



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

AMANDA EVELYN BARBOSA DE AQUINO

**CONTRIBUIÇÃO À CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA NO MUNICÍPIO DE TERESINA-PI: cartas
de suscetibilidade à ocorrência de solos problemáticos e prática de fundação com uso
de geoprocessamento**

Recife

2020

AMANDA EVELYN BARBOSA DE AQUINO

CONTRIBUIÇÃO À CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA NO MUNICÍPIO DE TERESINA-PI: Cartas de suscetibilidade à ocorrência de solos problemáticos e prática de fundação com uso de Geoprocessamento

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil

Área de concentração: Geotecnia

Orientador: Prof. Dr. Silvio Romero de Melo Ferreira

Recife

2020

Catálogo na fonte
Bibliotecário Gabriel Luz, CRB-4 / 2222

A657c Aquino, Amanda Evelyn Barbosa de.
Contribuição à cartografia geotécnica no município de Teresina-PI: cartas de suscetibilidade à ocorrência de solos problemáticos e prática de fundação com uso de geoprocessamento / Amanda Evelyn Barbosa de Aquino – Recife, 2020.

198 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Silvio Romero de Melo Ferreira.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2020.
Inclui referências, apêndices e anexos.

1. Engenharia Civil. 2. Teresina. 3. Cartografia geotécnica. 4. Solos problemáticos. 5. Fundação. I. Ferreira, Silvio Romero de Melo (Orientador). II. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG / 2020-141

AMANDA EVELYN BARBOSA DE AQUINO

CONTRIBUIÇÃO À CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA NO MUNICÍPIO DE TERESINA-PI: cartas de suscetibilidade à ocorrência de solos problemáticos e prática de fundação com uso de geoprocessamento

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil

Aprovada em: 12/02/2020

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Silvio Romero de Melo Ferreira (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof.^a Dr.^a Katia Vanessa Bicalho (Examinadora Externa)
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof. Dr. Joaquim Teodoro Romão de Oliveira (Examinador Externo)
Universidade Católica de Pernambuco

Dedico este trabalho À Deus,

Aos meus país e avôs maternos, que sempre se esforçaram e se doaram em pró dos meus estudos. Ao meu irmão, Bruno, e meu namorado, Jomil Júnior, por toda compressão e incentivo. Amo vocês!

AGRADECIMENTOS

Cursar uma Pós-Graduação, a nível de mestrado, é um momento de crescimento intelectual e profissional que ocorre em um curto espaço de tempo, o que demanda muita dedicação, e o incentivo dos que estão ao nosso redor é de fundamental importância. Por isso, quero agradecer aqueles que tornaram possível a realização deste trabalho.

Agradeço primeiramente a Deus, que iluminou meus caminhos em todos os momentos, pela proteção constante e pela cura das enfermidades que surgiram.

A minha família, minha mãe, Luzinete, que encarou esse desafio como se fosse dela e me acompanhou por quase dois anos em Recife. Meu pai, Pedro, meu irmão, Bruno, e meu namorado, Jomil Júnior, por todo apoio e principalmente compreensão neste tempo que eu e minha mãe estivemos ausentes. Aos meus avós maternos, Raimundo e Dona Adelaide, que se deslocavam de Juazeiro do Norte/CE, até Recife, levando amor e alegria para nossos dias. A minha família Recifense Izabella, Shardson e Pedrinho por tanto acolhimento e carinho.

Mais uma vez, ao meu namorado, Jomil Júnior, pelas inúmeras atitudes que facilitaram esta caminhada onde não mediu esforços para coletar as amostras desta pesquisa.

Agradeço imensamente ao Grande Professor e melhor Orientador, Silvio Romero, pela dedicação, empenho e confiança. Obrigada Professor por compartilhar seus ensinamentos acadêmicos e principalmente os de vida.

Aos técnicos do Laboratório de Solos e Instrumentação da UFPE pela supervisão e dedicação a realização dos ensaios aqui apresentados: Gutemberg, Francisco e Antônio Brito.

A todos os servidores da UFPE, em especial a equipe que forma a Secretaria do PPGE/UFPE, pela disponibilidade e apoio, e a Vânia, por sempre estar disponível transmitindo amor e carinho.

Aos colegas graduandos, mestres, mestrandos e doutorandos que tornaram essa caminhada mais leve transmitindo-me conhecimentos técnicos e apoio: Raiza Bezerra, Magno Drumond, Fellipe Brandão, Ana Karine, Danilo Santos, Carlos Bessa, Débora Soares, Bruno, Carlla Rafaella, Arhur Araújo, Aline Cátia, Izabella Medeiros, Mayssa, Juciela, Camila Borba, Rafaella Moura e Manoely Oliveira.

À empresa Gusmão Engenheiros Associados, e aos Engenheiros: Jomil Borges, Bruno Marinho, Carol Mesquita, André Gonçalves, Augusto Andrade, Caio Valério, Pedro Bandeira, Iury Barros e Rafael Wildson pelo fornecimento dos dados essenciais à elaboração do projeto.

Aos professores Roberto Quental Coutinho, Fernando Jucá, Joaquim Oliveira e Leona Guimarães por compartilharem com maestria seus conhecimentos. Saudações Geotécnicas!

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, pela bolsa concedida à realização desta dissertação. "O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

Aos Geólogos da CPRM Sidney Barros e Jorge Pimentel, e Engenheiro Roberto José Amorim Rufino Fernandes, por compartilharem conhecimento e material técnico para esta pesquisa. Aos técnicos da EMPRAPA Recife, por terem apresentado a plataforma de banco de dados Ambiental do IBGE. Ao Pesquisador da Embrapa Meio-Norte, Aderson Soares de Andrade Júnior, e a coordenadora do curso Geoprocessamento do IFPI, Amanda Bezerra, pelas dúvidas tiradas e material compartilhado.

A todos, muito obrigada!

RESUMO

A cartografia geotécnica voltada para auxiliar uso e ocupação do solo nas cidades são de extrema importância, e o correto planejamento urbano pode prevenir a população de acidentes extremos naturais decorrentes do mal-uso do solo. Esta pesquisa destina-se reunir conhecimento geotécnico atualizado da Cidade de Teresina-PI, estabelecendo subsídios ao enfrentamento de solos problemáticos assim como compreender as técnicas de fundações adotadas no município através de Geoprocessamento. A capital do Piauí passa por uma expansão da área física e este estudo tem por finalidade contribuir para o entendimento geotécnico local assim como apresentar o histórico de ocorrências de eventos extremos naturais. Por meio dos mais recentes levantamentos Geológicos, Pedológicos e Climatológicos foram elaboradas cartas interpretativas de suscetibilidade à ocorrência de solos Colapsíveis e Expansivos de Teresina, assim como analisada a influência que a geologia, pedologia e a geotecnia exercem na prática de fundações. Foram coletadas amostras indeformadas e deformadas, realizados ensaios edométricos simples e análise microestrutural através do microscópio eletrônica de varredura (MEV). Foi utilizado o Sistema de Informação Geográfica (SIG's) ArcGIS (10.1) e calculado o índice de esbeltez de 134 prédios. O solo colapsível investigado apresentou grande quantidade de vazios, presença de grãos de areia de forma arredonda e subangulares revestidos por ligações instáveis, argilomineral do tipo caulinita e mostrou-se problemático para obras de engenharia pela classificação de JENNINGS e KNIGHT (1975). O solo expansivo é de média expansividade, pelo critério de Vijayvergiya e Ghazzaly (1973), com potencial de expansão de 1,9 % e apresenta argilomineral do tipo ilita. Na área analisada, os edifícios tem pequena esbeltez (93 %), predominância de soluções em fundações superficiais (76 %) correspondente às sapatas sem melhoramento (46 %). A prática de fundações em Teresina é influenciada pela presença de arenitos silificados, evidenciada pela profundidade da camada, espessura e principalmente as condições de fraturas destes. Predomina no município argilas de baixa e média atividade, como a caulinita e ilita, e não foi identificada argilas dispersivas. Quanto ao colapso, a Capital apresenta suscetibilidade de ocorrência alta em 9 % do seu território, média em 45 % e baixa em 46%, e a expansão, média em 16% e baixa em 84 % da área total do município.

Palavras-chave: Teresina. Cartografia geotécnica. Solos problemáticos. Fundação.

ABSTRACT

Geotechnical cartography aimed to assist land use and occupation extremely important in the cities, and the correct urban planning can prevent the population from extreme natural accidents caused by improper land use. This research aims to gather up-to-date geotechnical knowledge from the city of Teresina-PI, establishing subsidies facing of problematic soils, as well as understanding the techniques of foundations adopted in the municipality through geoprocessing. The capital of Piauí is undergoing for an expansion of the physical area and this study aims to contribute to the local geotechnical understanding, as shown by the history of occurrences of extreme natural events. Through the most recent geological, pedological and climatological surveys, interpretative charts of susceptibility to the occurrence of collapsive and expansive soils from Teresina were prepared, as well as the influence of geology, pedology and geotechnics in the practice of exercises was analyzed. Undeformed and deformed samples were collected, simple edometric tests and microstructural analyzes were performed using the scanning electron microscope (SEM). The ArcGIS Geographic Information System (GIS) (10.1) was used and the slenderness index of 134 buildings was calculated. The collapsible soil investigated has a large amount of pores, presence of rounding and subangular grains of sand covered by unstable contacts, kaolinite-type clay and appears to be problematic for engineering works by classification by JENNINGS and KNIGHT (1975). The expansive soil have medium expandability, according to the criteria of Vijayvergiya and Ghazzaly (1973), with a potential for expansion of 1.9% and presents a general illicit argument. In the analyzed area, the buildings have small slenderness (93%), predominance of solutions in superficial foundations (76%) corresponding sapatas without improvement (46%). The practice of foundations in Teresina is influenced by the presence of silified sandstones, evidenced by the depth of the layer, thickness and mainly as conditions of fractures present. It predominates at clayey municipalities of low and medium activity, such as kaolinite and illite, and dispersive clays have not been identified. As for the collapse, the city is susceptible to high occurrence in 9% of its territory, average in 45% and low in 46%, and expansion, average in 16% and low in 84% of the total area of the municipality.

