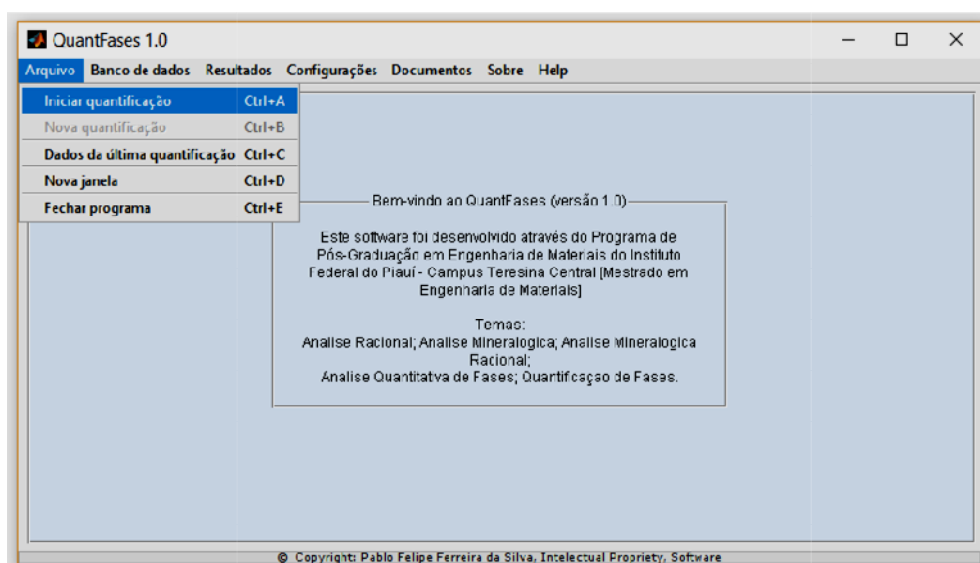


Fonte: Autoria Própria (2018)

5.3.7- Ensaio de Análise Racional

De posse dos resultados do FRX e DRX, passou-se à análise conjunta dos dados, utilizando o software QuantFases, versão 1.0, desenvolvido por Pablo Felipe Ferreira da Silva, de acordo com as especificações constantes na interface inicial apresentada (Figura 28).

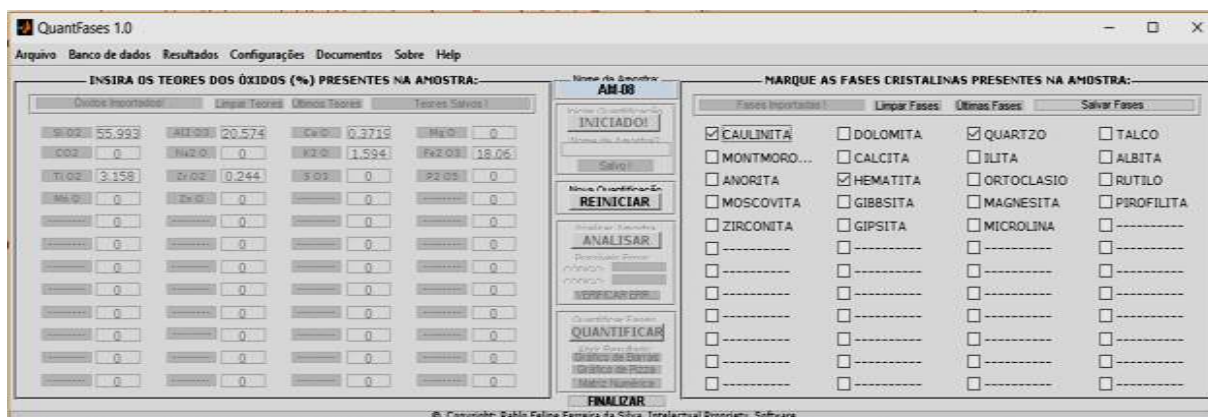
Figura 28- Interface inicial do software QuantFases



Fonte: (SILVA, 2015)

A Figura 29 demonstra a inserção, no QuantFases, dos teores dos óxidos contidos na amostra AM-08 (valores extraídos do FRX), bem como das fases selecionadas no DRX, possibilitando, ao final, a quantificação das fases, ou seja, a informação dos percentuais de cada uma das fases presentes.

Figura 29- Telas de inserção dos teores e indicação das fases presentes na amostra AM-08



Fonte: (QUANTFASES, 2019)

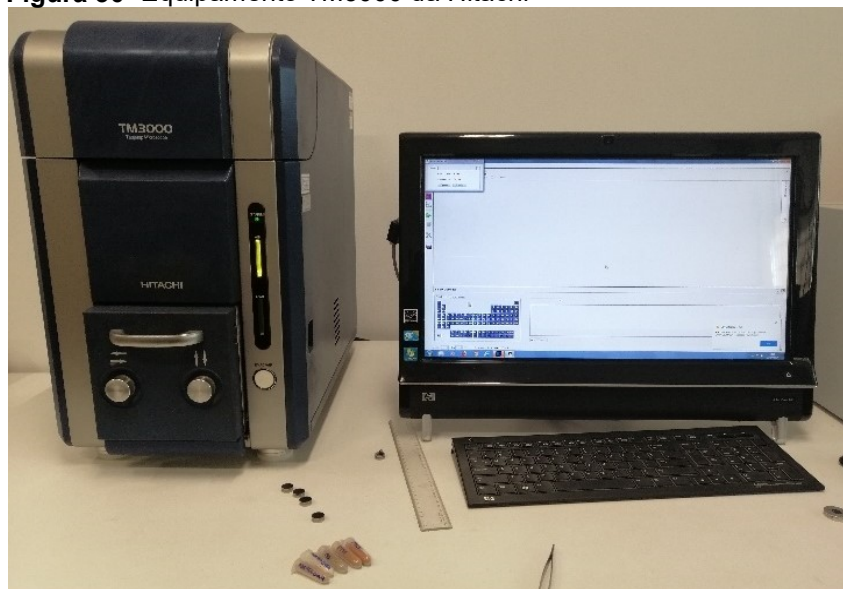
5.3.8- Ensaio de Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV

Para realização das análises de Microscopia Eletrônica de Varredura, recorreu-se ao laboratório LME do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará-UFC, em virtude de problemas técnicos ocorridos com o equipamento do laboratório do Programa de Mestrado de Engenharia de Materiais do IFPI.

Por contadas dificuldades encontradas para realização dos ensaios de FRX e MEV, o número de amostras foi reduzido. O critério de seleção utilizado foi a porcentagem de finos presentes na amostra (alta, média e baixa), o índice de plasticidade, a proximidade com assentamentos e a formação geológica diferente.

As análises no microscópio eletrônico de varredura (MEV) foram realizadas em um equipamento portátil, de propriedade da UFC (Figura 30), modelo TM3000 da HITACHI, o qual, depois de calibrado, tem a possibilidade de ampliar até 30 mil vezes o material e opera com aceleração variável (5 kV e 15 kV) e detector de elétrons retroespalhados e EDS (SWIFTED3000).

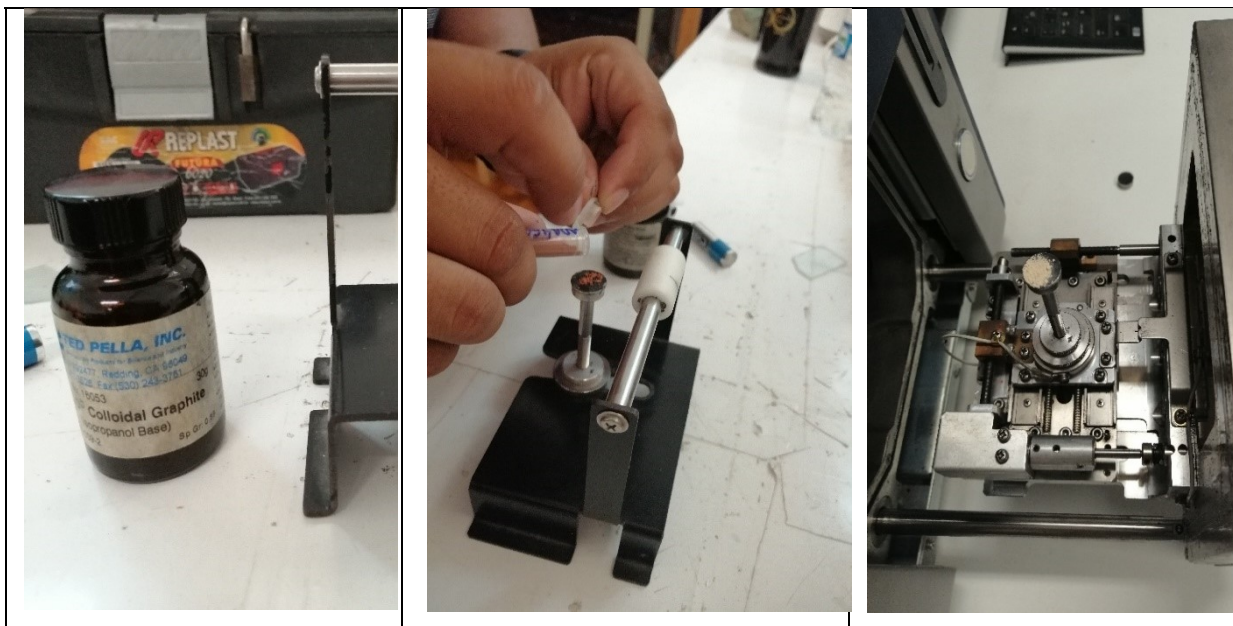
Figura 30- Equipamento TM3000 da Hitachi



Fonte: Autoria Própria (2018)

Antes do ensaio de microscopia, as amostras foram tratadas com grafite coloidal, buscando uma maior condutibilidade (Figuras 31).

Figura 31- Preparação da amostra para realização da Microscopia.



Fonte: Autoria Própria (2018)

5.4 – ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO E IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO

A quantidade de água que infiltra no solo pode ser determinada a partir de diversas metodologias, isso dependerá especificamente dos objetivos pretendidos (FAGUNDES et al., 2012).

Segundo Gondim et al. (2010), citado por Pereira et al. (2015), a infiltração da água no solo é um processo dinâmico de penetração vertical, que visa, dentre outras coisas, planejar e delinear o sistema de irrigação e drenagem, bem como auxiliar na composição de uma situação real de retenção da água e aeração no solo.

Como um dos objetivos desta pesquisa é identificar um solo de base argilosa, capaz de impermeabilizar reservatórios de água, idealizou-se um reservatório de dimensões reduzidas, para analisar e comparar a velocidade de infiltração da água no solo. Para tanto, utilizou-se um reservatório sem revestimento e os outros revestidos com as amostras de argila selecionada. Buscou-se, com isso, comparar o potencial de impermeabilização das argilas.

No entanto, achou-se relevante conhecer, a princípio, o tipo de solo no qual seriam realizados os ensaios de infiltração, para posteriormente comparar os resultados obtidos. Diante disso, resolveu-se realizar um teste de sondagem do solo, à trado, para obter suas características físicas, e o ensaio de infiltração, pelo método do infiltrômetro de anéis, método simples e prático que permite determinara

velocidade de infiltração, como idealizado por Bernardo et al. (1984), e por último, fez-se o teste de impermeabilização com as argilas.

5.4.1 – Caracterização da área dos ensaios

A escolha da área justifica-se pelo fato de a autora conhecer o imóvel e ter percebido o comportamento do solo durante os períodos chuvosos, considerando-o ideal para realização dos testes. Trata-se uma área pertencente ao Centro Universitário Santo Agostinho - UNIFSA, situado na Avenida Presidente Kennedy, localizada no município de Teresina-PI, de coordenadas geográficas, latitude e longitude respectivamente igual a 5°02'26.53"S, 42°45'55.49" W (Imagem 3).

De acordo com a Köppen e Geiger, a região possui um clima tropical, cuja temperatura média anual é de 27.6°C e a pluviosidade média anual, de 1349 mm.

Imagem 3- Local de realização dos ensaios



Fonte: Google Earth (2019)

5.4.2 - Ensaio de sondagem à trado

Em março de 2019, próximo ao local dos ensaios de infiltração e impermeabilização, foi realizado a sondagem à trado do terreno, buscando conhecer as características físicas do solo e, posteriormente, fazer a classificação. A

metodologia aplicada foi baseada na orientação da NBR 6457:2016. A Figura 32 demonstra algumas etapas do ensaio.

Figura 32– Etapas de coleta de material para sondagem do solo do local a ser impermeabilizado com as argilas



Fonte: Autoria Própria (2019)

Após coleta do material, este foi levado para o Laboratório de Materiais da UNIFSA, onde procedeu-se a análise.

5.4.3 - Ensaio do infiltrômetro de anéis concêntricos

O referido ensaio foi realizado em abril de 2019, próximo ao local do teste de impermeabilização. Para a realização dele, foram utilizados dois anéis concêntricos: um de 25 cm de diâmetro e o outro de 50 cm, ambos com 30 cm de altura. Tais anéis foram enterrados a 15 cm no solo, o anel interno foi coberto com um plástico fino, para evitar uma infiltração instantânea ao adicionar a água.

Após a colocação da água nos dois anéis, o plástico foi retirado cuidadosamente. Com auxílio de uma régua graduada, também enterrada no centro do anel interno, foram sendo realizadas, num dado intervalo de tempo, as leituras da lâmina de água, somente no cilindro interno, pois o externo foi utilizado apenas para que fosse neutralizado o efeito da infiltração lateral (Figura 33a, b, c, d). A metodologia utilizada seguiu a orientação do Manual de Orientação: Irrigação e Drenagem do MEC/FAE (1987).

Figura 33a – enterrando os anéis no solo. **Figura 33b**- colocação do plástico no anel interno.



Fonte: Autoria Própria (2019)

Figura 34c– adição de água no anel interno e retenção do plástico; **d**- leitura na régua milimetrada



Fonte: Autoria Própria (2019)

Os dados obtidos foram usados na determinação empírica da velocidade de infiltração básica (VIB), por meio da equação proposta por Kostiakov, citada por Pereira(2015) e demonstrada a seguir:

$$I = k \cdot T^n$$

Eq. (1)

Em que,

I - Infiltração acumulada;
 k - constante dependente do solo;

T - Tempo de infiltração;
 n – coeficiente que depende do solo (adimensional), variando de 0 a 1 em valor absoluto.

Para determinar os coeficientes e expoentes das equações potenciais utilizou-se o método de regressão linear. Aplicados os logaritmos nos dois lados da equação potencial, tem-se a equação 2:

$$\log I = \log a + n \cdot \log T$$

Eq. (2)

Com a aplicação dos logaritmos, a equação potencial é transformada em uma equação linear do tipo $I = A + BX$, em que:

$$B = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \cdot \sum Y}{N}}{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}}$$

Eq. (3)

$$A = \bar{Y} - B \cdot \bar{X}$$

Eq. (4)

Y - representa a infiltração acumulada;

X - o logaritmo do tempo

N - é o número de leituras

A - utilizado para se obter a constante da equação de infiltração acumulada

B - utilizado como coeficiente na equação de infiltração acumulada “a”.

Logo a velocidade de infiltração básica é dada por:

$$VIB = k \cdot T^n$$

Eq. (5)

Em que $K = 10^A$

De acordo com Bernardo et al. (2006) *apud* Fagundes et al. (2017), os valores de VIB, segundo a textura do solo, podem ser: arenosa quando de 25 a 250 mm/h, franco-arenosa de 13 a 76 mm/h, franco-arenosa-argilosa de 5 a 20 mm/h e franco-argilosa: 2,5 a 15 mm/h.

5.4.4 - Ensaio de impermeabilização

Considerando que o objetivo precípua dessa pesquisa é identificar um solo de base argilosa, capaz de impermeabilizar reservatórios de água, procurou-se idealizar reservatórios prismáticos de dimensões reduzidas, a fim de analisar a infiltração da água no solo, após este ser impermeabilizado com as amostras selecionadas.

Diante disso e considerando que não foi encontrado, nas bibliografias consultadas, um método específico que se adequasse ao que se pretendia, procurou-se desenvolver um método totalmente empírico, mas que fosse exequível e que evidenciasse um resultado real e seguro.

Perante isso e tomando como parâmetros os diâmetros dos anéis usados no teste da infiltração, decidiu-se realizar 4 (quatro) cavas prismáticas de dimensões (40 x 40 x 30 cm de profundidade), com uma delas sem revestimento e as outras revestidas com argila. Buscou-se, com isso, verificar e comparar as velocidades de infiltrações e a consequente manutenção da água nas cavas, após um determinado período.

Em relação às espessuras dos revestimentos nas paredes e no fundo das cavas, padronizou-se que todas as cavas tivessem 5 cm de revestimento no fundo e 1cm nas paredes, com exceção de uma das cavas, a sem revestimento.

Procurando dar um tratamento adequado às amostras, deu-se procedimento à moagem, procurando uniformizar a granulometria das amostras para facilitar tanto a trabalhabilidade, a aplicação e a impermeabilização.

Dentre as 33 (trinta e três) amostras de argila coletadas e caracterizadas, foram selecionadas, para realização dos ensaios de impermeabilização, as amostras denominadas AM-02 (código P122- localizada em José de Freitas); AM-08 (código P167- localizada em Nazária) e AM-14 (código P173- Timon)

Procurando manter o resultado o mais fidedigno possível e avaliar o comportamento das argilas em diferentes meses e condições climáticas, foram realizados 03 (três) ensaios, utilizando as mesmas amostras e o mesmo terreno. O primeiro ensaio ocorreu no mês de maiores precipitações (março), num período de alta precipitação. Os outros 02 (dois) foram realizados no mês de outubro, em pleno B-R-O-BRÓ (período das mais altas temperaturas em Teresina).