Keywords: Teresina. Geotechnical cartography. Troublesome soils. Foundation.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	JUSTIFICATIVA	14
1.2	OBJETIVOS DO TRABALHO.....	15
1.3	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E CARTAS DE SUSCETIBILIDADE	17
2.2	SOLOS PROBLEMÁTICOS PARA A ENGENHARIA CIVIL.....	18
2.3	CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE TERESINA, PIAUÍ.	25
2.3.1	Informações Gerais.....	25
2.3.2	Expansão do Espaço Urbano de Teresina	30
2.3.3	Geologia.....	32
2.3.4	Pedologia	39
2.3.5	Clima.....	44
2.3.6	Geomorfologia (Relevo e Declividade)	50
2.3.7	Histórico de Ocorrência de Acidentes Extremos Naturais Geológicos e Hidrológicos em Teresina.	53
3	INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA	62
3.1	MATERIAIS E MÉTODOS DA INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA	63
3.1.1	Identificação das Áreas de Estudo.....	63
3.1.2	Coleta das amostras	64
3.1.3	Caracterização Física.....	65
3.1.4	Caracterização Mecânica	66
3.1.5	Caracterização Microestrutural.....	68
3.2	RESULTADOS COMPLEMENTARES.....	70
3.2.1	Caracterização Microestrutural do solo Colapsível e Expansivo	71
3.2.2	Caracterização Geomecânica	74
3.3	CONCLUSÕES PARCIAIS	79

4	PRÁTICA DE FUNDAÇÕES EM TERESINA, PI.....	81
4.1	INTRODUÇÃO	81
4.2	MATERIAIS E MÉTODOS DA PRÁTICA DE FUNDAÇÕES EM TERESINA, PI	81
4.2.1	Coleta de Dados	82
4.2.2	Unidades geológicas e pedológicas x tipos de fundações.....	84
4.2.3	Índice de Esbeltez.....	85
4.2.4	Confecção do banco de dados geotécnicos com base em sondagens	87
4.3	RESULTADOS COMPLEMENTARES.....	87
4.3.1	Unidades Geológicas x Tipos de Fundações	88
4.3.2	Unidades Pedológicas X Tipos de Fundações	92
4.3.3	Índice de Esbeltez.....	96
4.3.4	Banco de Dados Geotécnicos com base em sondagens	98
4.4	CONCLUSÕES PARCIAIS	103
5	SUSCETIBILIDADE Á OCORRÊNCIA DE SOLOS PROBLEMÁTICOS EM TERESINA	105
5.1	INTRODUÇÃO	105
5.2	MATERIAIS E MÉTODOS CARTAS DE SUSCETIBILIDADE	112
5.2.1	Geologia.....	112
5.2.2	Pedologia	117
5.2.3	Clima.....	120
5.3	RESULTADOS COMPLEMENTARES E APRESENTAÇÃO DAS CARTAS DERIVADAS 121	
5.3.1	Geologia.....	121
5.3.2	Pedologia.	126
5.3.3	Clima.....	134
5.4	COMPARTIMENTAÇÃO FINAL.....	135
5.5	CONCLUSÕES PARCIAIS	139
6	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA CONTINUAÇÃO DO TRABALHO	142
6.1	CONCLUSÕES FINAIS	142
6.2	SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	144

REFERÊNCIAS.....	146
APÊNDICE A.1 - INFORMAÇÕES DAS 134 EDIFICAÇÕES	157
APÊNDICE A.2 - CÁLCULO DO ÍNDICE DE ESBLETEZ DAS 134 EDIFICAÇÕES..	166
APÊNDICE B.1 - SÍNTESE DAS AMOSTRAS E MINERAIS CARACTERIZADOS.	170
APÊNDICE B.2 - QUADRO DOS POÇOS: ENDEREÇO, COORDENADAS GEOGRÁFICAS E UNIDADE GEOLÓGICAS ESTUDADOS NA PESQUISA.....	171
APÊNDICE B.3 - PERFIS TÍPICOS GEOLÓGICOS DOS POÇOS DE TERESINA-PI	174
APÊNDICE C – FEIÇÕES EROSIVAS GEORREFERENCIADAS NA CARTA DE SUSCETIBILIDADE Á OCORRÊNCIA DE SOLOS ERODÍVEIS	177
APÊNDICE D - GEORREFERENCIAMENTO DOS PONTOS DE AFUNDAMENTO NA CARTA INTERPRETATIVA DE SUSCETIBILIDADE DE OCORRÊNCIA DE SOLOS COLAPSÍVEIS.....	178
ANEXO A - CLASSIFICAÇÃO BRASILEIRA DE DESASTRES NATURAIS (COBRADE)	179
ANEXO B.1 - DOCUMENTOS DOS ESTUDOS PRELIMINARES DO ACIDENTE DA RUA SIMPLÍCIO MENDES (ACERVO DO CREA-PI)	182
ANEXO B.2 - INFORMAÇÕES COM PONTOS DE AFUNDAMENTO DE TERESINA-PI: ENDEREÇO, COORDENADAS GEOGRÁFICAS.....	195
ANEXO C – TIPOS DE EROÇÃO LAMINAR ADOTADAS PARA OS SOLOS DO MUNICÍPIO DE TERESINA, PIAUÍ.....	196
ANEXO D – MAPA EXPLORATÓRIO DO RECONHECIMENTO DOS SOLOS DE TERESINA (EMBRAPA,1983)	197
ANEXO E – MAPA DE RECONHECIMENTO DOS SOLOS DE TERESINA (MORAES,2004).....	198

1 INTRODUÇÃO

A história registra, ao longo dos séculos, acidentes extremos de ordem natural envolvendo perdas humanas, econômicas e danos ambientais em todo o mundo. Mais precisamente no Brasil, na última década, ocorreram grandes acidentes desencadeados pela natureza, mas que foram potencializados por ocupações urbanas desordenadas como deslizamento de encostas, inundações e alagamentos.

Para um determinado evento ser considerado “desastre”, ele primeiramente deve estar compreendido dentro da classificação da Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE), que encontra-se detalhada no Anexo A deste trabalho. Isso se faz necessário tanto por uma questão de codificação, visto que cada evento segue uma numeração, como para atualização do banco de dados nacional, sendo assim possível uma integração e conhecimento destes acontecimentos em todo Brasil (DUARTE, 2015). Futai (2019) explicando as causas do rompimento da barragem em Brumadinho, reforça a importância de se conhecer as falhas dos acidentes para que outros sejam prevenidos.

Compreendendo a classificação dos desastres a realidade brasileira, nota-se que os mais comuns são eventos deflagrados por causas geológicas e hidrológicas. Da Costa et al. (2018) estudando eventos extremos climáticos e meteorológicos no estado da Paraíba, identificam que os mais regulares são as enxurradas, inundações, alagamentos, vendavais, granizos, trovoadas. Em 2019 as chuvas torrenciais ocasionaram mortes fatais, várias cidades Brasileiras, em decorrência de movimentos de massas nas encostas e deslizamentos de barreiras.

Muito comum no Brasil também, são os casos de colapsos e subsidências, que fazem parte de eventos extremos naturais de origem geológica. Um caso que merece destaque é a do bairro Pinheiro, na cidade de Maceió/Alagoas. Segundo extenso estudo realizado pela CPRM (2019), a causa foi por conta da desestabilização das cavidades da extração de salgema no qual foi intensificado pelos efeitos da erosão hídrica. A Cidade de Teresina-PI, também apresenta histórico de problemas geológico de subsidência e colapsos na região central do município. Segundo Pimentel (2008) estão relacionados à perfuração de poços e vazamentos em redes de esgoto. O Quadro 1 apresenta os principais casos de ocorrências de afundamentos em áreas cársticas no Brasil.

Quadro 1 - Afundamento da Rua Simplicio Mendes em Teresina-PI dentre as ocorrências de afundamentos em áreas cársticas no Brasil.

1981	Mairinque – SP	Várias edificações apresentaram trincas e afundamentos de piso
1986	Cajamar – SP	Colapso e subsidência de grandes proporções, impactantes por ocorrerem em plena área urbana. Cerca de 60 dias após os primeiros sinais, na principal área atingida três casas haviam sido tragadas em uma cratera de cerca de 30 metros de diâmetro e 15 metros de profundidade, enquanto recalques e trincas afetaram dezenas de outros imóveis até distâncias de 400 metros do local.
1988	Sete Lagoas – MG	Afundamento de cerca de 20 metros de diâmetro e 5 de profundidade trouxe parte da arquibancada do Estádio Municipal, muros e paredes de edificações próximas, sendo que sinais de movimentação foram observados em edificações situadas em um raio de 40 metros.
1992	Almirante Tamandaré – PR	Vários pequenos afundamentos de terreno, trincas de edificações, inclinações de edificações, descolamento entre alvenaria e peças estruturais, rebaixamento do nível d'água em poços, cacimbas e pequenos lagos.
1999	Teresina – PI ←	Grande afundamento com comprometimento total de várias edificações.
1999	Cajamar – SP	Parte das edificações da moderna fábrica da Natura (Cosméticos) sofreu danos estruturais advindos de afundamentos em suas fundações.
2007	Almirante Tamandaré – PR	Um dos maiores afundamentos de que se tem notícia na região, com forma elipsoidal, 50 metros de comprimento, 40 metros de largura e cerca de 30 metros de profundidade.
2007	Bocaiuva do Sul – PR	Colapso com uma cratera de 5 metros de diâmetro e 5 metros de profundidade.

Fonte: Santos (2008).

Neste contexto, reflete-se bem a importância da Engenharia Geotécnica ao enfrentamento de eventos de desastres naturais tão recorrentes no Brasil, tanto para prever possíveis acidentes, que segundo Duarte (2015) é desencadeado frente à suscetibilidade à ocorrência de determinado processo do meio físico e intensificado pela ação antrópica - como através de soluções e remediações por meio de obras de engenharia. Corroborando com o exposto, Roque (2018) discorrendo sobre os desafios e perspectivas para a geotecnia no mundo atual, avalia que a participação dos geotécnicos é necessária em várias medidas de proteção contra eventos extremos naturais, como as cheias, inundações e escorregamento de terrenos. Isso vai exigir, cada vez mais, avanços de pesquisas na caracterização de terrenos e tecnologias construtivas.

Por isso, ferramentas de planejamento para uso e ocupação do solo nas cidades são de extrema importância, e o correto planejamento urbano pode reduzir a degradação do solo, água, vegetação e fauna, como também prevenir a população de acidentes decorrentes do mau uso ou manejo inadequado do solo. O uso da cartografia geotécnica, voltada para auxiliar esse tipo de planejamento das cidades, deve ser cada vez mais incentivada, estudada e desenvolvida. Condicionantes como a pedologia, geologia, clima,

geomorfologia e hidrologia ajudam a avaliar processos de riscos geotécnicos relacionado aos interesses particulares da Engenharia Civil.

1.1 JUSTIFICATIVA

No Nordeste brasileiro há registros de sérios danos em construções assentes em solos problemáticos, em virtude da ausência de uma prévia investigação direcionada, falta de conhecimento ou tratamento desse tipo de solo nas etapas de projeto e execução das obras. Frente aos danos causados as edificações, identificar previamente um solo problemático tem se tornado cada vez mais necessário. Diante desse contexto, a presente pesquisa tem como objetivo reunir informações geotécnicas referentes aos solos do município de Teresina-PI, por meio de diferentes áreas do conhecimento como a Pedologia, Geologia, Clima e principalmente da Geotecnia - todos reunidos para constituir um Sistema de Informação Geográfica da Capital Piauiense. A opção por Teresina não somente foi uma forma de contribuir para o entendimento geotécnico local - visto a não existência na literatura de trabalhos realizados na área - como também, pelo município conter um histórico de eventos envolvendo afundamentos de terreno, principalmente relacionados à perfuração de poços tubulares e vazamentos de tubulações.

Nos últimos anos, segundo Silva (2017), Teresina apresentou uma acelerada expansão da área física, com o acréscimo de 11 bairros - e o setor habitacional é um dos que mais contribuem para esse crescimento. Segundo a Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação (2019), da área total do município, apenas 19 % é urbana (com 81% rural), sendo a maior área territorial e rural dentre as capitais nordestinas brasileiras, o que implica uma grande extensão pouco ou não habitada. Contudo, nos próximos anos, a tendência de crescimento será para essas áreas. Por isso a necessidade de ferramentas que permitam o entendimento do solo local, para uso e ocupação, mostrando-se uma fonte de consulta para direcionar o vetor de expansão da Cidade, alertando a população da ocorrência de solos problemáticos como também compreender as técnicas de fundações adotadas no município.

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

A presente pesquisa tem por objetivo geral contribuir para à cartografia geotécnica do município de Teresina-PI, destacando cartas de suscetibilidade à ocorrência de solos problemáticos e compreender as técnicas de fundações adotadas na região com uso de Geoprocessamento.

Para atingir o objetivo geral são necessários atingir os seguintes objetivos específicos:

- cadastrar ocorrências de eventos extremos naturais mais recorrentes em Teresina-PI;
- determinar os índices físicos, microestrutural e mecânico de um solo expansivo e colapsível de Teresina.
- relacionar as soluções típicas de fundações adotadas às unidades geológicas e pedológicas as quais estejam assentes;
- elaborar um banco de dados de sondagens de Teresina-PI;
- identificar informações atualizadas relativas à Geologia, Pedologia e Climatologia do município de Teresina-PI;
- elaborar cartas derivadas e interpretativas de suscetibilidade á ocorrência de solos expansivos e colapsíveis com base na Geologia, pedologia e clima
- georreferenciar as informações dos ensaios das amostras nas cartas finais de suscetibilidade de ocorrência de solos expansivos e colapsíveis de Teresina.
- contribuir com as pesquisas do Grupo em solos não saturados do programa de pós-graduação em Engenharia Civil da UFPE, ampliando assim o entendimento de origem e formação de solos problemáticos em regiões do Nordeste Brasileiro por meio de SIG's.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação encontra-se dividida da seguinte forma:

[Capítulo 1]: Engloba a apresentação do trabalho com a introdução, na qual são abordadas as considerações iniciais, justificativas e os objetivos do trabalho.

[Capítulo 2]: Apresenta-se revisão bibliográfica sobre cartografia geotécnica, cartas de suscetibilidade, contextualização dos solos problemáticos para a engenharia geotécnica (especificamente os expansivos, colapsíveis, erosivos e dispersivos) - assim como é apresentado as principais características do município de Teresina referentes a expansão urbana, geologia, pedologia, clima, geomorfologia (relevo e declividade). Por fim é realizado o cadastro da ocorrência de eventos e processos danosos na Cidade.

[Capítulo 3]: É caracterizado o comportamento geotécnico (atributos físicos, mecânicos e microestrutural), e características geológicas e pedológicas de duas amostras no estado natural de solos de Teresina, um expansivo e outro colapsível. Por fim é analisado e discutido os resultados obtidos na campanha experimental.

[Capítulo 4]: É analisado a influência pedológica e geológica na prática de fundações de 134 edifícios de múltiplos pavimentos no município de Teresina-PI, como também é calculado o índice de esbeltez dos prédios da pesquisa e realizado a estruturação de um banco de dados com 112 relatórios de sondagens.

[Capítulo 5]: São apresentadas e discutidas detalhadamente as cartas derivadas e interpretativas de suscetibilidade á ocorrência de solos problemáticos na cidade de Teresina, organizados em um sistema de informação geográfica, permitindo apresentar áreas que merecem atenção especial com indicação de ensaios de campo e laboratório por nível de suscetibilidade.

[Capítulo 6]: Apresentam-se as conclusões do trabalho e sugestões para pesquisas futuras.

Ao final são apresentadas as referências, anexos e apêndices.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Inicialmente são apresentadas referências sobre cartografia geotécnica, cartas de suscetibilidade, contextualização sobre solos problemáticos para a engenharia geotécnica (expansivos, colapsíveis, erosivos e dispersivos). Por fim, o capítulo apresenta as principais características do Município de Teresina, PI.

2.1 CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E CARTAS DE SUSCETIBILIDADE

Nos últimos anos pesquisas vêm sendo feitas e tornam-se cada vez mais importante com a evolução de softwares de Sistema de Informações Geográficas (SIG) com aplicação na engenharia civil, que por sua vez geram produtos cartográficos. Segundo AGUIAR (1989), estes, aliam informações geográficas e geotécnicas, auxiliando assim de forma conjunta no entendimento do uso e ocupação do solo em várias cidades Brasileiras.

ZUQUETTE (1987) define carta geotécnica como aquela resultante da representação dos atributos de mapas principais (geológicos, pedológicos, hidrológicos, etc), o Autor destaca ser um documento temporário, que deve ser sempre atualizado, e nunca poderá substituir a investigação local. SOARES (2001) desenvolveu com base em sondagens, a carta geotécnica de fundações de João Pessoa/PB, e ressalta que esse tipo de ferramenta enfrenta como obstáculo a obtenção das sondagens, e que nem sempre se encontram disponíveis e de fácil acessibilidade. Castro (2018) realizando investigação geotécnica na cidade Palmas-TO, também destaca a escassez e a dificuldade de reunir dados dessa natureza para construção de bancos de dados de sondagem, e reforça que esse tipo de estudo fornece informações valiosas do subsolo que colaboram para o entendimento geotécnico local. Oliveira (2018) estudando a influência geológica-geotécnica, por meio da cartografia geotécnica, na prática de fundações de edifícios localizados no bairro de Boa Viagem, na planície do Recife, constatou importantes informações na que a prática de fundações do Recife.

Segundo Duarte (2015) as cartas de suscetibilidade funcionam como subsídio fundamental às ferramentas de plano de contingência de proteção e defesa civil; plano de implementação de obras e serviços; mecanismos de controle e fiscalização, e cartas

geotécnicas. São importantes também, porque contribuem para o planejamento do uso e ocupação do solo, controle da expansão urbana, avaliação de cenários potenciais de riscos. SOUZA (2015) elaborou em grandes escalas a suscetibilidade a processos geológicos e geoambientais dos municípios de Ouro Preto - MG e Mariana – MG.

O conhecimento do solo é de fundamental importância na geotecnia e sua formação é influenciada por vários fatores. O estudo da suscetibilidade de uma região (carta de suscetibilidade) desencadear solos problemáticos pode ser influenciado por fatores endógenos (como a geologia, pedologia, nível do lençol freático), como também por fatores exógenos (clima e atividades antrópicas). As características do ambiente é que irão determinar o grau de suscetibilidade que a região pode ter a um evento ou risco geológico-geotécnico, por isso é fundamental estudar o comportamento destes. O fator geológico e pedológico é influenciado pela litologia, granulometria, tempo, clima e o ambiente em que se encontra. As temperaturas e o ciclo hidrológico são fatores que podem influenciar alterando quimicamente a litologia resultando na decomposição da rocha, como alteram a umidade e nível de saturação dos solos, podendo desencadear erosão e lixiviação das partículas (TORRES, 2014).

2.2 SOLOS PROBLEMÁTICOS PARA A ENGENHARIA CIVIL

Dentro da Engenharia Geotécnica a denominação “solos problemáticos” é um termo de origem recente e ainda pouco usado no meio científico. Esteve na pauta técnica pela primeira vez em 1988, na 1ª Conferência Internacional sobre Solos Problemáticos, em Portugal. Tendo em vista a importância da temática, profissionais de várias áreas se reúnem para discutir o assunto desde então, por isso a conferência se tornou um evento consolidada no cenário científico internacional. A mais recente ocorreu em 2016, na Indonésia.