5.4.4.1 - Preparação das amostras

As argilas foram moídas nas instalações do Laboratório de Ensaios Tecnológicos de Argila- LETA, do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial- SENAI (Figura 35) utilizando um moinho de martelo, com peneiras de abertura 2,5 mm.

Em relação à marca do equipamento, essa informação não foi repassada, pois segundo o responsável pelo setor, o moinho havia sido confeccionado em uma metalúrgica da cidade.

Figura 35- Instalações do LETA/SENAI



Fonte: Autoria Própria (2019)

A princípio, todas as amostras selecionadas foram passadas no moinho uma única vez. No entanto, a amostra AM-02, por se tratar de um material bastante rígido em virtude de sua composição química ($\text{CaMg}(\text{Co}_3)$), dificultou o processo de moagem, necessitando ser moída 2 (duas) vezes para atingir uma granulometria mais uniforme e próxima a das outras duas amostras.

Pode-se observar nas Figuras 36a, b, c, o processo de moagem de uma das amostras.

Figura 36a- visão interna do moinho de martelo; **b-** material sendo colocado no moinho; **c-** argila moída.



Fonte: Autoria Própria (2019)

5.4.4.2 - Processo de impermeabilização

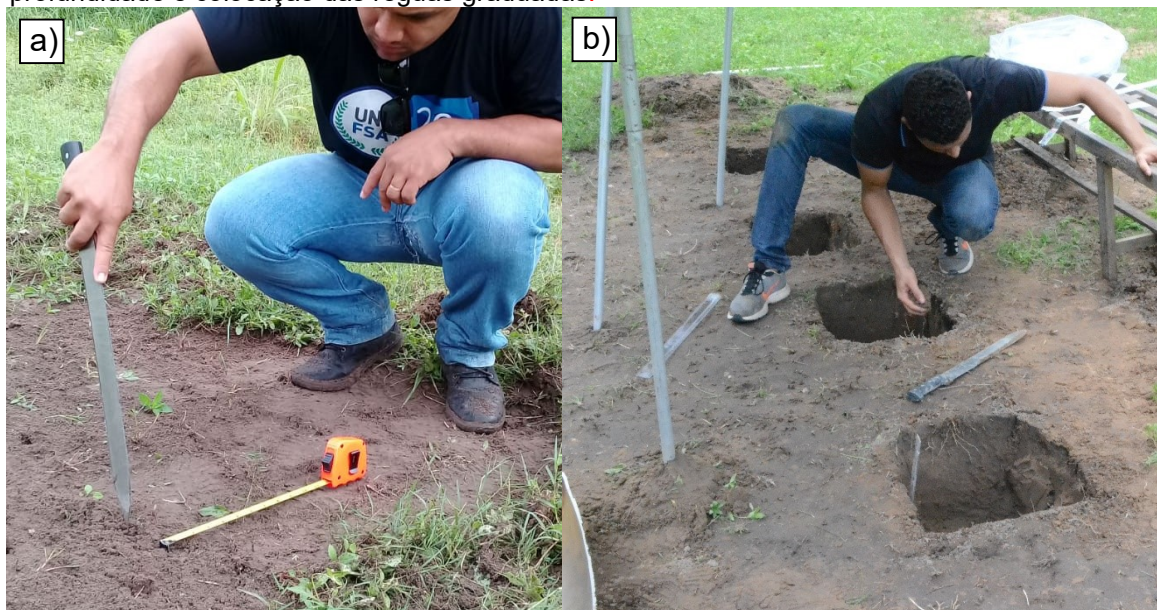
O primeiro ensaio de impermeabilização foi realizado no dia 30 de março de 2019 e os outros dois foram realizados em 31 de outubro do mesmo ano. Eles foram realizados no mesmo local dos ensaios de sondagem e de infiltração pelo método dos anéis.

A seguir serão apresentadas as etapas dos procedimentos do **primeiro ensaio**:

Passo 1- De forma bastante empírica, iniciou-se o processo pela escavação das câmaras prismáticas e, conforme pré-definido, foram realizadas 4 (quatro) câmaras prismáticas de dimensões 40 cm x 40 cm, por 30 cm de profundidade, próximas umas das outras e nas mesmas condições climáticas, no intuito de se obter um resultado o mais fidedigno possível e mais próximo da realidade.

Para escavação das câmaras, contou-se com a ajuda de 2 (dois) alunos do Centro Universitário Santo Agostinho, ambos do curso de Engenharia Civil. Situação demonstrada na Figura 37a e b.

Figura 37a - Marcação das cavas; **b-** Cavas executadas de dimensões 40 x 40 x 30 cm de profundidade e colocação das réguas graduadas.



Fonte: Autoria Própria (2019)

Passo 2- Com um vasilhame de plástico, preparou-se as argamassas de revestimento, empregando uma quantidade das amostras de argila, denominadas AM-02 (código P122), AM-08 (código P167) e AM-14 (código P173) necessária para impermeabilizar as cavas. A quantidade de água utilizada no preparo deveria ser suficiente para oferecer uma boa trabalhabilidade e para ensejar facilidade no momento de aplicação tanto no fundo como nas paredes das cavas. Conforme Figura 38a e b

Figura 38a e b- Preparação da argamassa de revestimento



Fonte: Autoria Própria (2019).

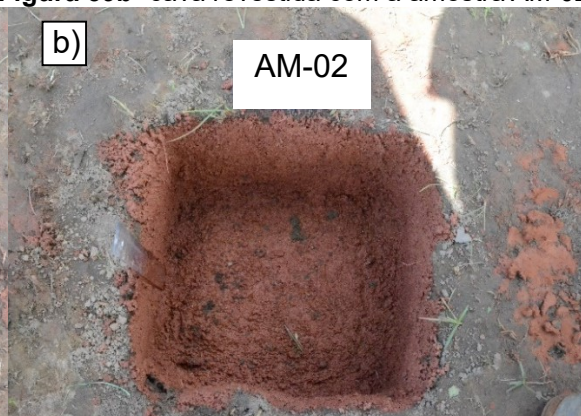
Passo 3- Após preparadas as argamassas, procedeu-se com os revestimentos de 03 das 04 cavas, com a finalidade de impermeabilizá-las, conforme as Figuras 39a, b, c e d. Adotou-se para o fundo, uma espessura de 5 cm e para as paredes aproximadamente 1 cm.

Ressalta-se que, por este método, diferente do teste de infiltração pelo método do infiltrômetro de anéis, a ocorrência da infiltração da água, sobretudo na cava sem revestimento, se dá nas direções vertical e horizontal. Motivo pelo qual se impermeabilizou também as paredes das cavas.

Figura 39a – cava sem revestimento.

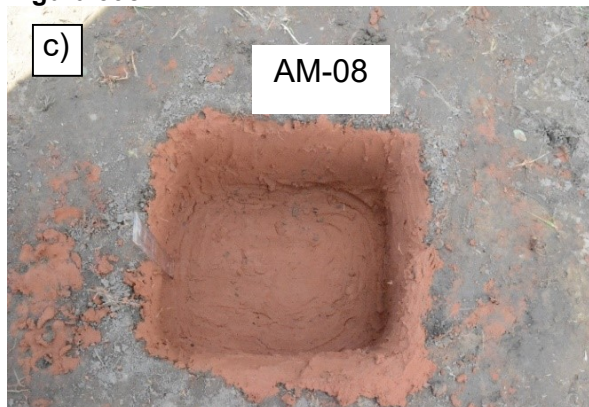


Figura 39b- cava revestida com a amostra AM-02;



Fonte: Autoria Própria (2019)

Figura 39c- cava revestida com amostra AM-08. **Figura 39d**- cava revestida com a amostra AM-14



Fonte: Autoria Própria (2019)

Passo 4- Concluído todos os revestimentos e antes de preencher as cavas, com o intuito de proteger o revestimento contra o impacto no momento de colocação da água, bem evitar que a água infiltrasse em tempos diferentes, nas cavas, colocou-se um saco plástico. Situação que pode ser observada através da Figura 40.

Figura 40 – Cavas protegidas com saco plástico de 100 litros, e preenchidas com água.



Fonte: Autoria Própria (2019)

Passo 5- Após a retirada dos sacos, o que se deu de forma simultânea, todas as cavas foram completadas com água, até a mesma altura e, conseqüentemente, o mesmo volume. Iniciou-se então, a contagem do tempo com auxílio de um cronômetro e após 1 minuto, foram efetuadas, concomitantemente, as primeiras leituras nas réguas, das alturas das lâminas de água.

Vale ressaltar que as cinco primeiras leituras foram realizadas com intervalos de 1 minuto e as demais com intervalos de 5 minutos, até completar 60 minutos. A Figura 41 retrata o processo de medição após 1 hora.

Figura 41 – Situação das lâminas de água após 1 hora do início da medição



Fonte: Autoria Própria (2019)

Conforme supramencionado, foram realizados mais dois ensaios de impermeabilização (02 cavas para cada situação, totalizando 08 ao todo). Nestes, foram seguidos os mesmos procedimentos e critérios do primeiro ensaio, a fim de comparar os resultados. Eles foram realizados no mesmo local e no mesmo horário do primeiro ensaio, variando apenas as condições climáticas, conforme demonstra a Figura 42. Ressalta-se que para evitar atraso nas leituras das lâminas d'água, contou-se com auxílio do Laboratorista da UNIFSA, Laécio Guedes.

Figura 42 – Vista das 08 cavas durante a realização dos novos ensaios



Fonte: Autoria Própria (2019)

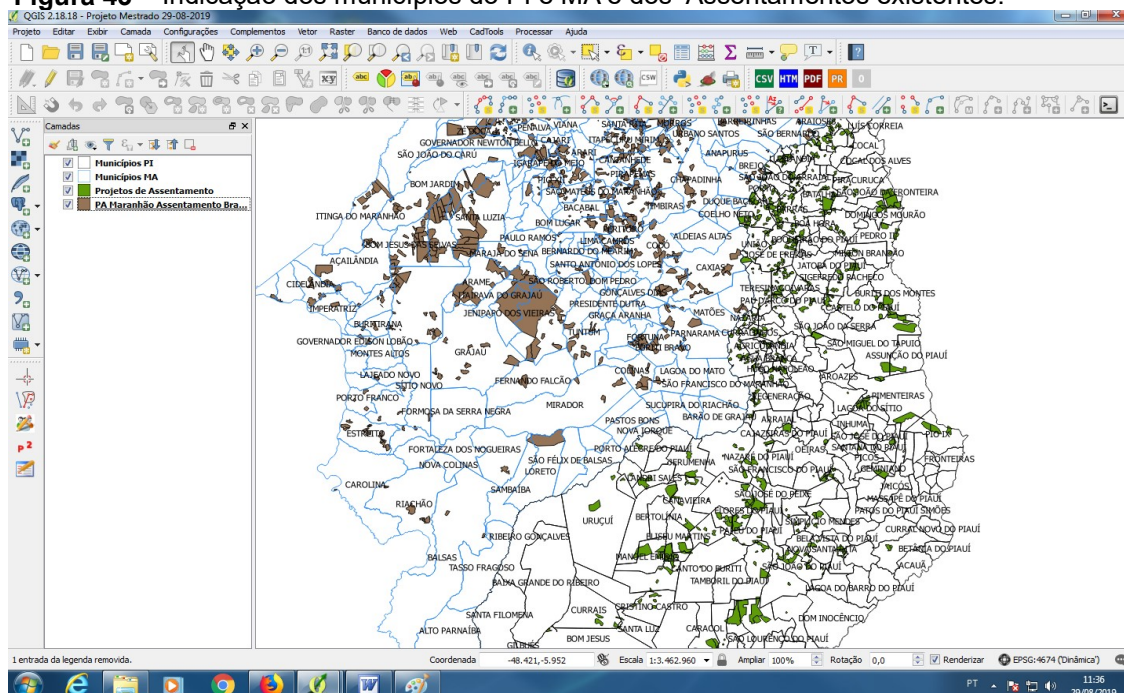
5.5 – MÉTODOS E TÉCNICAS DE ELABORAÇÃO DO SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS – SIG.

Objetivando criar um banco de dados geoespacial com todas as informações referentes às caracterizações das 33 amostras de argila da região da Grande Teresina, decidiu-se desenvolver um Sistema de Informações Geográficas, utilizando o software *Quantum GIS* ou QGIS, versão 2.18.24, aqui denominado de “SIGARG”, o qual poderá ser incrementado a qualquer tempo.

A seguir serão mostrados, através de um passo a passo, os procedimentos adotados para a criação do banco:

Passo 1- Primeiramente foi criado um projeto denominado “Projeto Mestrado” e configurado para o sistema geodésico de uso oficial no Brasil, o SIRGAS 2000. Para elaboração desse projeto foi necessário carregar as camadas com as informações referentes à divisão política dos municípios do Piauí e Maranhão (adquiridas no sítio do IBGE), como também os *shapes* dos Projetos de Assentamento do Piauí e do Maranhão (adquiridos no sítio do INCRA), conforme Figura 43.

Figura 43 – Indicação dos municípios do PI e MA e dos Assentamentos existentes.



Fonte: QGIS (2019)

Passo 2- De posse dos dados coletados de campo (coordenadas geográficas) e dos resultados dos ensaios de granulometria, de análise residual e de plasticidade, bem como de informações sobre modo de ocorrência e dados litológicos das amostras construiu-se uma planilha no *software Excel*, a qual serviu de base para geração do SIG. Considerando que as argilas seriam representadas, no mapa, por meio de pontos com suas respectivas coordenadas, antes de fazer a conexão da planilha no QGIS, foi necessário transformar as coordenadas geográficas, que estavam em grau sexagesimal (grau, minuto, segundo) para grau decimal. Em seguida, a planilha foi transformada e salva, em formato CSV, para ser lançada no projeto do QGIS, conforme Figura 44.