Neste trabalho o enfoque é nos solos que causam problemas a partir do ponto de vista da engenharia geotécnica, sendo resultante das circunstâncias da origem e formação – ou de uma mudança nas condições ambientais e antrópicas. São problemas oriundos não só do meio físico, mas também do desconhecimento, falta de planejamento do uso e ocupação do solo, crescimento da população ou necessidade de construir em áreas que antes

podiam ser contornadas. Pode-se citar como exemplos de solos problemáticos para a geotecnia: expansivos, colapsíveis, erosivos, dispersivos, solos moles, etc (FERREIRA, 2016).

Cartas de suscetibilidades a ocorrência das propriedades de expansividade, colapsividade, erodibilidade e dispersividade é uma das ferramentas de planejamento que alerta a população de construir em áreas que contenham solos problemáticos, constituindo assim, um produto de orientação preliminar para reger decisões e critérios a serem tomados nas fases de anteprojetos como também auxiliando em investigações posteriores, pois qualquer que seja a edificação, é essencial o estudo adequado, principalmente em regiões que contenham solos problemáticos.

Lins et.al (2016) realizando análise numérica para solos colapsíveis, alertam que o estudo de solos colapsíveis e expansivos estão elencados dentro dos problemas geotécnicos que provavelmente exigirão nos próximos anos novas abordagens ou uma extensão das clássicas. São solos que apresentam um risco natural podendo desencadear prejuízos humanos e financeiros para a sociedade.

Mais uma vez, Roque (2018), chama a atenção para a importância dos geotécnicos sobre o comportamento dos solos problemáticos, sendo fundamental a participação destes na identificação e medidas de adaptação que minimizem os riscos e os custos associados ao fenômeno. Ao longo dos últimos 30 anos, o Grupo de Pesquisas em Solos Não-Saturados e o Grupo de Engenharia Geotécnica de Encostas, Planícies e Desastres da UFPE, vêm contribuindo para o entendimento e enfrentamento de solos problemáticos, tanto por meio de estudos de caracterizações físicas, químicas, geomecânicas, mineralógica, microestrutural - como também elaborando cartas de suscetibilidades em várias cidades do Nordeste brasileiro. A seguir estão descritas as principais informações dos solos problemáticos, objetos de estudo desta pesquisa.

a) Solos Expansivos

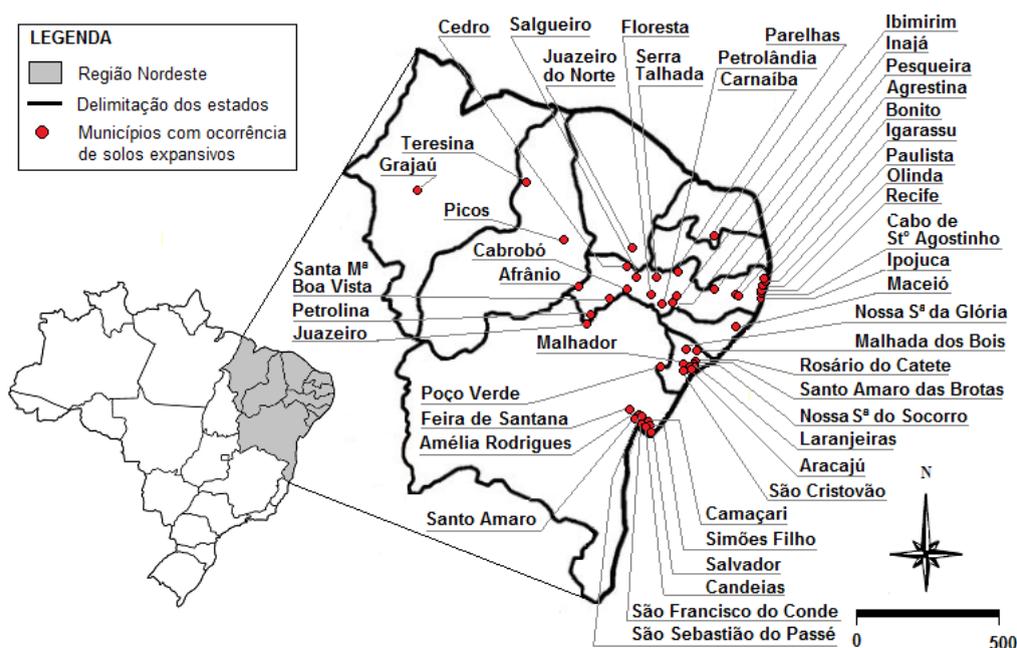
Para um solo ter caráter expansivo, primeiramente depende do argilomineral existente, uma vez que nem todos os minerais argilosos experimentam modificações volumétricas. Essa instabilidade pode ser especialmente importante nas argilas do grupo da esmectitas,

em especial, a montmorilonita e a vermiculita, ocorrendo, também, nos interestratificados de montmorilonita com clorita, illita e vermiculita. A haloisita tem capacidade de expansão, porém, muito mais limitada. São solos que apresentam baixa drenagem e alta atividade, nos quais são derivados de rochas ígneas (basalto, diabásios e gabros) ou de rochas sedimentares (folhelhos, margas e calcários).

O conhecimento do clima e do balanço hídrico é uma importante ferramenta de análise do desencadeamento dos processos de expansão nos solos. Estão presentes em regiões onde a evapotranspiração excede a precipitação como em regiões do clima árido, semiárido e sub-úmido seco (FERREIRA, 1995). Na França estudos já efetuados (Galliot et al., 2009) estimam que, devido ao aumento da frequência das ondas de calor, os danos médios anuais nos alojamentos ocasionados pelos riscos de expansão dos solos argilosos possam ultrapassar um bilhão de euros por ano em 2100 (contra cerca de 200 milhões de euros por ano atualmente).

SILVA et al. (2020) avaliando o grau de expansão de solos expansivos com 47 ocorrências registradas na Região Nordeste do Brasil, estruturou um banco de dados, analisando as características comuns a estes solos. Na Figura 1 é possível observar a ocorrência de solos expansivos em todos os estados da região supracitada.

Figura 1 - Ocorrência de solos expansivos no Nordeste Brasileiro.



Fonte: Silva et al. (2020)

No Brasil, dentre as principais formações expansivas que se tem conhecimento pode-se indicar as bacias sedimentares do Recôncavo Baiano, Paraná e Rio Grande do Sul (SIMÕES, 1987) e várias cidades de municípios no Pernambuco. Ferreira (2008) identificou e caracterizou os solos expansivos de vários municípios no estado de Pernambuco, do litoral ao sertão, a citar Cabrobó, Petrolândia, Petrolina, Salgueiro, Serra Talhada, Paulista, Olinda e Recife - e Paiva (2016), os de Cobróbo, Paulista e Ipojuca. Em Teresina, PI¹ (até então) não existe registro na literatura de ocorrência de solos expansivos, contudo a nível regional, Oliveira et al. (2018) identificou no município de Picos-PI uma argila expansiva que estava ocasionando diversas patologias em um residencial. Estudos de identificação de solos expansivos por métodos indiretos por meio de mapas pedológicos e geológicos foram objeto de estudo em solos do estado de Pernambuco por FERREIRA (1990), VASCONCELOS (2001), MARIO (2003) E AMORIM (2004).

Paiva (2016) sugere que em campos solos expansivos podem ser reconhecidos em estações secas do ano através de profundas rachaduras na superfície dos terrenos. A formação e propagação de fissuras no solo é um processo natural devido ao ressecamento decorrente de variações sazonais no ambiente, o qual submete ao solo períodos secos e úmidos alternados. Ao longo dos períodos secos, o solo se retrai formando fissuras (ARAÚJO, 2019). Os solos ricos em argila podem absorver quantidades elevadas de água após a precipitação, tornando-se pegajosos e pesados, e quando estão secos, sofrem retração e fissuras. (DESSOUKY et al., 2015; JONES; JEFFERSON, 2012).

Importantes estudos estão sendo realizados referente a esta temática. Pode-se citar a pesquisa de SILVA (2019) E BARBOSA (2019) que estudaram o processo de propagação de fissura de solo expansivo do município de Bonito – PE e SILVA (2018) os solos de Petrolina e Ipojuca – PE. Os solos expansivos podem ser identificados e classificados pelo grau de expansividade que apresentam no ensaio de expansão “livre”, pelos critérios de SEED ET AL (1962) e de VIJAYVERGIYA & GHAZZALY (1973), nos quais estão descritos na Tabela 1.

¹ No capítulo 3 será caracterizado o solo expansivo de Teresina-PI apresentado no mapa.

Tabela 1 - Grau de expansividade pelos critérios de Seed et al. (1962).

CRITÉRIO DE SEED ET AL. (1962)	CRITÉRIO DE VIJAYVERGIYA & GHAZZALY (1973)	GRAU DE EXPANSIVIDADE
Expansão livre (%) para tensão de sobrecarga 7 kPa	Expansão livre (%) para tensão de sobrecarga 10 kPa	
0-1	<1	Baixa
1-5	1-4	Média
5-25	4-10	Alta
>25	>10	Muito Alta

Fonte: Seed et al. (1962).

b) Solos Colapsíveis

São solos não saturados que experimentam um rearranjo radical de partículas seguido de uma redução de volume quando inundados com acréscimo ou não de sobrecarga. A microestrutura é porosa ou instável, com partículas interligadas por pontes de argila, óxido de ferro, alumínio ou carbonatos, São solos de origem recente, geologicamente derivados da alteração de rochas como gnaisses e quartzitos e que podem estar relacionados com a presença de solos arenosos e argilo-arenosos originando classes pedológicas como as areias quartzosas e depósitos aluvionares (FERREIRA, 2008).

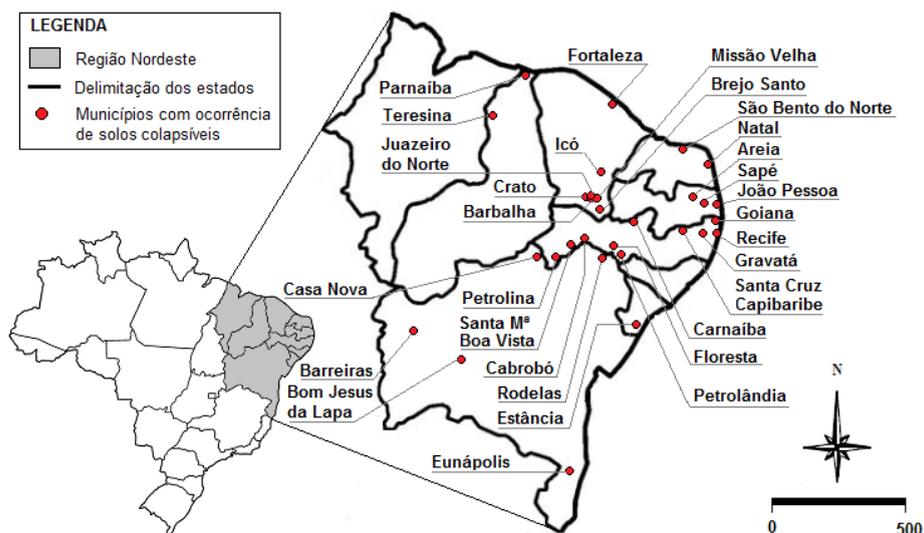
O processo de formação de solos colapsíveis segundo MAHLER (1994) está ligado primeiramente com a formação geológica e em segundo com os fatores climáticos². No entanto determinadas situações de campo podem tornar o solo colapsível, como realizar a compactação no ramo seco. Pode-se citar como exemplo o estudo de NETO et al. (2018), no município de Quixadá-CE, onde o material usado em uma pequena barragem de terra

² O processo de colapso é desencadeado em regiões onde a evapotranspiração excede a precipitação, regiões de alternância de estações secas e chuvas intensas e concentradas.

se tornou colapsível por conta da aplicação de baixa energia de compactação e baixa umidade.

Analisando trabalhos técnicos nacionais, a região Nordeste destaca-se pela quantidade de ocorrência de casos de solos colapsíveis. Na Figura 2 estão listados trinta municípios.

Figura 2 - Ocorrência de solos colapsíveis no Nordeste Brasileiro.



Fonte: Silva et al. (2020)

Segundo o critério de Jennings e Knight (1975) solos que apresentam potencial de colapso acima de 1% é considerado problemático para obras de engenharia, conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação da colapsibilidade nas obras de engenharia

PC (%)	GRAVIDADE DOS PROBLEMAS
0 a 1	Sem problema
1 a 5	Problema moderado
5 a 10	Problemático
10 a 20	Problema grave
> 20	Muito Grave

Fonte: (JENNINGS e KNIGHT, 1975).

c) Solos Erodíveis

BASTOS (1999) define a erodibilidade como a propriedade do solo que retrata a maior ou menor facilidade com que suas partículas são destacadas e transportadas pela ação de um agente erosivo. A erosão laminar, segundo Duarte (2015), é o processo de remoção progressiva e uniforme dos horizontes superficiais do solo, causada pelo escoamento difuso da água das chuvas.

BASTOS (1999) destaca que o estudo da erosão pela engenharia geotécnica ainda é limitado, tanto na quantificação, como no entendimento dos mecanismos, devido sua complexidade pelo grande número de fatores físicos, químicos, mecânico, biológico e morfológico envolvidos. Contudo, percebe-se uma evolução em relação ao tema, pois nos últimos anos, importantes estudos estão sendo desenvolvidos. Oliveira e Araújo (2018) destacam que a literatura apresenta diversas propostas de correlações entre características intrínsecas dos solos e a suscetibilidade dos mesmos à erosão, as quais poderiam auxiliar na identificação e previsão de áreas mais propensas à ocorrência de tais processos. BANDEIRA (2003) auxiliando no plano diretor no município de Camaragibe-PE, elaborou o mapa de risco a erosão das encostas, TORRES (2014) o Mapa de Suscetibilidade a Movimentos de Massa e Erosão do Município de Ipojuca-PE e SILVA (2016) mapeou o risco de deslizamento e erosão existentes em áreas de ocupações desordenadas, dentro do município de Abreu e Lima- PE.

Segundo MORAES (2004) entre os componentes a serem estudados para avaliar a erosão das classes de solos merecem destaque o relevo (declividade, comprimento da rampa); BANDEIRA (2003) concorda que a erosão hídrica está diretamente ligada ao relevo, pois terrenos com maiores declividades e comprimento de rampa apresentam maiores velocidades de escoamento superficial e maior capacidade erosiva. MORAES (2004) complementa que as características do solo como (estruturação, mudança textural abrupta, permeabilidade lenta); e ações do clima (ação erosiva das chuvas e dos ventos) devem ser avaliadas.

d) Solos Dispersivos

Solos dispersivos geram problemas geotécnicos com ocorrência em vários países do mundo: Brasil, Estados Unidos, México, Israel, Austrália, Argentina, Venezuela, etc. O Potencial de dispersibilidade é a capacidade de um solo argiloso entrar em suspensão mesmo sob gradientes hidráulico baixos ou mesmo na ausência de fluxo. O fenômeno depende dos argilominerais presentes, sendo a montmorilonita mais crítica do que a illita e caulinita. Contudo, o principal fator que influencia no fenômeno, é a concentração total de sais dissolvidos na água percolante. Por isso, solos com presença predominante de cátions de sódio apresentam alta suscetibilidade á dispersão. Quando ocorre alta concentração de sódio adsorvido nas partícula de argila, as distância entre elas tendem a aumentar, ocasionando o efeito da dispersivão (CRUZ, 2008).

A caracterização de solos dispersivos na literatura geralmente estão associadas a construções de barragens. Cruz (2008) avaliou as consequência na utilização de solos dispersivos na barragem de Sobradinho e Villalba (2015) avaliou as características geomecânicas de um solo dispersivo estabilizado com cal na região ocidental do Paraguai.

2.3 CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE TERESINA, PIAUÍ.

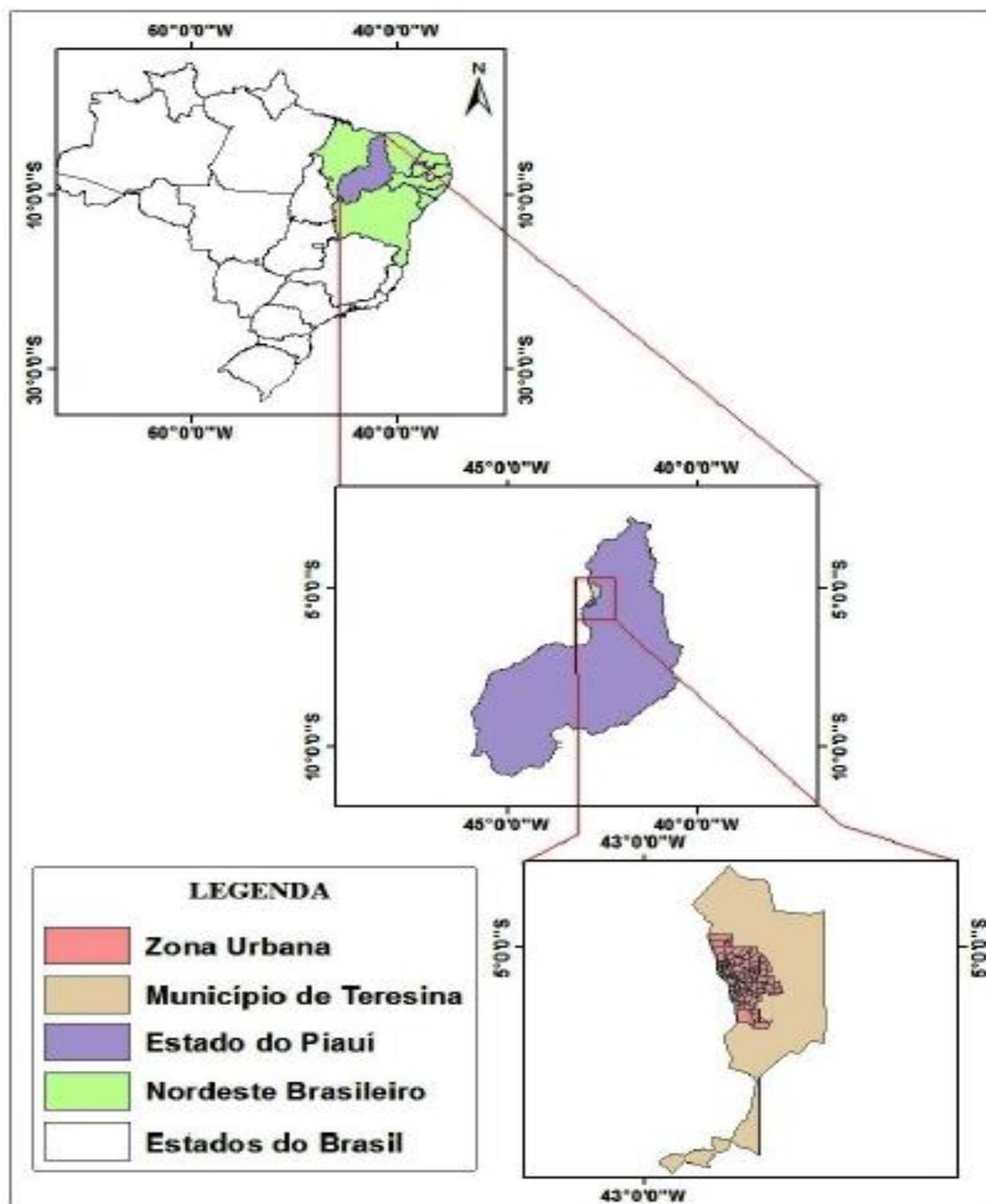
As principais características do município de Teresina referentes à expansão urbana, geologia, pedologia, clima, geomorfologia (relevo e declividade) são apresentados neste tópico, de forma a conhecer as condições de toda a área estudada. É descrito também um resumo contendo o histórico de ocorrências de acidentes extremos na cidade de forma a contribuir com o tema e complementar as informações sobre o assunto.