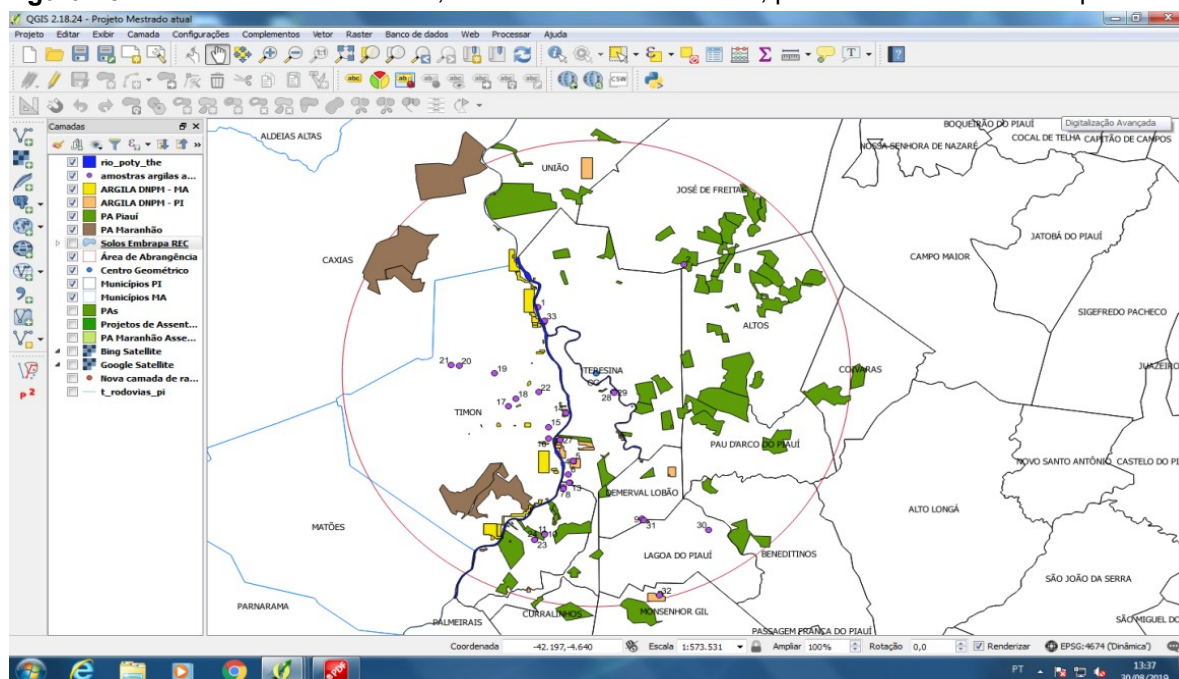
Figura 44 – Planilha com os dados literais de cada amostra.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
	Código	ID	Município	Und. Federação	Latitude	Longitude	Modo de Ocorrência	Form. Geológica	% residuo	% argila	Índice Plast. (%)
2	P121	1	Teresina	PI	-5,9793	-42,8557	Várzea (Rio Parnaíba)	Depósitos Aluvionares	17,00	83,00	23,00
3	P122	2	José de Freitas	PI	-4,8957	-42,5980	Morro	Piauí	3,30	96,70	9,40
4	P123	3	Cil I/Teresina	PI	-5,2779	-42,7941	Morro	Pedra de Fogo	15,28	84,72	10,80
5	P124	4	Cil II/Teresina	PI	-5,2780	-42,7940	Morro	Pedra de Fogo	23,22	76,78	11,80
6	P125	5	Cil III/Teresina	PI	-5,2768	-42,7938	Morro	Pedra de Fogo	2,19	97,81	14,10
7	P165	6	Teresina	PI	-5,3032	-42,8021	Morro	Pedra de Fogo	15,23	84,77	14,50
8	P166	7	Nazária	PI	-5,3289	-42,8105	Morro	Pedra de Fogo	0,07	99,93	10,00
9	P167	8	Nazária	PI	-5,3319	-42,8113	Morro	Pedra de Fogo	70,07	29,93	11,10
10	P168	9	Teresina	PI	-5,3902	-42,6715	Morro	Pedra de Fogo	18,77	81,23	5,57
11	P169	10	Nazária	PI	-5,4189	-42,8449	Alteração do Diabásio	Sardinha	43,49	56,51	10,20
12	P170	11	Nazária	PI	-5,4204	-42,8446	Alteração do Diabásio	Sardinha	21,12	78,88	12,50
13	P171	12	Teresina	PI	-5,3195	-42,7998	Morro	Pedra de Fogo	3,32	96,68	15,80
14	P172	13	Teresina	PI	-5,3192	-42,8006	Morro	Pedra de Fogo	16,75	83,25	14,00
15	P173	14	Timon	MA	-5,1850	-42,8074	Várzea (Rio Parnaíba)	Depósitos Aluvionares	42,43	57,57	20,90
16	P174	15	Timon	MA	-5,2116	-42,8376	Morro	Pedra de Fogo	9,95	90,05	6,00
17	P175	16	Timon	MA	-5,2338	-42,8374	Morro	Pedra de Fogo	37,20	62,80	6,70
18	P176	17	Timon	MA	-5,1720	-42,9092	Morro	Motuca	59,76	40,24	2,10
19	P177	18	Timon	MA	-5,1568	-42,8958	Morro	Motuca	5,65	94,35	7,80
20	P178	19	Timon	MA	-5,1075	-42,9329	Morro	Motuca	16,00	84,00	7,30
21	P179	20	Timon	MA	-5,0929	-42,9961	Morro	Corda	92,80	7,20	NP
22	P180	21	Timon	MA	-5,0913	-43,0099	Morro	Corda	72,73	27,27	NP
23	P181	22	Timon	MA	-5,1443	-42,8552	Morro	Pedra de Fogo	16,16	83,84	7,00
24	P182	23	Nazária	PI	-5,4296	-42,8616	Morro	Pedra de Fogo	11,62	88,38	18,50
25	P183	24	Nazária	PI	-5,4297	-42,8616	Morro	Pedra de Fogo	18,43	81,57	17,90
26	P184	25	Teresina	PI	-5,9328	-42,8506	várzea (Rio Parnaíba)	Depósitos Aluvionares	18,46	81,54	15,30
27	P185	26	Teresina	PI	-5,2374	-42,8173	Várzea (Rio Parnaíba)	Depósitos Aluvionares	14,36	85,64	20,70
28	P187	27	Teresina	PI	-5,2368	-42,8172	Várzea (Rio Parnaíba)	Depósitos Aluvionares	27,39	72,61	12,00
29	P192	28	Teresina	PI	-5,1440	-42,7221	várzea (Rio Poti)	Depósitos Aluvionares	9,63	90,37	18,30
30	P193	29	Teresina	PI	-5,1444	-42,7209	várzea (Rio Poti)	Depósitos Aluvionares	7,30	92,70	16,40
31	P246	30	Demerval Lobão	PI	-5,4109	-42,5533	Morro	Pedra de Fogo	8,43	91,57	8,30
32	P247	31	Demerval Lobão	PI	-5,3920	-42,6684	Morro	Pedra de Fogo	18,80	81,20	8,40
33	P250	32	Mons. Gil	PI	-5,5384	-42,6411	Morro	Piauí	51,48	48,52	5,80
34	P251	33	Teresina	PI	-5,0061	-43,8448	Várzea (Rio Parnaíba)	Depósitos Aluvionares	37,99	62,01	14,90

Fonte: Autoria Própria (2019)

Passo 3- adicionou-se os pontos referentes às coletas das argilas, utilizando a planilha confeccionada anteriormente. Para definir a área de abrangência, foi lançado o ponto referente ao centro geométrico e, a partir dele, definido um *buffer* de 50km. Com a área de abrangência definida, adicionou-se também, os *shapes* das áreas de argila licenciada pelo DNPM (adquiridas no sítio do órgão), atual ANM, Agência Nacional de Mineração. A Figura 45 demonstra o procedimento relatado.

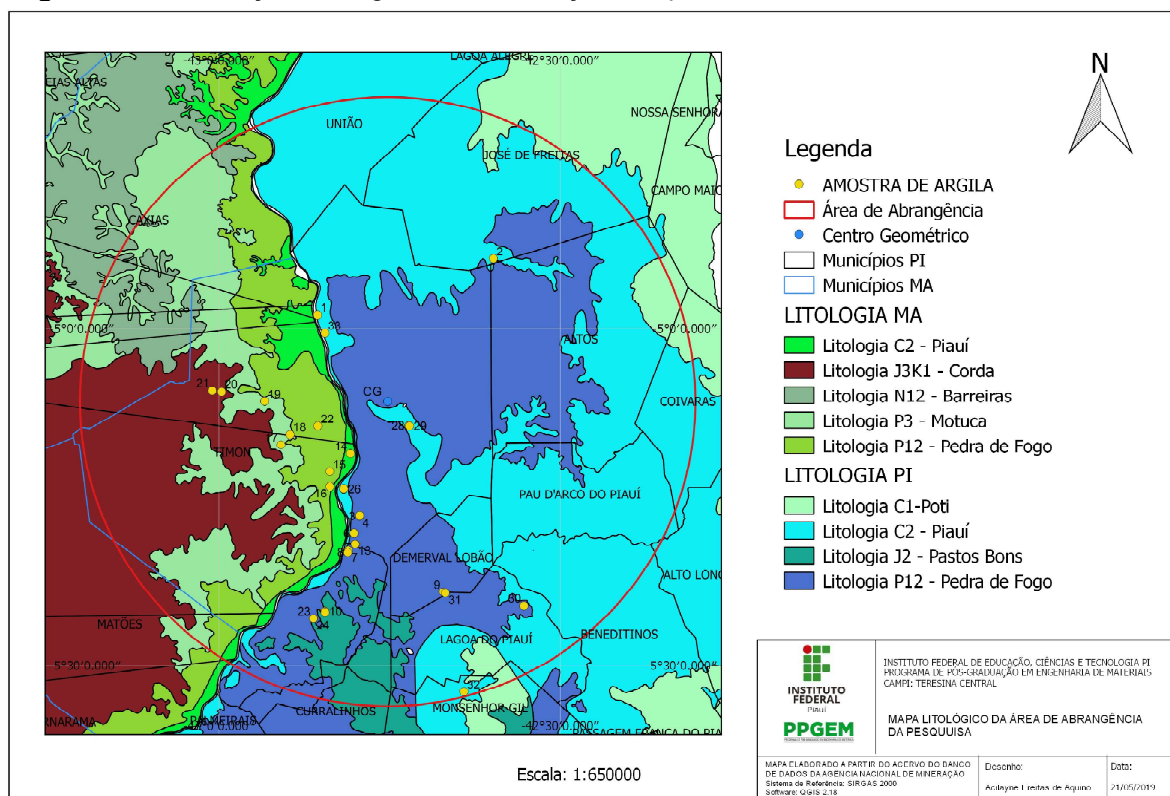
Figura 45 – Buffer contendo os PAs, áreas licenciadas na AMN, pontos de coletas de campo



Fonte: Autoria Própria (2019)

Passo 4- De forma complementar, lançou-se as informações litológicas da base de dados da Agência Nacional de Mineração - ANM (Figura 46).

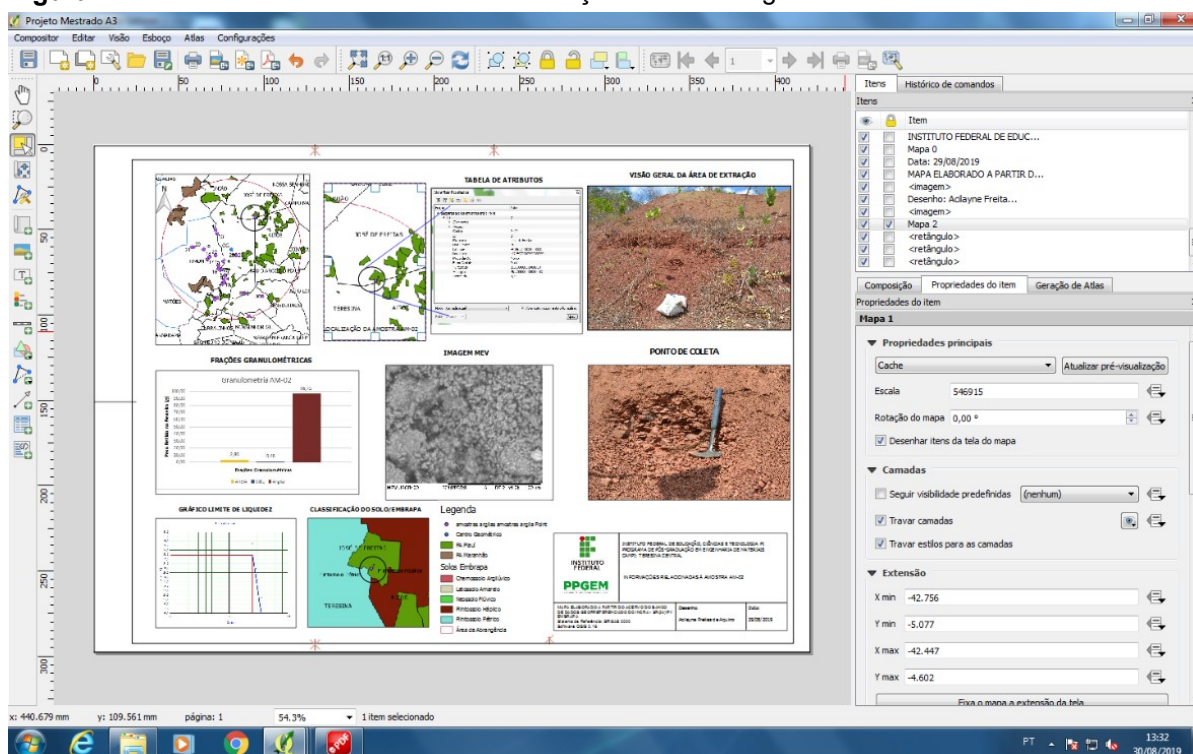
Figura 46 – Informações litológicas com indicação dos pontos de coletas



Fonte: Autoria Própria (2019)

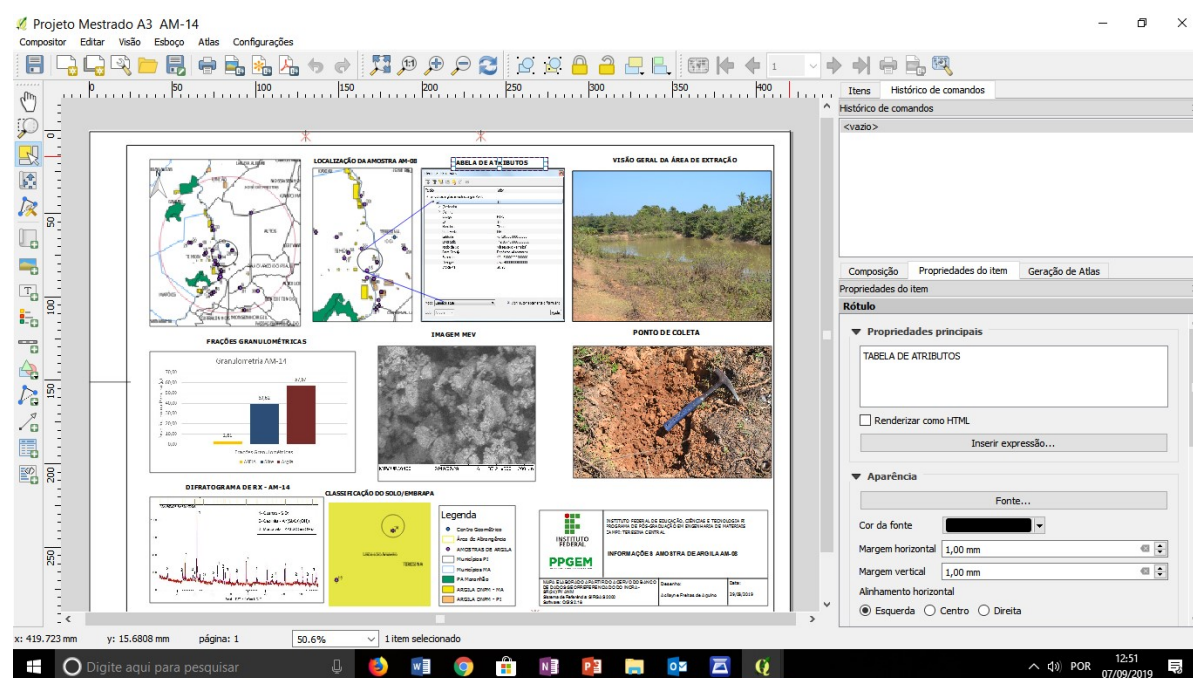
Passo 5- Por fim, foram confeccionadas três pranchas, no formato A3 da ABNT, contendo todas as informações referentes a cada amostra, como pode ser visto nas Figuras 47 e 48.

Figura 47 – Prancha contendo todas as informações sobre a argila AM-02



Fonte: Autoria Própria (2019)

Figura 48 – Prancha contendo todas as informações sobre a argila AM-14



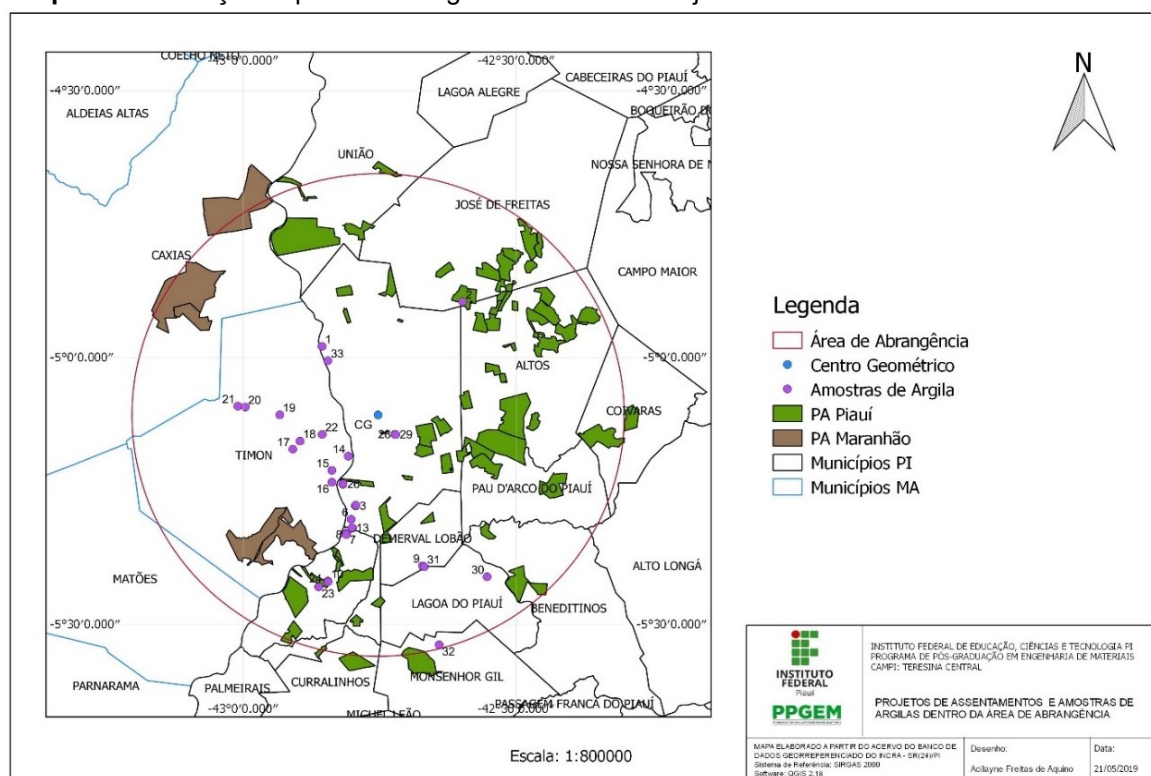
Fonte: Autoria Própria (2019)

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 COLETAS DAS AMOSTRAS

Os locais de coletas das amostras de argilas, foram registrados com o uso de GPS de navegação e georreferenciados ao Sistema Geodésico, cuja distribuição espacial, bem como os PAs, pode ser observada no Mapa 1.