2.3.1 Informações Gerais

Teresina, capital do estado do Piauí, fica localizada na Mesorregião Centro-Norte Piauiense, conhecida como Meio-Norte. Está localizada às margens do rio Parnaíba, na confluência com o rio Poti, ficando a 366 km do litoral e sendo a única capital da Região Nordeste que não se localiza às margens do Oceano Atlântico. A Figura 3 apresenta o mapa

de localização geográfica de Teresina no Nordeste Brasileiro e no Piauí, destacando a área urbana do município.

Figura 1 - Mapa de Localização Geográfica de Teresina no Nordeste Brasileiro e no Piauí destacando a área urbana do município



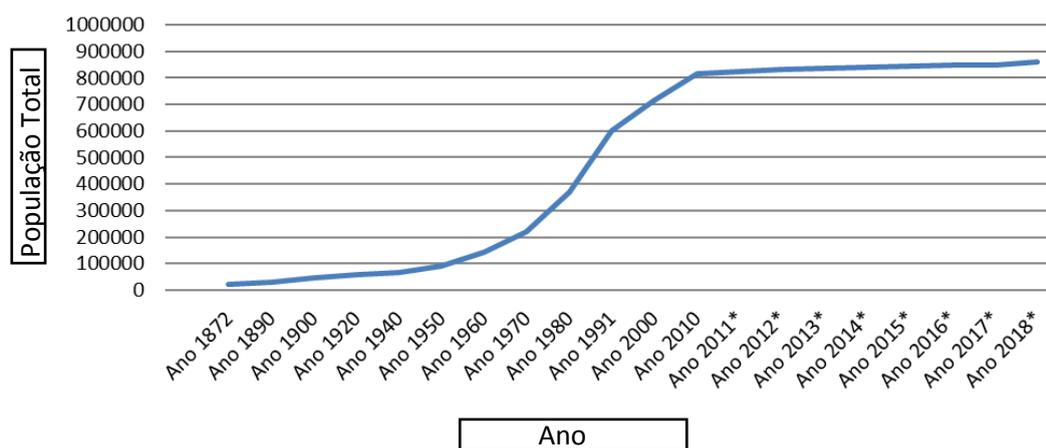
Fonte: Feitosa (2014).

Segundo a SEMPLAN (2019), a área total do município totaliza 1.391,04 km² (19 % urbana e 81 % rural). Com isso, possui a maior área territorial e rural dentre as capitais nordestinas brasileiras. A Cidade apresenta de maneira geral uma centralidade econômica no setor de serviços, sobretudo nas áreas da saúde e da educação e caracterizada como polo de referência hospitalar no Norte Nordeste.

O perímetro urbano é atualmente dividido em regiões administrativas, denominadas Superintendências de Desenvolvimento Urbano (SDU), nomeadas em Centro-Norte, Leste, Sudeste e Sul, e delimitadas segundo o estabelecido pela Lei N° 3.559, de 20 de outubro de 2006 (NOGUEIRA et. al, 2016). Teresina dispõe de 123 bairros, e 87 localidades rurais, totalizando 864.845 habitantes. Apresenta densidade demográfica de 621 habitantes por km² (IBGE, 2019).

Conforme Gráfico (Figura 4) a população residente de Teresina quase dobrou em 40 anos. De acordo com Silva (2017), uma das contribuições ao crescimento populacional é o setor habitacional, sendo o responsável direto pela expansão mediante o envolvimento de interesses de diversos agentes da sociedade, como o Governo, produtores imobiliários e os agentes sociais.

Figura 4 - População total residente em Teresina entre os anos 1872 e 2018.



Fonte: Gráfico da SEMPLAN (2019) com dados do censo demográfico do IBGE.

A área central de Teresina está situada entre os rios Parnaíba e Poti, pertencentes à bacia hidrográfica do rio Parnaíba (Figura 5). Segundo Reis Filho (2012), este marco é a principal referência geográfica da cidade. Os rios apresentam importante papel socioeconômico, pela potencialidade de recursos naturais que propiciam aptidão para o desenvolvimento

de inúmeras atividades como a pesca, produção de peças cerâmicas, navegação, produção de energia elétrica, de abastecimento urbano e lazer (MENDES et al., 2018).

Figura 5 - O Rio Poti desagua no Rio Parnaíba na cidade de Teresina.



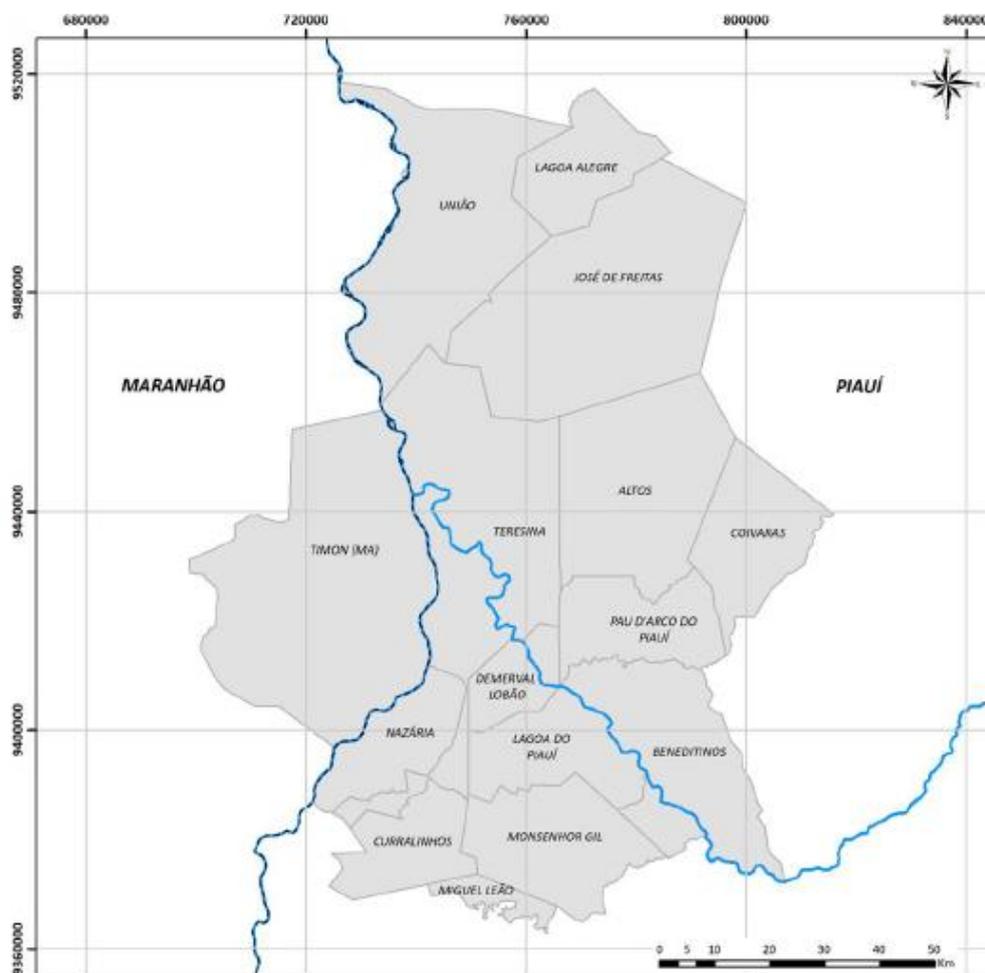
Fonte: Adaptado de Feitosa (2014).

Os demais rios/riachos afluentes do Paraíba e do Poti apresentam pequena extensão, tendo, em sua maioria, as nascentes dentro do próprio município. Vários deles deságuam na área urbana e são canalizados em galerias pluviais, para onde convergem também muitos esgotos residenciais de áreas não contempladas com o esgotamento sanitário dessa Capital. Este fato provoca problemas socioambientais, como inundações e isolamento de ruas por forte erosão/desabamentos na pavimentação urbana, principalmente nos anos de ocorrência de maiores índices pluviométricos. Destaque-se que, com a expansão da cidade, muitas lagoas formadas nos terraços desses rios vão sendo aterradas para uso urbano, agravando os problemas sanitários e habitacionais da população (LIMA, 2011)

Teresina faz fronteira ao Norte, com União e José de Freitas, ao Sul, com Curalinhos, Palmeirais e Monsenhor Gil, a Leste com Altos, Pau d'Arco, Demerval Lobão e Lagoa do

Piauí e a Oeste com Nazária e o estado do Maranhão. Em 2005, foram desmembrados 363,6 km² da área de Teresina, para formar o município de Nazária. Geograficamente é uma cidade de influência regional por estar situada em um importante entroncamento rodoviário do Nordeste Brasileiro. As rodovias federais que a cortam ligam Ceará, Maranhão e Pará, e também à capital federal, Brasília, e ao estado do Tocantins (FAÇANHA et al., 2017). Compõe e exerce grande influência na Região Integrada de Desenvolvimento da Grande Teresina (RIDE) (Figura 6), no qual é formada por 15 municípios da macrorregião, criada com o intuito de promover o progresso econômico desses (MEDEIROS et al., 2018).