Mapa 1- Distribuição espacial das argilas coletadas e Projetos de Assentamentos

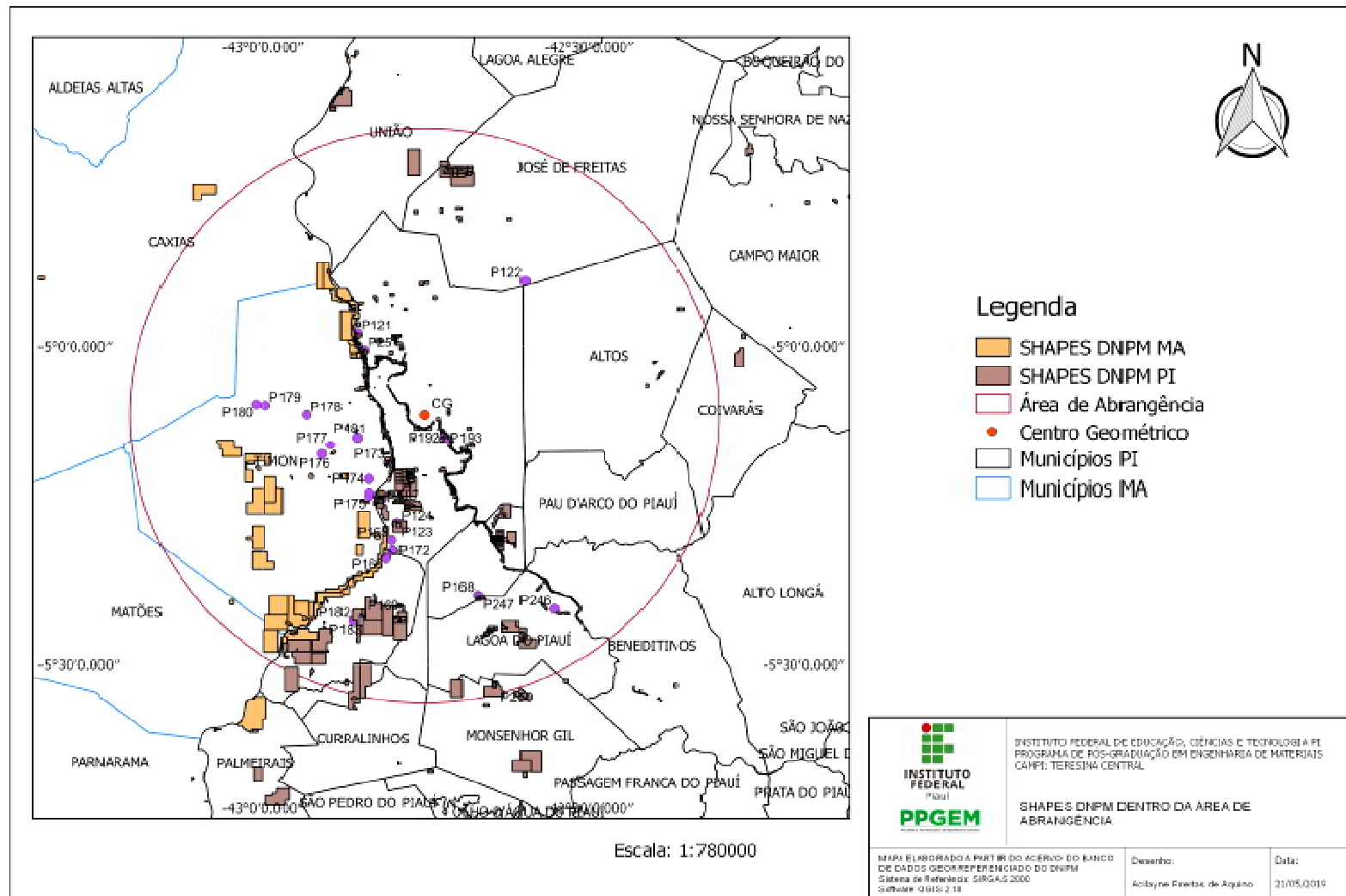


Fonte: Autoria Própria (2019)

Observando o Mapa 1, pode-se perceber como o uso das tecnologias auxilia na visualização da distribuição espacial dos pontos de coletas localizados nos municípios da Grande Teresina, dentre eles: Teresina, Nazária, Demerval Lobão, Lagoa do Piauí, Monsenhor Gil, José de Freitas, todos no estado do Piauí e alguns em Timon no Maranhão. Constata-se, também, que das 33 amostras coletadas, várias delas ficaram próximas aos Projetos de Assentamento do Piauí e do Maranhão, os quais serviram de norteadores para a pesquisa.

Há uma concentração de ocorrências de argilas nas regiões próximas aos cursos d'água, em ambientes de paleolagos, formados na planície de inundação ou a partir da migração do canal fluvial dos rios Poti e Parnaíba. Relembrando que os pontos de coleta também tiveram como norte, a base de dados da ANM (Mapa 2).

Mapa 2- Área de Estudo com indicação dos pontos de coleta e shapes do ANM



Fonte: Autoria Própria (2019)

6.2 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

A Figura 49 exibe uma porção de cada amostra de argila coletada durante trabalhos de campo, cuja granulometria equivale à fração passante na peneira de número 200 da ABNT. O material foi preparado com intuito de realizar os ensaios físicos, químicos e mineralógicos.

A identificação das amostras foi baseada na data de coleta e sua codificação, na numeração dos pontos de coordenadas levantados com GPS.

Figura 49- Porções das amostras de argilas coletadas, devidamente identificadas.



Fonte: PRÓPRIA (2019)

De acordo com Suguio (2003), a cor é uma das propriedades dos sedimentos que atrai a atenção de muitos pesquisadores e até mesmo de um leigo, em alguns trabalhos de campo. É um fator determinante no discernimento das diferentes camadas em sucessão litológica, embora isoladamente não seja uma propriedade suficiente.

Segundo o mesmo autor, os sedimentos são produtos de uma complexidade de processos e suas cores são de difíceis explicações, pois possuem diferentes origens, tornando-os, assim, motivo de exaustivos estudos.

Além dos fenômenos diagenéticos, as condições climáticas, a granulação dos sedimentos, bem como, a composição química, interferem na cor e tonalidade dos sedimentos (SUGUIO, 2003).

O Quadro 1 trata de uma síntese das ocorrências das variedades de cores nos sedimentos rochosos, com base na composição química (Suguio, 2003).

Quadro 1- Cores dos sedimentos baseado na composição química

CORES	OCORRÊNCIAS
Branca	Peculiar dos sedimentos sem compostos de ferro e/ou manganês e matéria orgânica. A caulinita, por exemplo, quando pura, exibe essa cor.
Cinza e Preto	As diversas tonalidades de cinza, chegando ao preto, são devido à quantidade de matéria orgânica e sulfetos (mais comumente o ferro). Os carbonatos (calcários e dolomitos), dependendo do teor de matéria orgânica, também podem variar do cinza ao preto.
Vermelhos/Acastanhados ou Amarelados	Essas cores estão relacionadas, geralmente, aos óxidos e hidróxidos de ferro com diferentes graus de hidratação, tais como a hematita, a goethita, alimonita, etc...
Verde	Associada, na maioria das vezes, aos compostos de ferro na forma reduzida. Estão relacionadas aos minerais clorita, esmectita e illita. Neste último caso para se apresentar na cor verde, necessita de um teor crítico de ferro, mas o limite é ainda desconhecido.
Azul e Azul-celeste	Típicos da anidrita e celestina e raramente da gipsita e salgema. Também surgem por conta da oxidação de jazidas de minérios de ferro sedimentar, caso da vivianita. Tem-se aí, também, a azurita, mais frequente nos depósitos de minérios de cobre.

Fonte: SUGUIO (2003)

Em relação às amostras que estão sendo estudadas, para uma melhor compreensão da variedade de cores e tonalidades encontradas, necessita-se de uma completa caracterização, para que se possa verificar se elas seguem o mesmo padrão analisado por vários estudiosos da área, os quais foram tratados no Quadro 1.

Contudo, diante das circunstâncias, foram selecionadas 03 argilas, cujos critérios serão melhores detalhados mais adiante.

6.3 ENSAIOS FÍSICOS

Para melhor representação dos dados, foram consolidados no Quadro 2 os resultados dos ensaios de Análise Residual, Índices de Plasticidade, bem como os modo de ocorrências e formação geológica das amostras de argilas. Essas últimas informações foram obtidas a partir da base de dados da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM.

Os resultados dos ensaios de granulometria serão apresentados em um item à parte.

Quadro 2- Resultado das caracterizações físicas das amostras

ID	MUNICÍPIO	MODO DE OCORRÊNCIA	FORMAÇÃO GEOLÓGICA	RESÍDUO (%)	ARGILA (%)	IP (%)
1	Teresina	Várzea (Rio Parnaíba)	Depósitos Aluvionares	17,00	83,00	23,00
2	José de Freitas	Morro	Piauí	3,28	96,72	9,40
3	Cil I/Teresina	Morro	Pedra de Fogo	15,28	84,72	10,80
4	Ci II/Teresina	Morro	Pedra de Fogo	23,22	76,78	11,80
5	Cil III/Teresina	Morro	Pedra de Fogo	2,19	97,81	14,10
6	Teresina	Morro	Pedra de Fogo	15,23	84,77	14,50
7	Nazária	Morro	Pedra de Fogo	0,07	99,93	10,00
8	Nazária	Morro	Pedra de Fogo	70,07	29,93	11,10
9	Teresina	Morro	Pedra de Fogo	18,77	81,23	5,57
10	Nazária	Alteração do Diabásio	Mosquito	43,49	56,51	10,20
11	Nazária	Alteração do Diabásio	Mosquito	21,12	78,88	12,50
12	Teresina	Morro	Pedra de Fogo	3,32	96,68	14,70
13	Teresina	Morro	Pedra de Fogo	16,75	83,25	12,70
14	Timon	Várzea (Rio Parnaíba)	Depósitos Aluvionares	42,43	57,57	21,20
15	Timon	Morro	Pedra de Fogo	9,95	90,05	6,00
16	Timon	Morro	Pedra de Fogo	37,20	62,80	6,70
17	Timon	Morro	Motuca	59,76	40,24	7,80
18	Timon	Morro	Motuca	5,65	94,35	7,80
19	Timon	Morro	Motuca	16,00	84,00	7,30
20	Timon	Morro	Corda	92,80	7,20	NP
21	Timon	Morro	Corda	72,73	27,27	NP
22	Timon	Morro	Pedra de Fogo	16,16	83,84	7,00
23	Nazária	Morro	Pedra de Fogo	11,62	88,38	18,50
24	Nazária	Morro	Pedra de Fogo	18,43	81,57	17,90
25	Teresina	Várzea (Rio	Depósitos	18,46	81,54	15,30

		Parnaíba)	Aluvionares			
26	Teresina	Várzea (Rio Parnaíba)	Depósitos Aluvionares	14,36	85,64	20,70
27	Teresina	Várzea (Rio Parnaíba)	Depósitos Aluvionares	27,39	72,61	12,00
28	Teresina	Várzea (Rio Poti)	Depósitos Aluvionares	9,63	90,37	18,30
29	Teresina	Várzea (Rio Poti)	Depósitos Aluvionares	7,30	92,70	16,40
30	Demerval Lobão	Morro	Pedra de Fogo	8,43	91,57	8,40
31	Demerval Lobão	Morro	Pedra de Fogo	18,80	81,20	8,30
32	Mons. Gil	Morro	Piauí	51,48	48,52	5,80
33	Teresina	Várzea (Rio Parnaíba)	Depósitos Aluvionares	37,99	62,01	14,90

Fonte: Autoria Própria (2018)

Das 33 amostras de argilas coletadas, 24 foram colhidas no Estado do Piauí e 9, no Maranhão, cujos modos de ocorrência e formação geológica são os mais variados. Quanto ao modo de ocorrência, 06 são argilas de várzea do rio Parnaíba, 02 de várzea do Poti, 23 de morro e 2 da alteração do diabásio.

Quanto à formação geológica, 02 pertencem à formação Piauí; 16 à formação Pedra de Fogo; 02 à formação Corda; 03 à formação Motuca; 02 à Mosquito e, por fim, 08 pertencem aos Depósitos Aluvionares.

Cabe ressaltar que, a partir dos resultados dos ensaios físicos, verificou-se que apenas 8 das 33 amostras apresentaram uma porcentagem de resíduo inferior a 10%, com uma quantidade de finos variando de 7,2 a 99,93%.

Em relação aos índices de plasticidade, verificou-se uma predominância das argilas com média plasticidade, assim distribuídas: 02 não plásticas, 07 pouco plásticas, 18 medianamente plásticas e 06 muito plásticas.

De posse dos dados e resultados supracitados, criou-se um Sistema de Informações Geográficas, a partir de um banco de dados georreferenciado, cujos produtos estão apensados ao final deste trabalho, no apêndice 1.

Em virtude das circunstâncias e dificuldades encontradas para realização dos ensaios com as 33 amostras, restringiu-se para 03 o número de amostras, denominadas, então, de AM-02, AM-08 e AM-14.

As linhas em destaque, no Quadro 2 acima, referem-se às argilas selecionadas e que foram utilizadas na realização dos testes de impermeabilização dos reservatórios.

Justifica-se a escolha da amostra AM-02 pela proximidade do Projeto de Assentamento, baixa porcentagem de resíduo e bom índice de plasticidade.

Para a escolha de segunda amostra, procurou-se também observar a proximidade de Assentamentos, com a condição de que pertencesse a formação geológica diferente da anterior e tivesse uma alta porcentagem de resíduo e média plasticidade. Em obediência a tais critérios, selecionou-se a AM-08.

Na escolha da terceira amostra, foi observada, a princípio, a formação geológica diferente das anteriores, em seguida, uma porcentagem de resíduo mediana e alta plasticidade. Diante disso, escolheu-se a amostra AM-14.

A partir de agora, serão apresentados os resultados dos ensaios somente das 03 argilas supracitadas.

6.3.1 Análise Granulométrica

A análise granulométrica de todas as argilas foi realizada com a fração de solo retido na peneira nº 325 da ABNT, obtida após peneiramento por lavagem, ou seja, com as frações equivalentes de areia e silte.

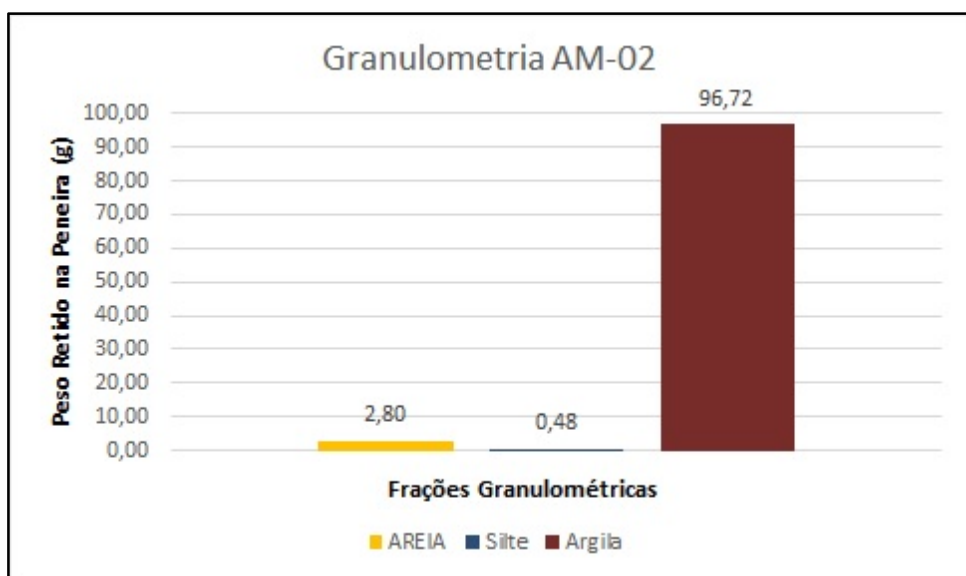
Os Quadros 3, 4 e 5, equivalem aos resultados dos ensaios de granulometria dos resíduos das amostras AM-02, AM-08 e AM-14, seguido dos gráficos das composições das frações granulométricas (Figuras 51, 52 e 53).

6.3.1.1 Amostra AM-02

Quadro 3- Granulometria da AM-02

ENSAIO DE GRANULOMETRIA DO RESÍDUO						
FRAÇÃO	PENEIRAS		PESO RESÍDUO RETIDO NA PENEIRA	PESO QUE PASSA ACUMULADO	% DE RESÍDUO RETIDO	PESO TOTAL RETIDO NAS PENEIRAS
	Pol	mm				
Areia	016	1,190	0,25	3,03	7,62	2,80
	025	0,710	0,35	2,68	10,67	
	045	0,350	0,74	1,94	22,56	
	060	0,250	0,66	1,28	20,12	
	080	0,177	0,59	0,69	17,99	
	100	0,149	0,21	0,48	6,40	
Silte	325	0,044	0,48	0,00	14,63	0,48
Argila	350	<0,044	Resultado da Análise Residual			96,72

Fonte: Autoria Própria (2019)

Figura 50 – Composição das frações granulométricas da amostra AM-02

Fonte: Autoria Própria (2019)

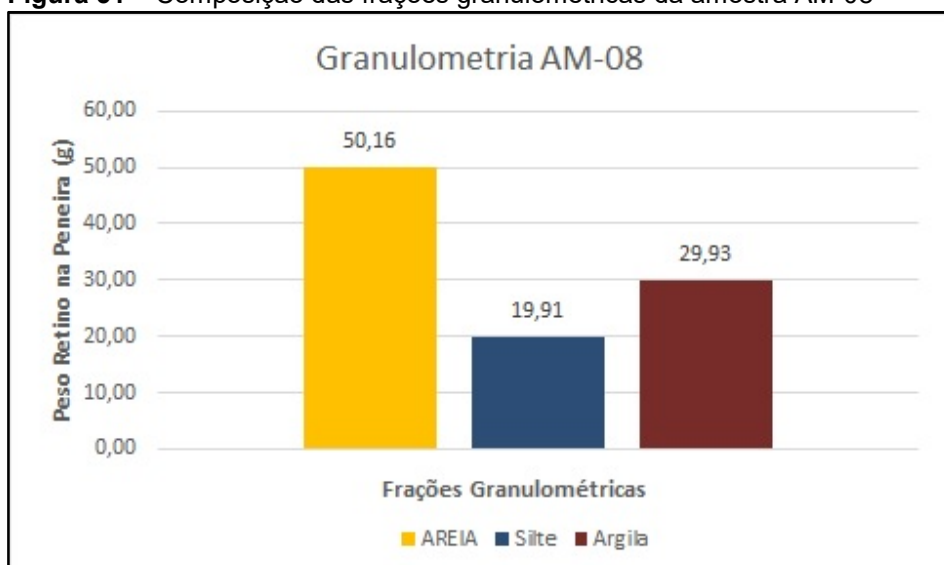
Através do gráfico, pode-se observar uma presença muito grande de finos existentes na amostra, bem como uma desproporcionalidade e descontinuidade entre as frações granulométricas, situação que poderá interferir no arranjo espacial das partículas, pois, segundo Suguio (2003), a distribuição granulométrica está intimamente relacionada com a porosidade e a permeabilidade.

6.3.1.2 Amostra AM-08

Quadro 4- Granulometria da AM-08

ENSAIO DE GRANULOMETRIA DO RESÍDUO						
FRAÇÃO	PENEIRAS		PESO RESÍDUO RETIDO NA PENEIRA	PESO QUE PASSA ACUMULADO	% DE RESÍDUO RETIDO	PESO TOTAL RETIDO NAS PENEIRAS
	Pol	mm				
Areia	016	1,190	0,55	69,52	0,78	50,16
	025	0,710	0,15	69,37	0,21	
	045	0,350	2,44	66,93	3,48	
	060	0,250	18,50	48,43	26,40	
	080	0,177	19,00	29,43	27,12	
	100	0,149	9,52	19,91	13,59	
Silte	325	0,044	19,91	0,00	28,41	19,91
Argila	350	<0,044	Resultado da Análise Residual			29,93

Fonte: Autoria Própria (2019)

Figura 51 – Composição das frações granulométricas da amostra AM-08

Fonte: Autoria Própria (2019)

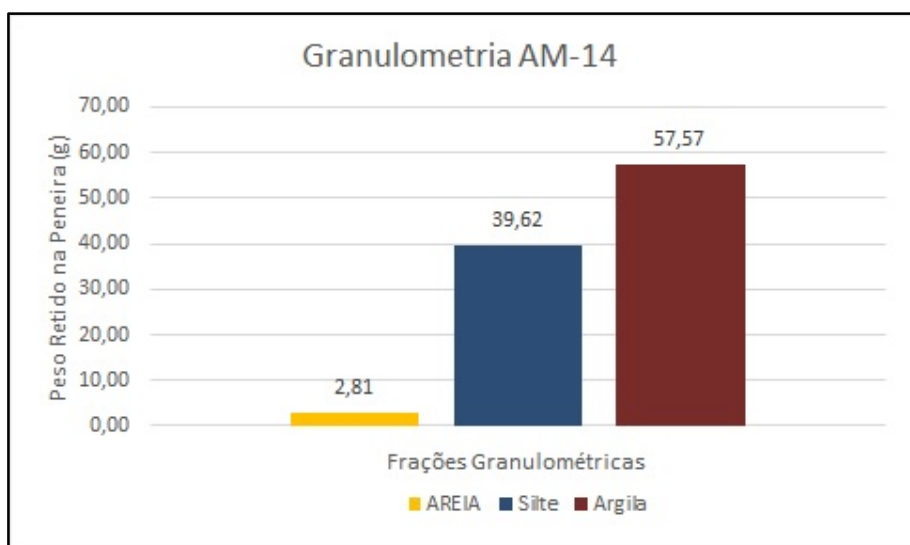
Pode-se observar, através do gráfico, que, nessa amostra, embora os quantitativos das frações de finos (silte e argila) seja equivalente às frações de areia, há uma predominância de material granular (areia), tornando-a mais porosa e, possivelmente, mais permeável.

6.3.1.3 Amostra AM-14

Quadro 5- Granulometria da AM-14

ENSAIO DE GRANULOMETRIA DO RESÍDUO						
FRAÇÃO	PENEIRAS		PESO RESÍDUO RETIDO NA PENEIRA	PESO QUE PASSA ACUMULADO	% DE RESÍDUO RETIDO	PESO TOTAL RETIDO NAS PENEIRAS
	Pol	mm				
Areia	016	1,190	0,13	42,30	0,31	2,81
	025	0,710	0,10	42,20	0,24	
	045	0,350	0,14	42,06	0,33	
	060	0,250	0,15	41,91	0,35	
	080	0,177	0,74	41,17	1,74	
	100	0,149	1,55	39,62	3,65	
Silte	325	0,044	39,62	0,00	93,38	39,62
Argila	350	<0,044	Resultado da Análise Residual			57,57

Fonte: Autoria Própria (2019)

Figura 52 – Composição Granulométrica da amostra AM-14

Fonte: Autoria Própria (2019)

O gráfico mostra uma pequena quantidade de areia na amostra e um aumento gradativo na distribuição das partículas de finos, com uma predominância de argila, o que pode vir a favorecer uma maior impermeabilização.

Das três amostras selecionadas, a amostra AM-14 foi a que apresentou uma distribuição granulométrica gradativa e uma maior quantidade de finos (silte e argila), totalizando 97,19%.

6.4 ENSAIO QUÍMICO

Através dos ensaios de Fluorescência de Raios X, foram identificados os óxidos constituintes das amostras AM-02, AM-08 e AM-14, conforme Tabelas 5, 6 e 7, respectivamente.

Tabela 5- Composição química da AM-02 obtida por FRX (%)

Amostra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	TiO ₂	MgO	CaO	MnO	Outros
AM-02	43,35	19,72	11,69	7,82	0,80	6,08	10,18	0,18	0,20

Fonte: Autoria Própria (2019)

Tabela 6 - Composição química da AM-08 obtida por FRX (%)

Amostra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	TiO ₂	ZrO ₂	Outros
AM-08	58,38	33,32	6,36	0,41	1,30	0,15	0,08

Fonte: Autoria Própria (2019)

Tabela 7 - Composição química da AM-14 obtida por FRX (%)

Amostra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	TiO ₂	MgO	CaO	ZrO ₂	Outros
AM-14	63,58	21,02	8,90	3,03	1,55	1,18	0,32	0,15	0,28

Fonte: Autoria Própria (2019)

De acordo com as Tabelas 5, 6 e 7, pode-se observar que houve uma predominância de óxido de silício (SiO₂) na composição química das três amostras. No entanto, comparando o resultado entre elas, a AM-14 apresentou uma maior concentração de sílica (63,58%), seguida da AM-08 com concentração de sílica em 58,38%, óxido em maior abundância na natureza e formador do mineral quartzo. Segundo Caputo (2013), devido à sua estabilidade química, o quartzo é um dos minerais mais resistentes aos agentes de intemperismo, tais como água e variações de temperatura.

Outro óxido que se apresentou com uma quantidade significativa entre as amostras foi o óxido de ferro (Fe₂O₃), responsável pela coloração avermelhada das argilas, segundo Suguio (2003). Coloração que pode ser constatada por meio da Figura 50, página 81.

Todas as amostras também apresentaram altos teores de óxido de alumínio (Al₂O₃), majoritário na AM-08 (32,33%). Tais óxidos são muito comuns em regiões de clima quente e úmido, decorrente de intemperismo intenso, o que os torna formadores de argilominerais (LEPSCHI, 2011).

A amostra AM-02, diferente das demais, apresentou uma quantidade de óxido de cálcio (CaO) equivalente a 10,18%, provenientes de carbonatos de cálcio, principal componente do calcário. Apresentou, também, óxido de magnésio (MgO) equivalente a 6,08%. Tal resultado corrobora com os resultados encontrados por Medeiros (2015), que estudou os depósitos Carbonáticos-Siliciclásticos da região de José de Freitas. De acordo com esse autor, dentre as fácies estudadas na região, há a fácies AF2, que é carbonática com espessura de no máximo 4 m. Na Fazenda Mocambo, onde foi coletada esta amostra, a espessura não passa de 1 m.

Para Soares et al. (2008), as argilas contaminadas com calcário têm grande potencial para serem aplicadas na fabricação de revestimento cerâmico, pois desempenham papel de fundentes. O calcário, segundo Queiroz (2009), é uma

matéria-prima utilizada na fabricação do cimento Portland e da cal. Além de ser um bom corretivo de solos na agricultura.

A amostra AM-02 apresentou também uma quantidade maior de óxido de potássio (K_2O), equivalente a 7,82%, característica dos feldspatos, que, segundo Oliveira (2015), é essencial para a fabricação de cerâmica de baixa porosidade, pois, durante a queima, tem ação fundente.

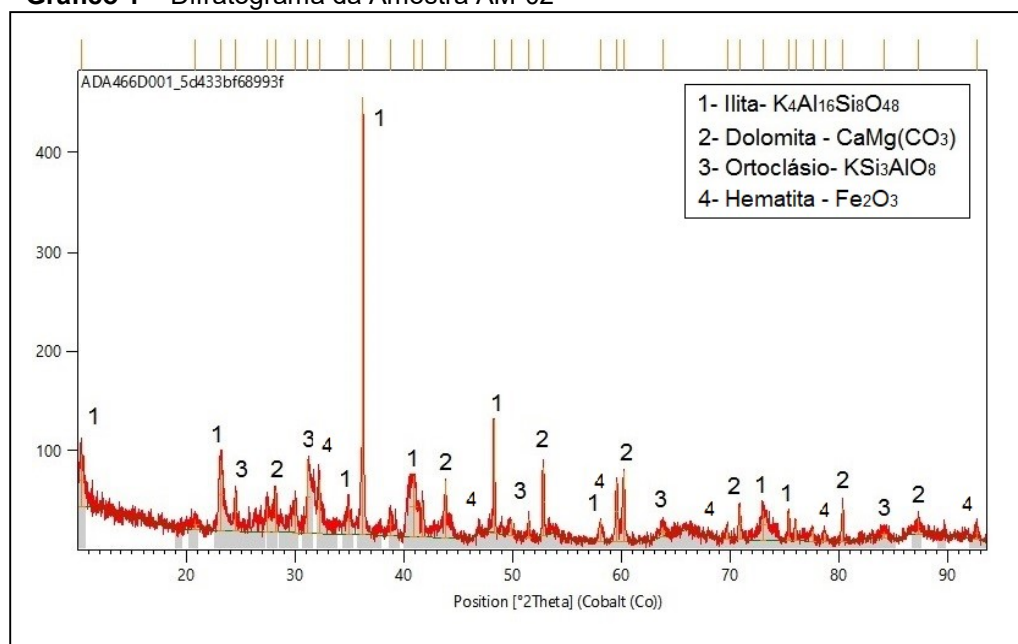
6.5 ENSAIO MINERALÓGICO

A identificação das fases cristalinas, presentes nas amostras de argilas, ocorre através do método da Difração de Raios X, cujos resultados obtidos serão demonstrados a seguir.

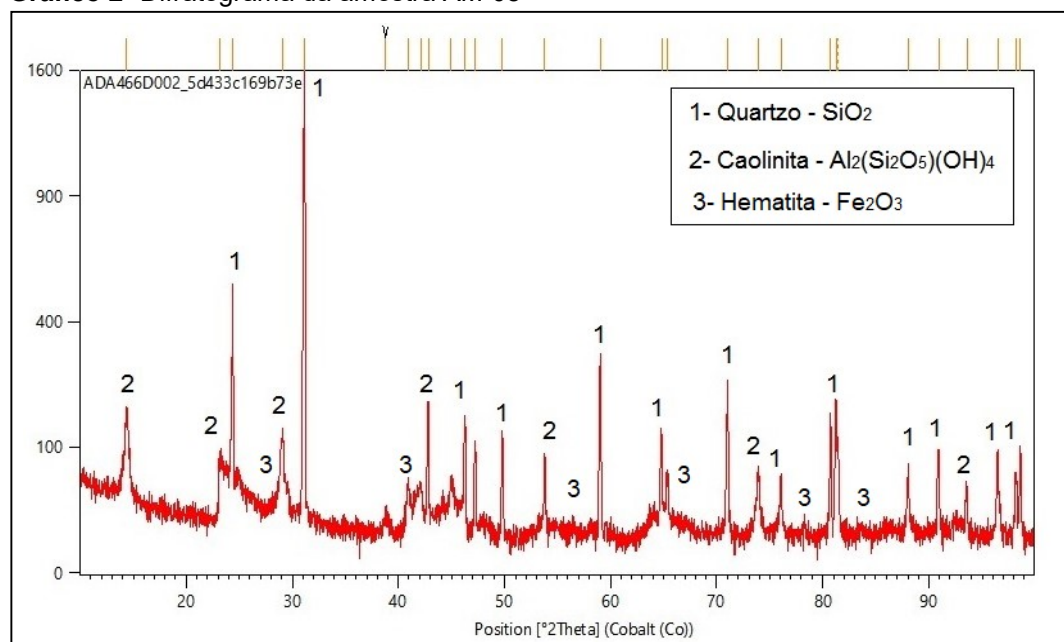
6.5.1 Difração de Raios X (DRX)

Os gráficos 1, 2 e 3 apresentam os difratogramas das amostras de argila AM-02, AM-08 e AM-14, os quais foram analisados juntamente com os dados obtidos do ensaio de FRX, possibilitando a identificação das fases cristalinas presentes por meio da comparação entre os picos gerados no difratograma com cartas padrões do *software X'Pert High Score Plus*, através do ICSD CODE.

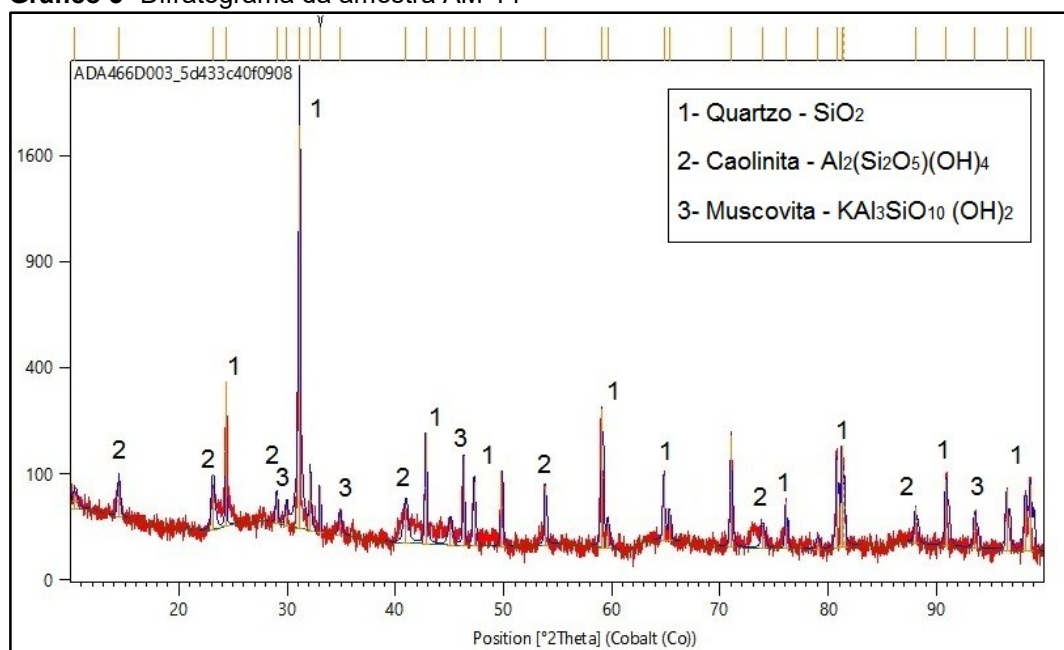
Gráfico 1 – Difratograma da Amostra AM-02



Fonte: *HighScore Plus*, adaptado pela autora (2019).

Gráfico 2- Difratoograma da amostra AM-08

Fonte: *HighScore Plus*, adaptada pela autora (2019)

Gráfico 3- Difratoograma da amostra AM-14

Fonte: *HighScore Plus*, adaptada pela autora (2019)

As fases cristalinas encontradas na amostra AM-02 (Gráfico 1) que são: illita, hematita; dolomita e ortoclásio, corroboram com os óxidos encontrados no ensaio de FRX, como também com os estudos realizados por Medeiros (2015), nos quais ele afirma a presença de argila ilítica contaminada com dolomita, bem como a presença do ortoclásio (feldspato potássico) encontrado na argila da Fazenda Mocambo (formação Piauí), local de onde se extraiu a amostra estudada.

Um dado importante é a presença significativa de óxido de ferro (Fe_2O_3) nas três amostras analisadas. No entanto, apenas nas amostras AM-02 e AM-08 resultaram na formação de fases cristalinas hematitas, justificando as colorações avermelhadas das amostras.

As fases cristalinas (quartzo e caolinita) presentes nas amostras AM-08 (Gráfico 2) e AM-14 (Gráfico 3) estão coerentes com os óxidos encontrados nos ensaios de FRX. A AM-14 apresentou também a fase moscovita.