Figura 6 - Região Integrada de Desenvolvimento da Grande Teresina

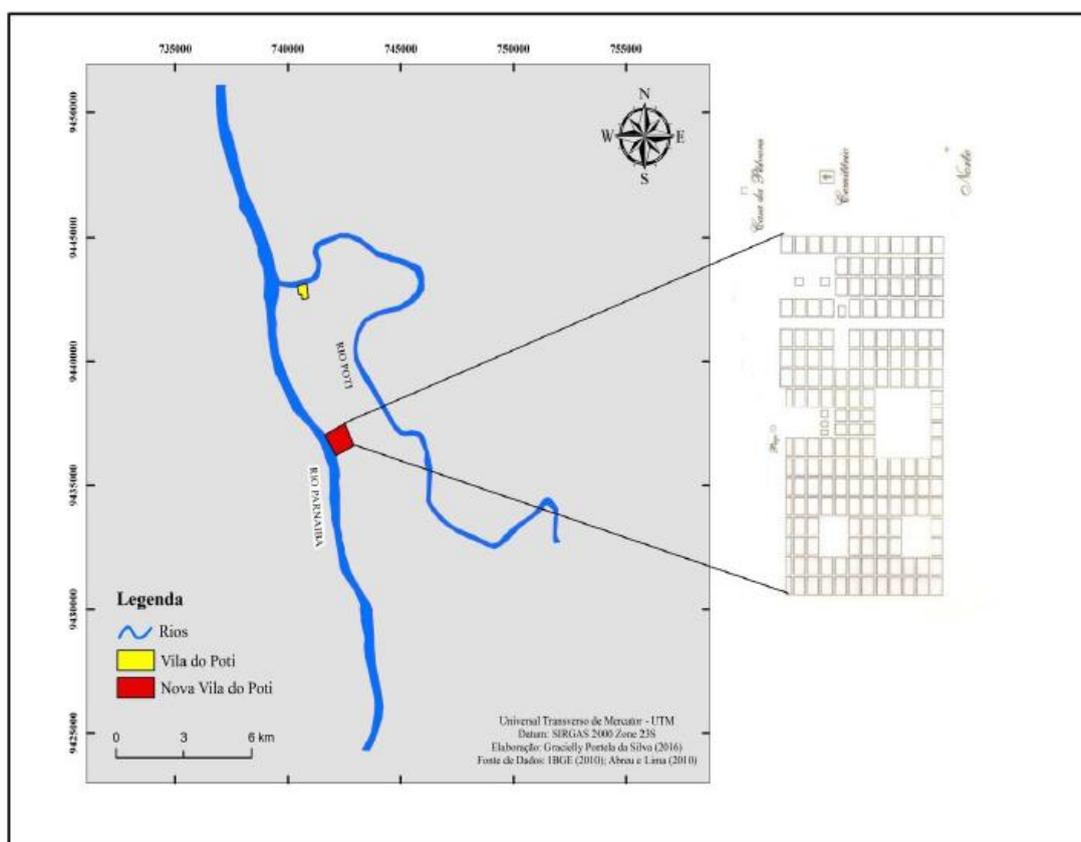


Fonte: Silva (2019).

2.3.2 Expansão do Espaço Urbano de Teresina

Fundada em 1852, Teresina foi à primeira Cidade do Brasil Império a ter o espaço projetado para ser uma cidade-capital. Idealizada e fundada por José Antônio Saraiva, o governador do Piauí da época, concretizou a mudança da capital da sua primeira localização, Oeiras, para às margens do rio Parnaíba, segundo Medeiros et al. (2018), pelo desenvolvimento do comércio oferecido pela navegabilidade do Rio Parnaíba. O traçado inicial do mapa de Teresina seguiu um plano urbano regular, composto por uma trama de ruas e cinco praças retangulares, que reuniam igrejas e prédio públicos, com formato de um tabuleiro de xadrez (TEIXEIRA e DE BARROS CORREIA, 2018).

Figura 7 - Plano Inicial de Teresina com formato de um tabuleiro de xadrez na sua Fundação em 1851



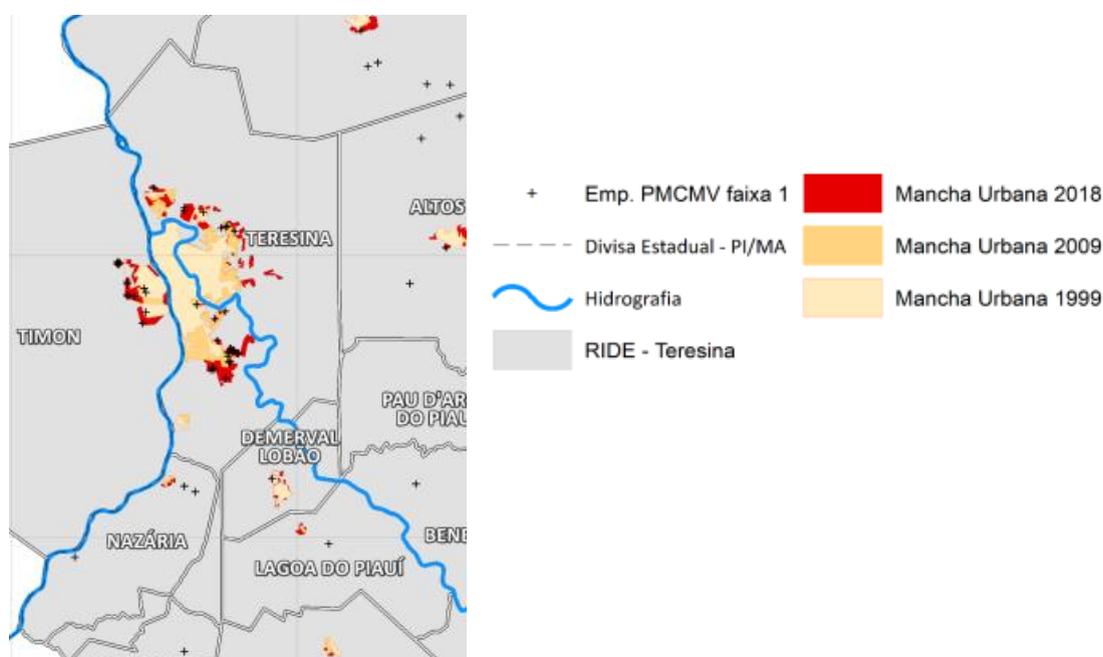
Fonte: Organizado por Silva (2017) a partir da leitura de Abreu e Lima (2000).

Avançando para o século XX, Teresina cresce superando os limites dos rios, marcado por construções de pontes. Segundo Medeiros et al. (2018), a construção da ponte Juscelino Kubitschek sobre o rio Poti, em 1957, condicionou a expansão da cidade para a zona leste.

Segundo Dias (2006) esta região passa a ser intensamente ocupada pela elite, com a construção de casas, mansões e condomínios.

Medeiros et al. (2018) analisando os traçados do perímetro urbano de Teresina observou a tendência recente da gestão municipal para uma cidade mais compacta, minimizando, assim, maiores problemas de habitação, mobilidade e infraestrutura urbanas, que sempre foram desafios constantes dos planos diretores. Silva (2019) aponta que do ano de 2009 até 2018 novos conjuntos habitacionais “Minha casa, Minha vida”, tiveram influência considerável acerca da expansão urbana no município.

Figura 2 - Manchas urbanas nos anos de 1999, 2009 e 2018 em Teresina



Fonte: Silva (2019).

Analisando o processo de verticalização em Teresina, na década 1960 e meados dos anos 1970, segundo Viana (2005), já se observava a presença esporádica de edifícios na área central da cidade, o que não promovia, naquele momento, uma concentração vertical de edifícios. Segundo Façanha (1998) a segunda metade de 1970, foi marcada pelo o início do processo de verticalização na capital, redirecionando o processo de produção, apropriação e o consumo do espaço urbano no que diz respeito da produção socioespacial imobiliária, surgindo uma nova dinâmica da cidade marcada pela construção de edifícios comerciais

na zona central da cidade. No final da década de 1980 o processo de verticalização acelerou-se fortemente, com o aparecimento de edifícios de alto padrão.

De acordo com Silva e Assis Neto (2013), a verticalização tem provocado mudanças na paisagem urbana da cidade, principalmente na Zona Leste. Entretanto, é salutar observar que tal processo ocorreu sem um planejamento adequado, ocasionando problemas naquela região como os alagamentos de diversas ruas e avenidas de grande fluxo devido ao intenso processo de impermeabilização do solo, excepcionalmente nas áreas próximas ao Rio Poty. Como medida mitigadora do processo de impermeabilização que os prédios provocam, foi criado o artigo 31 dentro da lei 3.562/2006 (Ocupação do Solo Urbano de Teresina), na qual a Prefeitura exige que toda ocupação por edificação de uso coletivo, 25% das áreas relativa aos recuos deve ser mantida sem impermeabilização.

Figura 9 - Ponte Estaiada e verticalização concentrada na Zona Leste da Cidade de Teresina.



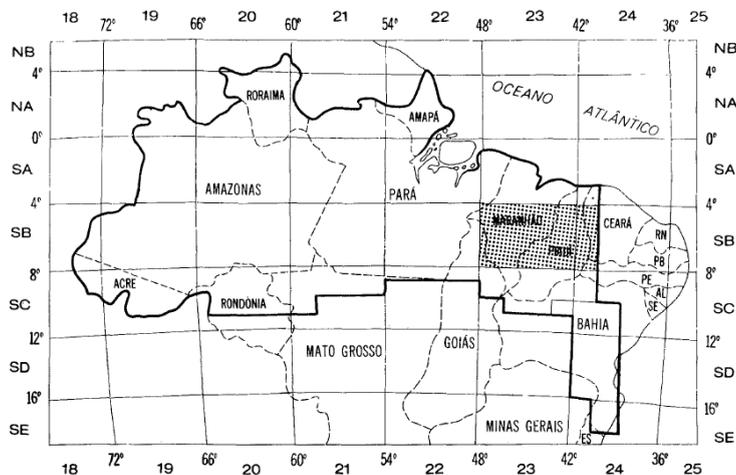
Fonte: SEMPLAN (2019).

2.3.3 Geologia

Teresina encontra-se geologicamente localizada na Bacia Sedimentar do Parnaíba. Essa fica na porção nordeste ocidental brasileira e compreende terrenos situados dos estados do Maranhão, Piauí, Tocantins e Ceará, e é subdividida em quatro grupos: Grupos Serra Grande, Canindé, Balsas e Mearim (RODRIGUES, 2003). O projeto RADAM Brasil (1973), folha SB.23/Teresina e parte da folha SB.24 Jaguaribe, foi um importante mapeamento realizado com o intuito de fornecer um panorama geral dos aspectos geológicos de extensas áreas do norte/nordeste do Brasil. Aproximadamente 95 % da área mapeada

nessa folha abrange a bacia sedimentar do Piauí-Maranhão. Na Figura 10 encontra-se a localização da Folha SB.23 Teresina e parte da folha SB.24 Jaguaribe.