6.5.2 Análise Racional

Os dados obtidos no FRX e DRX das amostras ensaiadas possibilitou, através da análise racional realizado no software *QuantFases*, quantificar a fração de cada fase cristalina identificada no difratograma de raios X. Como seguem os Quadros 6,7 e 8.

Quadro 6 – Quantificação de Fases da AM-02

FASES	QUANTIDADES ENCONTRADAS (%)
Dolomita	12,0
Ilita	38,5
Hematita	11,7
Ortoclásio	37,8

Fonte: Autoria Própria (2019)

Quadro 7 – Quantificação de Fases da AM-08

FASES	QUANTIDADES ENCONTRADAS (%)
Caolinita	56,7
Quartzo	39,0
Hematita	4,30

Fonte: Autoria Própria (2019)

Quadro 8 – Quantificação de Fases da AM-14

FASES	QUANTIDADES ENCONTRADAS (%)
Caolinita	57,3
Quartzo	38,0
Moscovita	4,70

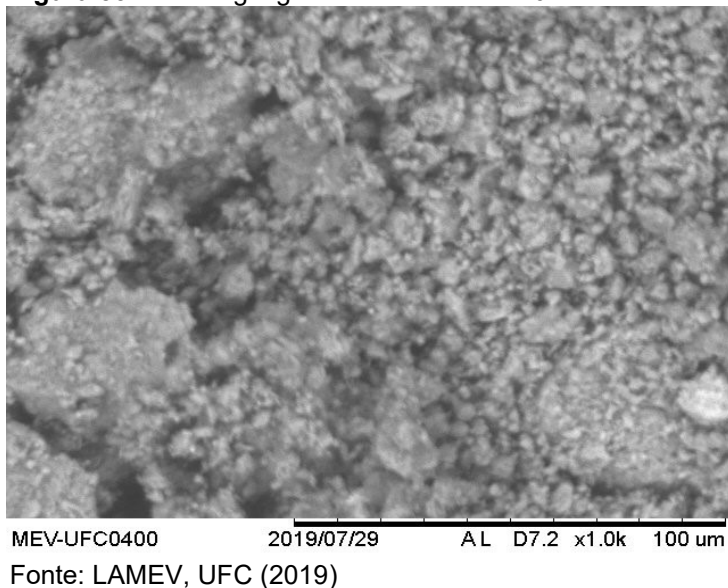
Fonte: Autoria Própria (2019)

Tal resultado indica que as amostras do solo são predominantemente compostas de argilominerais, com características altamente plásticas, corroborando com os resultados dos ensaios de plasticidade e químicos.

6.5.3 Microscopia Eletrônica de Varredura- MEV

As figuras 53, 54 e 55 correspondem às amostras AM-02, AM-08 e AM-14 respectivamente, obtidas através do microscópio eletrônico de varredura – MEV, cujo ensaio foi realizado no laboratório LAMEV, do Departamento de Geologia da UFC.

Figura 53- Morfologia geral da amostra AM-02



Observa-se, na amostra AM-02, um empacotamento melhor AM-08 e AM-14, devido à grande quantidade de finos, corroborando com o ensaio de granulometria.

Figura 54- Morfologia geral da amostra AM-08

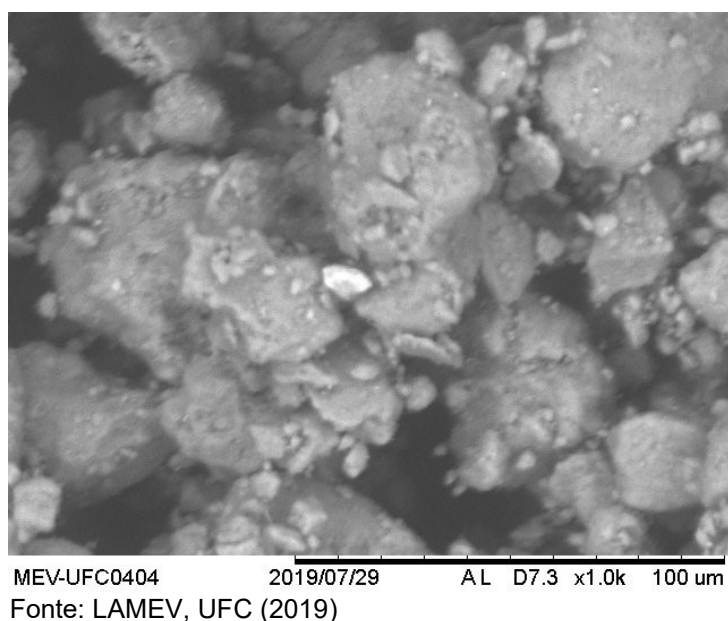
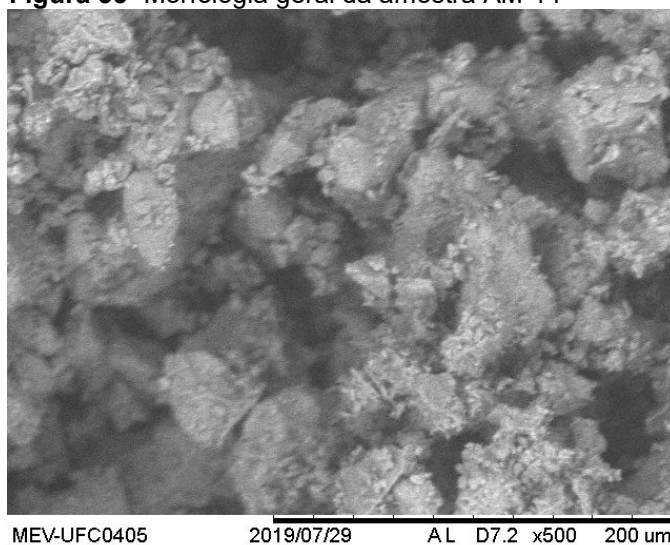


Figura 55- Morfologia geral da amostra AM-14



Fonte: LAMEV, UFC (2019)

Nas amostras AM-08 e AM-14, há uma presença de cristais grandes de quartzo. No entanto, na amostra AM-14, mesmo com a presença de cristais de quartzo, nota-se menos quantidades de vazios, também corroborando com o ensaio granulométrico, o qual evidenciou uma composição mais uniforme.

6.6 ENSAIO DE IMPERMEABILIZAÇÃO

Com o objetivo de investigar as características do local onde seriam realizados os testes de infiltração e impermeabilização, realizou-se, conforme descrito na metodologia, primeiramente, o ensaio de sondagem do solo, motivo pelo qual o mesmo foi incluído neste item.

6.6.1 Ensaio de Sondagem à Trado

A metodologia utilizada seguiu a recomendação da NBR 6457:2016 e possibilitou classificar o solo sob o ponto de vista da geotecnia. A seguir, serão demonstrados os resultados dos ensaios de granulometria, os quais são necessários para a definição do tipo de solo.

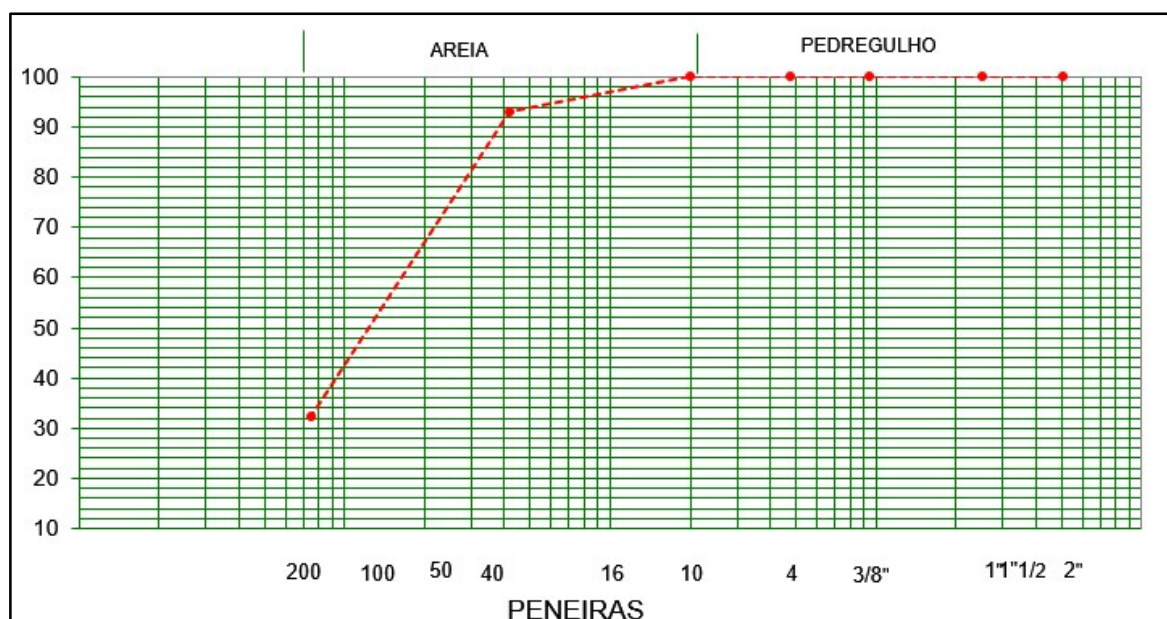
6.6.1.1 Ensaio de Granulometria

Para analisar o solo, segundo a sua textura e o tamanho dos grãos, realizou-se o ensaio de granulometria. O método utilizado para classificação foi o TRB, que é utilizado para classificação dos solos a serem empregados em subleitos de rodovias

(DNIT, 2006). Segundo essa classificação, os grupos A-1, A-2 e A-3 compreendem os solos granulares (solos arenosos) e os grupos A-4, A-5, A-6 e A-7, os solos finos.

A análise é realizada tomando como base os percentuais passantes nas peneiras de números 10, 40 e 200, da ABNT. No caso do solo analisado, obteve-se o seguinte resultado: 100% passaram na peneira 10, 92,9% passaram pela peneira nº 40 e apenas 32,3% passaram na 200. Situação que pode ser vista no Gráfico 4.

Gráfico 4- Distribuição Granulométrica do solo.



Fonte: Autoria Própria (2019)

De acordo com o resultado, o solo enquadra-se no tipo A-2, característico de solos granulares (Figura 56). Condição ideal e favorável para comprovar a eficiência das argilas para aplicação na impermeabilização.

Figura 56- Sistema TRB de Classificação dos solos

Classificação Geral	Materiais granulares (p) (35% ou menos passando na peneira nº 200)							Materiais siltsos e argilosos (p) (mais de 35% passando na peneira de nº 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Peneiração % que passa na peneira											
Nº10	50 máx										
Nº40	30 máx	50 máx	51 máx								
Nº200 (p)	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx	36 mín	36 mín	36 mín	36 mín

Fonte: Manual de Pavimentação- adaptado (2006) DNIT

6.6.2 Teste do Infiltrômetro de Anéis Concêntricos

Através do ensaio realizado pelo método de infiltrômetro dos anéis, bem como das transformações logarítmicas, segundo modelo de Kostiakov, *apud* Pereira (2015), chegou-se aos resultados da infiltração acumulada (*I*) e da velocidade de infiltração básica (*VIB*), conforme pode ser visto na Tabela 8 e 9.

Tabela 8- Transformação logarítmica no tempo acumulado do teste de Infiltração realizado no terreno do Centro Universitário Santo Agostinho/CEP

Tempo acumulado (min)	X	Y	Log Y	XY	X ²
2	0,3010	1,0000	0,0000	0,0000	0,0906
4	0,6021	2,0000	0,3010	0,1812	0,3625
6	0,7782	4,0000	0,6021	0,4685	0,6055
8	0,9031	5,0000	0,6990	0,6312	0,8156
10	1,0000	6,0000	0,7782	0,7782	1,0000
15	1,1761	9,0000	0,9542	1,1223	1,3832
20	1,3010	12,0000	1,0792	1,4040	1,6927
30	1,4771	16,0000	1,2041	1,7786	2,1819
40	1,6021	20,0000	1,3010	2,0843	2,5666
50	1,6990	24,0000	1,3802	2,3449	2,8865
60	1,7782	30,0000	1,4771	2,6265	3,1618
Total	12,62		9,77612	13,41988	16,74686

Fonte: Autoria Própria (2019)

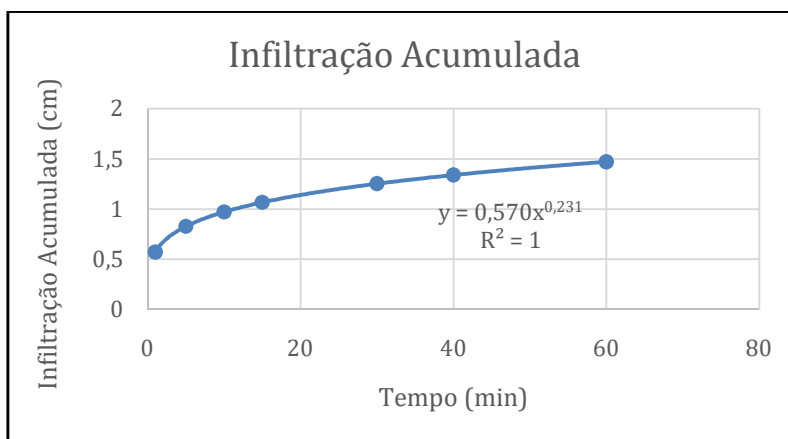
Tabela 9- Resultado das infiltrações acumuladas e velocidades de infiltração acumulada em função do tempo- CEP

Fonte: Tempo (min)	I (cm)	VIB (cm/min)	VIM (cm/min)
1	0,570185886	0,132125797	0,570185886
5	0,827912883	0,038369469	0,165582577
10	0,972166246	0,022527432	0,097216625
15	1,067935742	0,016497761	0,071195716
30	1,254010056	0,009686144	0,041800335
40	1,340455288	0,007765394	0,033511382
60	1,472505469	0,005686916	0,024541758

Fonte: Autoria Própria (2019)

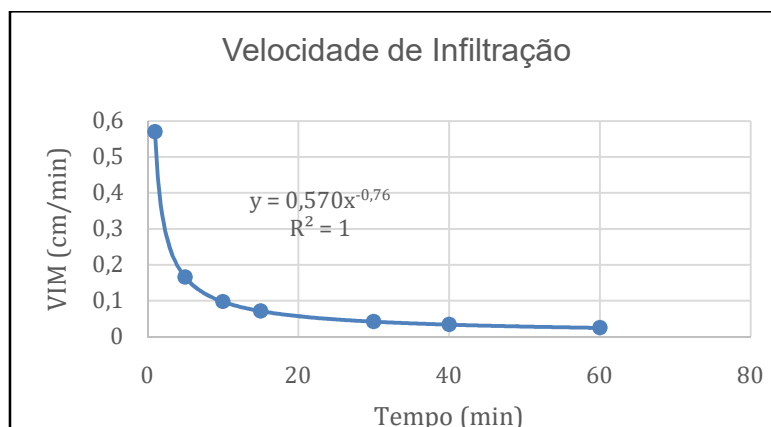
Com base na Tabela 9, foram construídos os gráficos de infiltração em função do tempo (Gráfico 5) e velocidade de infiltração média (Gráfico 6), como segue:

Gráfico 5- Infiltração Acumulada em função do Tempo



Fonte: Autoria Própria (2019)

Gráfico 6- Velocidade de Infiltração pelo método de Kostiakov



Fonte: Autoria Própria (2019)

De acordo com Bernardo et al. (2008) *apud* Aragão et al.(2017), os solos recebem uma classificação de acordo com a velocidade de infiltração básica (VIB), conforme segue o Quadro 9.

Quadro 9- Velocidades de infiltração básica dos solos

VIB > 3cm/h (VIB muito alta)	> 3 VIB > 1,5 cm/h (VIB alta)	> 1,5 VIB > 0,5 cm/h (VIB média)	VIB < 0,5 cm/h (VIB baixa)
---------------------------------	----------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------

Fonte: BERNARDO et al. (2008) *apud* ARAGÃO et al.(2017)

A VIB do solo analisado foi de aproximadamente $4,2 \text{ cmh}^{-1}$, com a velocidade de infiltração média considerada muito alta. Logo, trata-se de um solo de textura franco-arenoso, bastante permeável, segundo Bernardo et al. (2006), corroborando com o resultado do teste de sondagem.

6.6.3 Teste de Impermeabilização com as argilas

Considerando que foram realizados 03 (três) testes com as mesmas amostras de argila, o primeiro em um período chuvoso (março) e outros dois num período quente e seco (outubro), aqui se apresentam os resultados obtidos dos ensaios, os quais serão discutidos e comparados com o método de Kostiakov, a fim de verificar a eficiência do método proposto e desenvolvido pelos autores.

Dos três testes realizados com as 4 cavas prismáticas de dimensões (40 x 40 x 30 cm), considerando uma cava sem revestimentos e as outras três revestidas com as argilas AM-02, AM-08 e AM-14, obteve-se os valores das infiltrações acumuladas (I) em função do tempo, como também os das velocidades de infiltração média (VIM), respectivamente, seguindo os mesmos procedimentos e métodos proposto por Kostiakov.

Serão apresentadas, buscando melhor entendimento, as tabelas 9 a 12 (primeiro teste), as tabelas 13 a 16 (segundo teste) e 17 a 20 (terceiro teste), referentes aos valores das infiltrações em função do tempo e das velocidades de infiltração básica e média, obtidos por meio de uma régua graduada, conforme explicado na metodologia.

Um dado que merece ser destacado, segundo Bernardo et al. (2008), é que as equações de Kostiakov não se aplicam para infiltrações muito lentas em um dado intervalo de tempo, resultando em velocidades de infiltração básica (VIB) negativas, situação que ocorreu com algumas amostras.

- PRIMEIRO TESTE

Tabela 10- Infiltrações em função do tempo – AMOSTRA S/ REVEST.

Tempo (min)	I (cm)	VIB(cm/min)	VIM (cm/min)
1	0,086704696	0,550247197	0,867046963
5	0,373821916	0,237235663	0,373821916
10	1,611709986	0,102282684	0,161170999
15	2,084674759	0,088198717	0,138978317
30	3,236522327	0,068465624	0,107884078
40	3,884789538	0,061634336	0,097119738
50	4,475780039	0,056808582	0,089515601
60	5,024801461	0,053147504	0,083746691

Tabela 12- Infiltrações em função do tempo – AMOSTRAAM-08

Tempo (min)	I (cm)	VIB (cm/min)	VIM (cm/min)
1	0,159265635	0,663768808	1,592656347
5	0,813203156	0,067783473	0,162640631
10	1,085572516	0,04524323	0,108557252
15	1,285429044	0,035715079	0,085695270
30	1,715962895	0,023838636	0,057198763
40	1,934543090	0,020156410	0,048363577
50	2,123085269	0,017696696	0,042461705
60	2,290697156	0,015911502	0,038178286

Fonte: Autoria Própria (2019)

Tabela 11-Infiltrações em função do tempo AMOSTRA AM-02

Tempo (min)	I (cm)	VIB (cm/min)	VIM (cm/min)
1	0,105536518	0,521546545	1,055365184
5	0,729473812	0,072099128	0,145894762
10	1,027482588	0,050776736	0,102748259
15	1,255440921	0,04136141	0,083696061
30	1,768320761	0,029129304	0,058944025
40	2,038468488	0,025184557	0,050961712
50	2,276122122	0,022496547	0,045522442
60	2,490725181	0,020514686	0,041512086

Tabela 13- Infiltrações em função do tempo- AMOSTRA AM-014

Tempo (min)	I (cm)	VIB (cm/min)	VIM (cm/min)
1	0,811957104	-0,043091996	0,811957104
5	0,745482606	-0,007912815	0,149096521
10	0,718557161	-0,00381351	0,071855716
15	0,703259889	-0,002488216	0,046883993
30	0,67785945	-0,001199173	0,022595315
40	0,667588637	-0,000885753	0,016689716
50	0,659729267	-0,00070026	0,013194585
60	0,653376428	-0,000577931	0,010889607

- SEGUNDO TESTE

Tabela 14- Infiltrações em função do tempo – AMOSTRA S REVEST.

Tempo (min)	I (cm)	VIB(cm/min)	VIM (cm/min)
1	0,455753007	2,930596295	4,557530070
5	2,003329854	1,288187013	2,003329854
10	8,805933135	0,566241684	0,880593313
15	11,42894385	0,489938109	0,761929590
30	17,84741351	0,382543199	0,594913784
40	21,47403998	0,345207497	0,536850999
50	24,78729394	0,318775963	0,495745879
60	27,87048157	0,298689308	0,464508026

Tabela 16- Infiltrações em função do tempo–AMOSTRAAM-08

Tempo (min)	I (cm)	VIB (cm/min)	VIM (cm/min)
1	0,979270272	0,451128258	0,979270272
5	2,055429879	0,189378260	0,411085976
10	2,828658755	0,130310082	0,282865875
15	3,409588164	0,104714814	0,227305878
30	4,692235677	0,072053656	0,156407856
40	5,357181286	0,061698387	0,133929532
50	5,937185974	0,054702618	0,118743719
60	6,457400305	0,049579703	0,107623338

Fonte: Autoria Própria (2019)

Tabela 15- Infiltrações em função do tempo AMOSTRA AM-02

Tempo (min)	I (cm)	VIB (cm/min)	VIM (cm/min)
1	0,037796344	0,268282994	0,377963435
5	0,607294206	0,086212947	0,121458841
10	0,99328494	0,070504560	0,099328494
15	1,324541424	0,062678363	0,088302762
30	2,166408036	0,051258083	0,072213601
40	2,657194081	0,047152708	0,066429852
50	3,113229733	0,044196158	0,062264595
60	3,543357491	0,041918630	0,059055958

Tabela 17- Infiltrações em função do tempo- AMOSTRA AM-014

Tempo (min)	I (cm)	VIB (cm/min)	VIM (cm/min)
1	0,961626998	0,278045541	0,961626998
5	1,53146597	0,08856184	0,306293194
10	1,871317101	0,054107401	0,187131710
15	2,104081429	0,040558377	0,140272095
30	2,571002971	0,02477939	0,085700099
40	2,79400679	0,02019653	0,069850170
50	2,980218387	0,017234051	0,059604368
60	3,141540145	0,015139121	0,052359002

- TERCEIRO TESTE

Tabela 18- Infiltrações em função do tempo – AMOSTRA S REVEST.

Tempo (min)	I (cm)	VIB(cm/min)	VIM (cm/min)
1	0,263043731	1,774659348	2,630437308
5	1,243630006	0,839031445	1,243630006
10	5,879689997	0,396681068	0,587969000
15	7,729594792	0,347658229	0,515306319
30	12,33816571	0,277470227	0,411272190
40	14,98104716	0,252679044	0,374526179
50	17,41501264	0,234985376	0,348300253
60	19,6944778	0,221452336	0,328241297

Tabela 20- Infiltrações em função do tempo- AMOSTRA AM-08

Tempo (min)	I (cm)	VIB (cm/min)	VIM (cm/min)
1	0,95470102	0,519246968	0,954701020
5	2,291006126	0,249208487	0,458201225
10	3,340040719	0,181659596	0,334004072
15	4,164137349	0,150987283	0,277609157
30	6,070864739	0,110061616	0,202362158
40	7,099091656	0,096527126	0,177477291
50	8,015131005	0,087186090	0,160302620
60	8,850668358	0,080229004	0,147511139

Fonte: Autoria Própria (2019)

Tabela 19- Infiltrações em função do tempo AMOSTRA AM-02

Tempo (min)	I (cm)	VIB (cm/min)	VIM (cm/min)
1	0,997447571	0,452237106	0,997447571
5	2,069184121	0,187631283	0,413836824
10	2,833247016	0,128457823	0,283324702
15	3,405047889	0,102921968	0,227003193
30	4,662389235	0,070463367	0,155412974
40	5,311963059	0,060210353	0,132799076
50	5,877511666	0,053296613	0,117550233
60	6,384013995	0,048241266	0,106400233

Tabela 21- Infiltrações em função do tempo- AMOSTRA AM-014

Tempo (min)	I (cm)	VIB (cm/min)	VIM (cm/min)
1	0,031367965	0,249463443	0,313679653
5	0,704116911	0,111994149	0,140823382
10	1,221935232	0,097178177	0,122193523
15	1,686903367	0,089437471	0,112460224
30	2,927477842	0,077605576	0,097582595
40	3,680060935	0,073167056	0,092001523
50	4,394664181	0,069899851	0,087893284
60	5,080389715	0,067338950	0,084673162

Buscando avaliar as características do solo, no tocante a permeabilidade, realizou-se, a priori, a análise comparativa da infiltração da água no solo, entre o primeiro teste empírico nas cavas sem revestimento argiloso e o teste realizado pelo método dos anéis concêntricos. Como os outros dois testes foram feitos em período diferente, não será feita comparação considerando-os, pois resultariam em valores muito divergentes.

As infiltrações, em ambos os métodos supracitados, foram calculadas pelo método de Kostiakov. Pode-se verificar na Tabela 10 (cava sem revestimento) que aos 60 minutos, houve uma infiltração de 5,02 cm, valor este que se comparado com o resultado obtido pelo método dos anéis concêntricos (Tabela 8), também aos 60 minutos, se constatará que a infiltração ocorrida foi menos da metade, ou seja, 1,47 cm.

No caso da infiltração pelo método dos anéis concêntricos, a água infiltra somente na direção vertical, devido à blindagem das paredes pelo anel. Diferente da infiltração pelo método empírico, que se dá tanto na vertical, quanto na horizontal. Em ambas as situações, pode-se observar que as velocidades de infiltração da água foram mais elevadas durante os 10 minutos iniciais, mantendo-se mais baixas e mais estáveis após esse tempo. Condição esta que também pode ser comprovada através dos valores das velocidades de infiltração básica (VIB).

Far-se-á agora a comparação entre as infiltrações ocorridas nas cavas prismáticas sem revestimento, com as cavas revestidas com as três amostras de argilas, nas três situações. Ressalta-se que os testes foram realizados praticamente no mesmo horário, por volta das 12 horas. Para facilitar a visualização, a síntese dos resultados, aos 60 minutos, será demonstrada no Quadro 10.

Quadro 10- Resumo das infiltrações aos 60 minutos, nas três situações, ocorridas nas 04 cavas.

CAVAS	INFILTRAÇÕES (cm)		
	Primeiro Teste	Segundo Teste	Terceiro Teste
Sem Revestimento	5,02	27,87	19,69
AM-02	2,49	3,54	6,38
AM-08	2,29	6,45	8,85
AM-14	0,65	3,14	5,08

Fonte: Autoria Própria (2019)

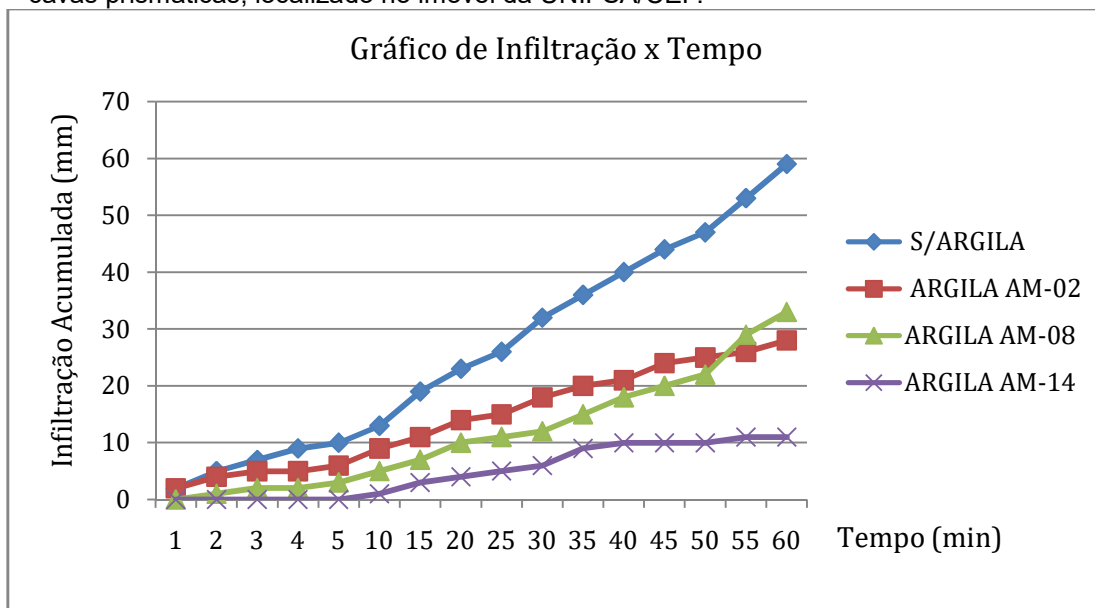
Pode-se verificar que aos 60 minutos de ensaio, nas três cavas revestidas com as amostras de argilas (AM-02, AM-08, e AM-14), nos três testes, houve uma menor infiltração, se comparada com a ocorrida na cava sem revestimento, comprovando uma eficiência das três argilas em relação à capacidade de impermeabilização.

Confrontando os resultados do primeiro teste com os outros dois, é notório que as infiltrações ocorridas nos períodos mais quentes e consequentemente mais secos, foram bem maiores e, por conseguinte, as velocidades de infiltração também. Situação que pode ser constatada nas Tabelas de 10 a 21 (páginas 99 a 101).

Comparando as infiltrações ocorridas apenas entre as cavas revestidas com as argilas, constatou-se que, no geral, a amostra AM-14 foi mais eficiente dentre as três amostras, apresentando as menores taxas de infiltração nos três testes realizados.

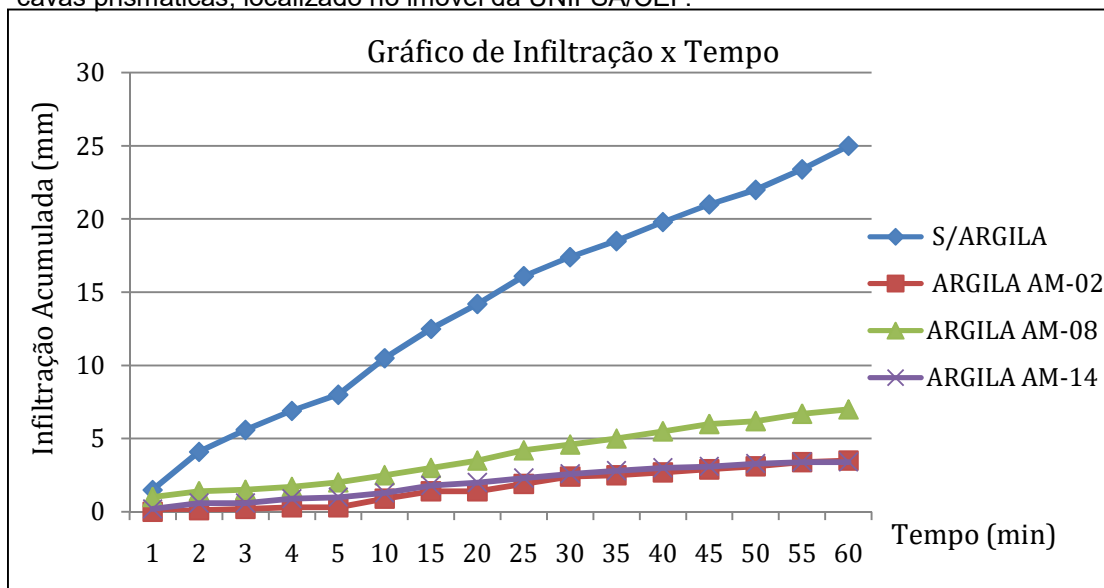
Buscando verificar outras formas de interpretar a infiltração de água nas cavas em função do tempo, de uma maneira menos complexa, construiu-se os gráficos cartesianos, nos quais no eixo das abscissas colocou-se o tempo (s) e no eixo das ordenadas, os valores das infiltrações acumuladas (mm), obtidos com auxílio de uma regra graduada, cujas leituras nos primeiros 5 minutos foram realizadas com intervalo de 1 minuto e as demais, com intervalos de 5 minutos (Gráficos 07, 08 e 09).

Gráfico 07- Infiltração acumulada referente ao primeiro teste realizado em quatro cavas prismáticas, localizado no imóvel da UNIFSA/CEP.



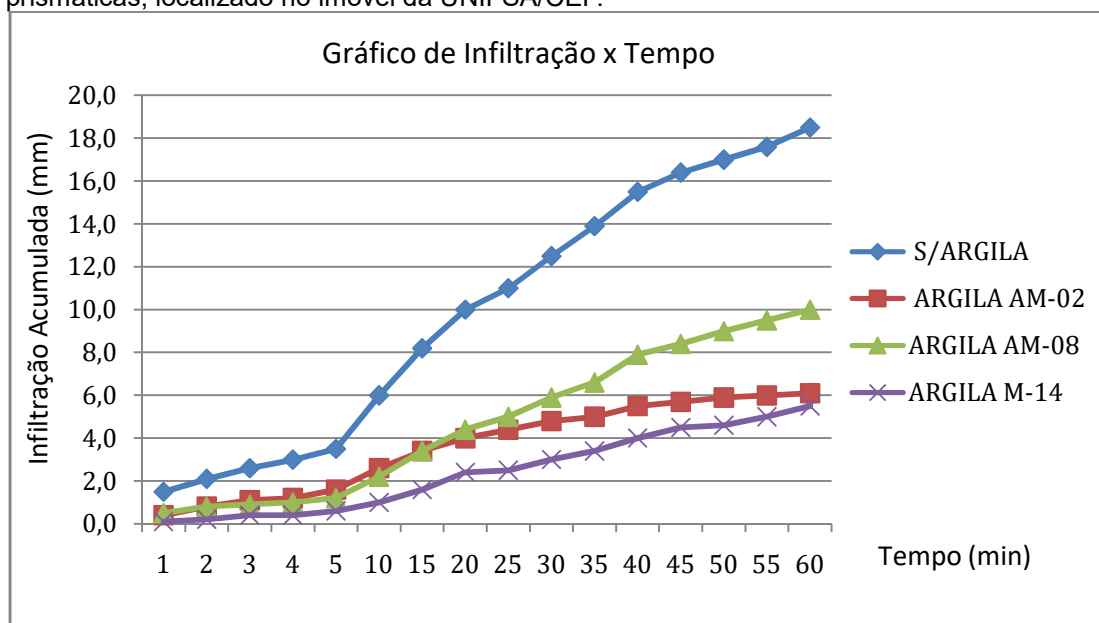
Fonte: Autoria Própria (2019)

Gráfico 08- Infiltração acumulada referente ao segundo teste realizado em quatro cavas prismáticas, localizado no imóvel da UNIFSA/CEP.



Fonte: Autoria Própria (2019)

Gráfico 09- Infiltração acumulada referente ao terceiro teste realizado em quatro cavas prismáticas, localizado no imóvel da UNIFSA/CEP.



Fonte: Autoria Própria (2019)

Nota-se, no Gráfico 11 (primeiro teste), que após 50 minutos de infiltração, houve uma mudança no comportamento das infiltrações nas cavas que foram revestidas com as argilas AM-02 e AM-08. Deduz-se que tal ocorrência deve-se ao fato da argila AM-02 pertencer ao grupo das argilas ilíticas, as quais, quanto maior o tempo de hidratação, tornam-se mais expansivas e, consequentemente, menos porosa, além de conter um percentual alto de finos, de acordo com a análise residual

de 96,72%, favorecendo a retenção de água.

Procurando verificar e ratificar tal hipótese, no segundo teste procedeu-se a hidratação da argila AM-02 com bastante antecedência da sua aplicação e pode-se observar no Gráfico 12 (segundo teste), uma mudança no seu comportamento, pois conseguiu uma boa impermeabilização desde o início do processo, se equiparando à amostra AM-14.

Pode-se observar, no Gráfico 13 (terceiro teste), que até atingir 15 minutos aproximadamente, a infiltração ocorrida na cava com a amostra AM-02 foi maior, ocorrendo novamente uma inversão. Isso deveu-se ao tempo de hidratação, pois, dessa vez, este foi menor que no segundo ensaio e maior que no primeiro.

Analisando os três Gráficos supracitados, de forma geral, pode-se observar que as três argilas conseguiram impedir a infiltração rápida de água no solo. A amostra AM-14, mostrou ser a mais eficiente quanto ao poder de impermeabilização, corroborando com o resultado de plasticidade, ela possui o maior índice de plasticidade, ou seja, 21,20%. A amostra AM-08 foi considerada a menos eficiente. Esse resultado condiz com as análises físicas, químicas e mineralógicas desses materiais.

Buscando, de outra forma, comprovar o potencial de impermeabilização da argila AM-14, procedeu-se com os registros fotográficos de diferentes ângulos do local das coletas da argila, nos meses de agosto/2018 e outubro/2019. As imagens comprovam que a lagoa se mantém com um nível razoável de água, conforme atestam as Figuras 57 e 58.

Figura 57- Local de extração da argila AM-14 em agosto/2018



Fonte: Autoria Própria (2018)

Figura 58- Local de extração da argila AM-14 em outubro/2019



Fonte: Autoria Própria (2019)

7. CONCLUSÃO

Através deste estudo, propôs-se identificar na região da Grande Teresina, num raio de 50 km, argila(s) que tivesse(m) um potencial de impermeabilizar reservatórios de água. Foram coletadas e mapeadas 33 (trinta e três) amostras, as quais foram caracterizadas por meio de ensaios tecnológicos, e dentre elas, selecionadas três, denominadas de AM-02, AM-08 e AM-14.

A partir dos três testes de infiltração realizados com as amostras supracitadas, num terreno arenoso (com alta velocidade de infiltração), ficou comprovado que as cavas revestidas com as argilas conseguiram reter água por mais tempo, do que a cava desprovida de revestimento argiloso.

Quando comparada com as argilas AM-02 e AM-08, a amostra AM-14, extraída às margens de uma lagoa, localizada nas proximidades do rio Parnaíba, município de Timon (Maranhão), foi a que obteve, ao final de 60 minutos, o melhor potencial de impermeabilização. Tal resultado é compatível com os dados obtidos nos ensaios de caracterização, nos quais a AM-14 apresentou:

- ✓ Maior índice de plasticidade (21,20%), contribuindo com uma menor condutividade hidráulica;
- ✓ Distribuição granulométrica gradativa, com predominância de finos (97,19%) e pouca areia (2,81%).
- ✓ Composição mineralógica favorável, apresentando uma maior porcentagem de argilomineral (caolinita= 57,3%) e por possuir estrutura lamelar, contribui para uma boa vedação dos poros.
- ✓ A porcentagem de resíduos encontrada na amostra (42,43%) e de matéria orgânica, pode ter contribuído para o aumento da plasticidade e consequente impermeabilização da cava.

A amostra de argila AM-08 foi a segunda mais eficiente, apesar de possuir uma grande quantidade de finos (96,72%) e pertencer ao grupo das ilíticas, conhecidas por possuírem uma condutividade hidráulica menor que as caoliníticas.

Outro objetivo desse trabalho, tão importante quanto o anterior, foi a construção do “SIGARG”, Sistema de Informações Geográfica das Argilas da Região da Grande Teresina, desenvolvido no ambiente QGIS, tomando como base, informações cartográficas existentes e as coordenadas georreferenciadas das 33 amostras de argila com seus respectivos atributos (resultados dos ensaios de

caracterização), cujos produtos, por exemplo, podem ser visualizados através dos Apêndices A, B e C.

Em face de tantas amostras de argilas e das dificuldades encontradas em realizar as análises químicas e mineralógicas, não houve tempo hábil para concluir o estudo de todas. Sugere-se para trabalhos futuros, a conclusão dessas análises, seguindo os mesmos critérios, bem como avaliá-las de forma combinada, buscando encontrar outras que tenham o mesmo ou um melhor potencial de impermeabilização.

Pela relevância da pesquisa, pretende-se expandir a área de abrangência da mesma, aumentando o número de amostras e consequente ampliação do banco de dados do SIGARG, buscando subsidiar novos pesquisadores, instituições de ensino, órgãos governamentais, empresas públicas e privadas, sobretudo as do setor cerâmico.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Solo-Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.

_____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: Solo-Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.

_____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724**: Informação e documentação. Trabalhos Acadêmicos - Apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

AMORIM, Monthana Ima; PIAZZA, Fátima Cecília Poletto. **Uso das argilas na estética facial e corporal**. Disponível em: <<http://siaibib01.univali.br/pdf/monthana%20imai%20de%20amorim.pdf>>. Acesso em: 17/07/2019.

ANDRES, José Pichel. **Surpreendentes aplicações industriais da argila**. Artigo. Disponível em: <<http://www.dicyt.com/noticia/surpreendentes-aplicacoes-industriais-da-argila>>. Acesso em: 16/07/2019.

ANTUNES, F. dos S.; BARRETO, W. de O. **Contribuição ao estudo químico e mineralógico das frações silte e argila de Latossolos desenvolvidos de rochas básicas do sul de Mato Grosso**. Rio de Janeiro: IME, 1982. 13 p.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. 5.ed., Vol. 1. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científico, 2000, 705 p.

BORTOLUZZI, Edson Campanhola; PERNES, Miguel; TESSIER, Daniel. **Interestratificado caulinita-esmectita em um argissolo desenvolvido a partir de rocha sedimentar do Sul do Brasil**. Rev. Bras. Ciênc. Solo, vol.31, n^o.6. Viçosa, 2007.

CAMPOS, Clarismar de Oliveira, **Elementos de Geologia**. 2.ed., Petrolina, 2009.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. São Paulo: Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 6.ed., v. 1, 1989.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. São Paulo: Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 6.ed., ver. e ampl., v. 1, 2013.

CÁRITAS BRASILEIRA. **Projeto Cisterna nas escolas**. Teresina-PI, 2016.

CARVALHO, Rita de Cássia P.S., CARVALHO Luiz Fernando Meneses. **Manual de Orientação para Elaboração de Projetos de Pesquisa**. Teresina: IFPI, 2015.

CASTRO, Raimundo José de Sousa. Dissertação de Mestrado. **Formulação e caracterização de matérias-primas para revestimento cerâmico semi-poroso com adição de chamote de telhas**. Natal-RN, 2008.

PIAUÍ. CPRM. Divisão de Cartografia. **Mapa geológico do Piauí.**

_____. CPRM. **O intemperismo e a erosão.**

BRASIL. DNOCS. **Municípios em emergência no Piauí e em Minas Gerais.** Disponível em: <<http://www2.dnocs.gov.br/gab-cs/3599-seca-e-estiagem-deixam-176-municipios-em-emergencia-no-piaui-e-em-minas-gerais>>. Acesso em: 21/03/2018.

_____. DNIT – **Manual de Pavimentação, 2006.**

_____. EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos.** Org: Guilherme Kangussú Donagema, et al. Dados eletrônicos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.

_____. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL- CPRM. **Glossário Geológico Ilustrado.** Disponível em:<http://sigep.cprm.gov.br/glossario/verbete/metamorfismo.htm>. Acesso em: 23/03/2018.

_____. MEC, SESG, SETC. **Manual de orientação: Irrigação e Drenagem. Rio de Janeiro.** Série Ensino Agrotécnico. FAE, 1987.

_____. INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Divisão de Processamento de Imagens – DPI. **Sistemas de informação geográfica para aplicações ambientais e cadastrais: uma visão geral.** Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/geopro/trabalhos/analise.pdf>>. Acesso em: 27/08/2019

DEDAVID, Berenice Anina et al. **Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores [recurso eletrônico]** Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.

FAGUNDES, Elliane Aparecida Antunes et al. **Determinação da Infiltração e velocidade de água pelo método de infiltrômetro de anel em solo de cerrado no município de Rondonópolis-MT.** Dissertação publicada em 30/06/2012. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br>>. Acesso em: 21/08/2019.

FERREIRA M. M. **Caracterização de Argilas Cauliníticas do Quadrilátero Ferrífero visando seu Potencial de Aplicação na Indústria de Cerâmica.** Dissertação, 2010.

FERREIRA, Railson da Cunha. **Application of clay maranhense as adsorbent for textile dyes violet crystal and turquoise blue in aqueous system.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Maranhão-UFM, São Luís, 2014.

FONSECA, João José Saraiva. **Metodologia da pesquisa científica.** Apostila. Fortaleza: UEC, 2002.

GOMES, C. F. **Argilas, o que são e para que servem.** Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1988, 457 p.

GOMES, Marcos Antonio Ferreira. **Água: sem ela seremos o planeta Marte de amanhã.** 2011. 2002c. Disponível em: <http://webmail.cnpma.embrapa.br/down_hp/464.pdf19/03>. Acesso em: 19 março. 2017.

JUNIOR, Zacarias Linhares. **Otimização de massa cerâmica utilizando delineamento estatístico para produção de bloco cerâmico.** Dissertação de Mestrado. Teresina-PI: 2015.

LEME, Mariane Alves de Godoy. **Caracterização de solo utilizado no sistema de barreira impermeabilizante de base de uma célula experimental de resíduos sólidos urbanos.** 2013. 172 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP. Disponível em: <<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/258581>>. Acesso em: 23 ago. 2018.

LIMA, José & Correia, et al. **Rebocos de terra: Influência da adição de gesso e da granulometria da areia.** Artigo. Rev. Argamassas 2016. II Simpósio de Argamassas e Soluções Térmicas de Revestimento. Coimbra: 16 e 17 de Junho, 2016.

LOPES, Christian Wittee et al. Síntese e caracterização de argilas organofílicas contendo diferentes teores do surfactante catiônico brometo de hexadeciltrimetilamônio. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 34, n. 7, p. 1152-1156, 2011. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422011000700009&lng=en&nrm=iso>. access on 19 Feb. 2020. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422011000700009>.

LUKIANCHUKI, Juliana Azoia. **Influência do teor de bentonita na condutividade hidráulica e na resistência ao cisalhamento de um solo arenoso utilizado como barreira impermeabilizante.** São Carlos-SP, 2007

MACÍAS-QUIROGA, Iván Fernando; GIRALDO-GÓMEZ, Gloria Inés; SANABRIA-GONZÁLEZ, Nancy Rocío. Characterization of Colombian Clay and Its Potential Use as Adsorbent. **The Scientific World Journal**, [s.l.], v. 2018, p.1-11, 24 out. 2018. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2018/5969178>

MEDEIROS, Renato Sol Paiva de. **Depósitos carbonáticos-siliciclástico da porção superior da Formação do Piauí, carbonífero da bacia do Parnaíba, região de José de Freitas-PI.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Pará – UFP, 2015.

OKE, Samson Adeleke; ABIMBOLA, Akinlolu Festus; RAMMLMAIR, Dieter. Mineralogical and Geochemical Characterization of Gold Bearing Quartz Veins and Soils in Parts of Maru Schist Belt Area, Northwestern Nigeria. **Journal Of Geological Research**, [s.l.], v. 2014, p.1-17, 2014. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/314214>.

ONU NEWS. **Relatório da ONU revela que 21 bilhões não tem água potável em casa**. Artigo. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2017/07/1590691-relatorio-da-onu-revela-que-21-bilhoes-nao-tem-agua-potavel-em-casa>>. Acesso em: 21/03/2018.

PATRICIA MOREIRA, Procópio Calazans. **Geoprocessamento aplicado à pesquisa mineral**. Dissertação (Especialização). Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Departamento de Cartografia. Belo Horizonte, 2000. Disponível em: <<http://www.csr.ufmg.br/geoprocessamento/publicacoes/procopiocalazans2000.PDF>>. Acesso em: 27/08/2019.

PEREIRA, M. M. et al. **Determinação da Velocidade de Infiltração pelo Método do Infilômetro de Anel**. XXV CONIRD - Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem: de 08 a 13 de novembro de 2015, UFS. São Cristóvão - SE.

PRESS, Frank et al. **Para Entender a Terra**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. xv, 656 p.

PINTO, Rogério César de Almeida. **Estudo de Formulação de massa para aplicação em placas cerâmicas**. Dissertação de Mestrado. Natal-RN, 2010.

QGIS. **Definição e funcionalidades do QGIS**. Disponível em: <https://qgis.org/pt_BR/site/about/index.html>. Acesso em: 27/08/2019.

QUEIROZ, Rudney C. **Geologia e geotecnica básica para a engenharia civil**. São Paulo: RiMa, 2009.

SANTOS, A. S. do. **As argilas como matérias-primas cerâmicas**. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAah5cAE/as-argilas-como-materias-primas-ceramicas>>. Acesso em: 28 de agosto de 2017.

SANTOS, Josias Paulo dos. **Determinação do Teor de Ilita em Argilominerais Interestratificados a partir da Análise do Potássio Total**. Feira de Santana: Sitientibus, n.18, p.127-141, 1998.

SARTOR, Lucas Resmni. **Polarização de argilas e perspectivas de aplicação e de pesquisa agrônômica e ambiental**. Revista Ciência Rural. V. 44. N^o. 9, pp 1541-1548. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v44n9/0103-8478-cr-44-09-01541.pdf>>. Acesso em: 16/07/2019.

SCAPIN, Marcos Antonio. Análise quantitativa de solo por Espectrometria de Fluorescência de Raios X (WDXRFS). **Revista Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento** [CD-ROM], 2002, vol. 4, n. 3, p. 1007-1014. IPEN-DOC 09372.

SCAPIN, Marcos Antônio. **Aplicação da Difração e Fluorescência de Raios X(WDXRF): Ensaios em Argilo minerais**. Dissertação de Mestrado. São Paulo, 2003.

SILVA, Juliana M. F. da, et al. **Modificação Química da Argila Montmorilonita (MMT) para Síntese de Membranas nanocompósitos aplicadas em Células a**

Combustível. I Encontro de Engenharia, Ciência de Materiais e Inovação do Estado do Rio de Janeiro, 2015.

SOARES, Roberto Arruda Lima. **Influência do teor de calcário no comportamento físico, mecânico e microestrutural de cerâmicas estruturais.** Dissertação de mestrado. Natal, RN, 2008.

SOARES, R. A.; CASTRO, R. J. S.; NASCIMENTO, R. M. **Estudo da potencialidade da aplicação de uma argila contaminada com calcário na produção de placas cerâmicas.** Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Piauí – IFPI. Teresina, 2012.

SUGUIO, Kenitiro. **Geologia Sedimentar.** 1ª Ed. São Paulo: Blucher, 2003.

TEIXEIRA NETO, Érico; TEIXEIRA NETO; ALBUQUERQUE, Ângela. **Modificação química de argilas:** desafios científicos e tecnológicos para obtenção de novos produtos com maior valor agregado. Revista Quim. Nova, Vol. 32, Nº. 3, 809-817, 2009.

TEIXEIRA, Wilson (Org.). **Decifrando a Terra.** 2ª ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009. 623 p.

TOLEDO, M.C.M.; OLIVEIRA, S.M.B. de; MELFI, A.J.. **Da rocha ao Solo – Intemperismo e pedogênese.** Cap 8 p.128-239. In: TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T.R.; TOLEDO, M.C.M.; TAIOLI, F. Decifrando a Terra. 2ª ed. São Paulo: IBEP, 2002

TUBINO, Luiz Carlos Bosi. **Características e aplicação das argilas.** Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - SENAI-RS. Escola de Educação Profissional SENAI Nilo Bettanin, 23/3/2007.

VARELA, Márcio. **Apostila de Mecânica dos Solos.** IFRN. Disponível em: <<http://docente.ifrn.edu.br/marciovarela/disciplinas/mecanica-dos-solos/apostila-de-mecanica-dos-solos/view>>. Acesso em: 17/04/2018.

VERAS, Denise (Org.) et al. **Manual de normalização de trabalhos acadêmicos do IFPI.** Teresina: IFPI, 2017.

APÊNDICE A – PRANCHA COM AS INFORMAÇÕES DA ARGILA AM-02

APÊNDICE B – PRANCHA COM AS INFORMAÇÕES DA ARGILA AM-08

APÊNDICE C – PRANCHA COM AS INFORMAÇÕES DA ARGILA AM-14