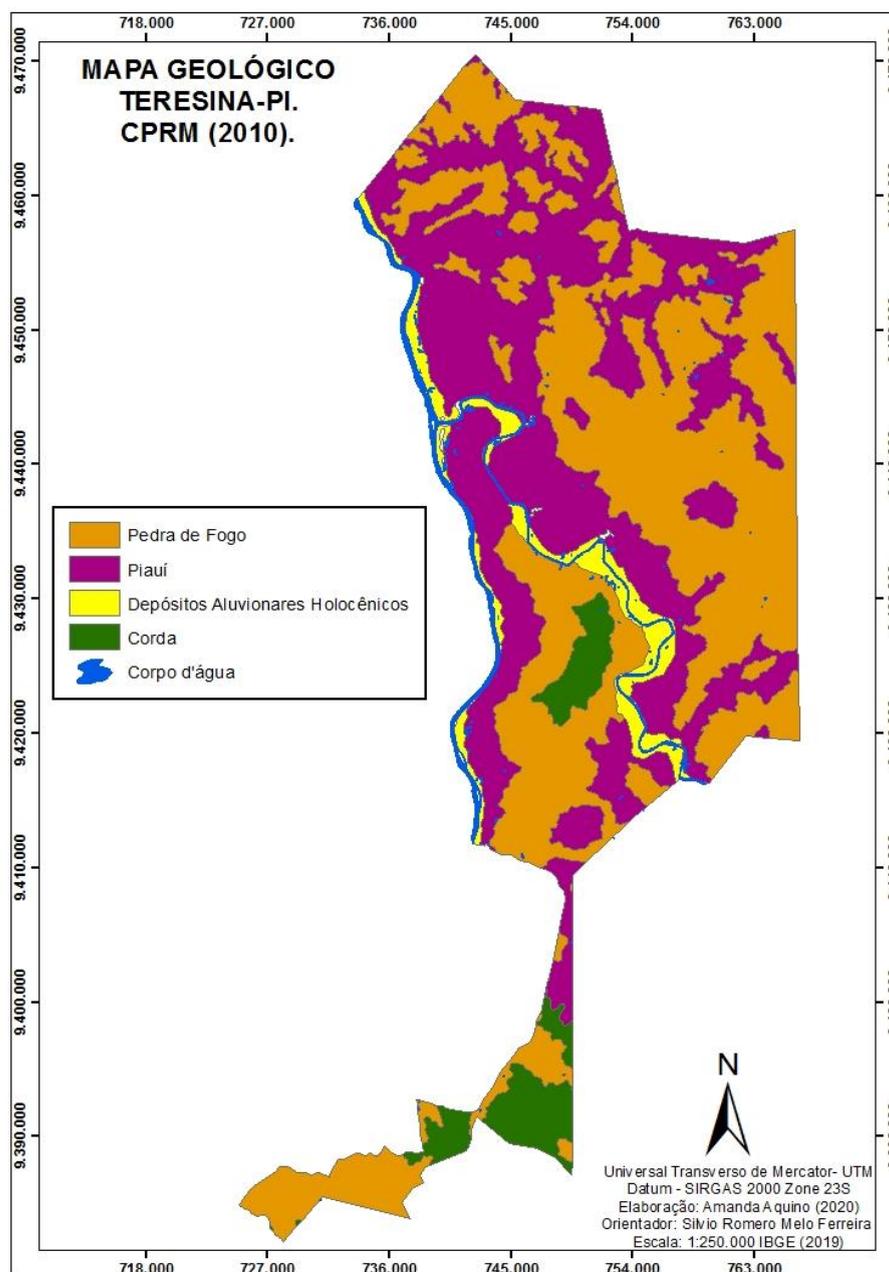
Figura 10 - Localização da Folha SB.23(Teresina) e parte da folha SB.24 (Jaguaribe) no Brasil.



Fonte: Projeto RADAM Brasil (1973).

Os dois principais mapeamentos geológicos de Teresina são resultantes do trabalho realizado pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), por meio da carta geológica do Brasil ao milionésimo (Folha Teresina SB.23), com base cartográfica na escala de 1.250.000, porém o conteúdo temático condiz com a quantidade de pontos amostrais a um levantamento geológico na escala 1:1.000.000. O mapeamento do Projeto RADAM Brasil, que passou por uma evolução e aprimoramento de dados, foram compilados e publicados em uma plataforma do IBGE (2019), com base cartográfica contínua do Brasil na escala 1:250.000, e um levantamento geológico condizente a uma escala de 1.250.000. (Figura 11).

Figura 3 - Mapa Geológico do Município de Teresina-PI.



Fonte: A autora (2020)

Dessa forma, pode-se notar através das Cartas Geológicas, que aflora em Teresina duas principais unidades, a Formação Pedra de Fogo e Formação Piauí - ambas pertencentes ao Grupo Balsas – e que juntas somam 90 % de área total do município. Em menores proporções estão presentes as formações Corda, pertencente ao Grupo Mearim e os Depósitos aluvionares (camada superficial) e aparecem no relatório do projeto RADAM Brasil (1973). Na Tabela 3 encontra-se uma síntese das respectivas áreas de abrangência e porcentagem de cada unidade geológica no município de Teresina. Na Tabela 4 estão

descritas as litologias pertencentes a cada unidade geológica, assim como o local estudado para identificação das mesmas.

Tabela 2 - Unidades geológicas com as respectivas áreas de abrangência no município de Teresina-PI.

UNIDADES GEOLÓGICA	ÁREA (KM ²)	PORC. (%)
Pedra De Fogo	679,4	49 %
Piauí	568,9	41 %
Depósitos Aluvionares	69,3	5 %
Corda	73,3	5 %
TOTAL	1.391	100 %

Fonte: A autora (2020).

Tabela 3 - Informação das unidades geológicas de Teresina-PI.

DESCRIÇÃO DAS UNIDADES			
UNIDADE GEOLÓGICA	UNIDADE SUPERIOR	LOCAL ESTUDADO	LITOLOGIAS
Piauí	Grupo Balsas	sem informação*	ARENITO; FOLHELHO; SILTITO
Corda	Grupo Mearim	Rios Mearim e Corda, no Estado do Maranhão.	ARENITO; CHERT; FOLHELHO; SILTITO
Pedra de Fogo	Grupo Balsas	Vale do rio Pedra de Fogo entre Pastos Bons e Nova Iorque, Estado do Maranhão.	ARENITO; CALCÁRIO; FOLHELHO; SILEXITO ARGILITOS
Depósitos Aluvionares	Camada Superficial	As aluviões holocênicas ocorrem em todas as bacias hidrográficas brasileiras, ao longo dos rios e das planícies fluviais.	AREIA SILTOSA; ARGILA; CASCALHO; CONGLOMERADO; SILTE; TURFA

Fonte: Adaptado de IBGE (2019).

A Formação Pedra de fogo aflora em uma ampla distribuição geográfica na Bacia Sedimentar do Parnaíba, totalizando uma área de 30.468 km². Abrange parte dos estados do Piauí (9.618 km²), Maranhão (18.790 km²) e Tocantins (2.060 km²). Esta unidade possui um conjunto de litotipos associados, sobretudo arenitos silicificados. Constitui-se de arenitos finos, argilosos e siltosos, com presença de calcário, e vaporito, linhito e silexito. É uma sequência com contribuição carbonática, consolidada, cimentação alta e pouco fraturada (RADAM Brasil, 1973). É conhecida também, como “Formação do “Sílex”. Segundo BIZZI et al. (2003) essa formação apresenta duas sequências de arenitos: os arenitos inferiores correspondem a dunas; os superiores a um ambiente litorâneo. Estes,

por sua vez, são superpostos por arenitos com estratificação cruzada e alternâncias de folhelho e arenito, depositados em planície de maré.

Faria Júnior (1979) com base em 213 amostras coletadas na região central da Bacia do Parnaíba, numa extensão de 600 km de direção leste-oeste, estudou os minerais presentes da formação Pedra de Fogo. Foi uma caracterização realizada por análise granulométrica, ensaios de sedimentação e difração de Raio-X. Na Tabela 5 é apresentado um resumo dos minerais identificados pelo Autor Percebe-se que os argilominerais representam uma importante classe mineral dos sedimentos da formação pedra de fogo, visto que predominam nesta sequência silitos, argilitos e folhelhos.

Tabela 4 - Estudo dos minerais presentes na unidade geológica Formação Pedra de Fogo.

Argilominerais	
Montmorilonita	Está presente em toda a sequência estratigráfica da Formação Pedra de fogo, mas também foi encontrada em silitos da formação piauí. É o mais abundante mineral argiloso e encontra-se frequentemente nas rochas inalteradas ou pouco intemperizadas. Muito comum nos carbonatos é encontrado também com frequência nos silitos e folhelhos e por vezes na matriz argilosa de arenitos finos carbonáticos.
Ilita	É um mineral que segue a ocorrência da esmectita na sequência estratigráfica e distribuição geográfica, e está ligada aos mesmos processos de formação da esmectita.
Ilita-Montmorilonita	Encontrado em escala reduzida pois sua identificação torna-se difícil. Admite-se sua origem como produto de degradação da ilita durante o intemperismo.
Clorita- Montmorilonita	Montmorilonita pouco frequente, é encontrado em geral nos silitos, tendo registros também na matrix argilosa do arenito esverdeado carbonático.
Quartzo	
Mineral dominante é encontrado em todos os tipos de rochas e em todas as frações granulométricas.	
Feldspato	
Estão presentes principalmente em arenitos, mas também se encontra com frequência nos silitos, folhelhos e bancos carbonáticos.	
Mica	
São minerais relativamente raros, mas encontra-se muscovita em abundância nos arenitos.	
Calcedônia	
São encontrados com frequência, por isso a abundância do 'silex' nesta unidade.	
Carbonatos	
Dolomitas	Principal mineral carbonático presente nos sedimentos da formação pedra de fogo.
Calcitas	Menos frequente do que a dolomita este mineral ocorre principalmente como cimento nos arenitos Pedra de Fogo.

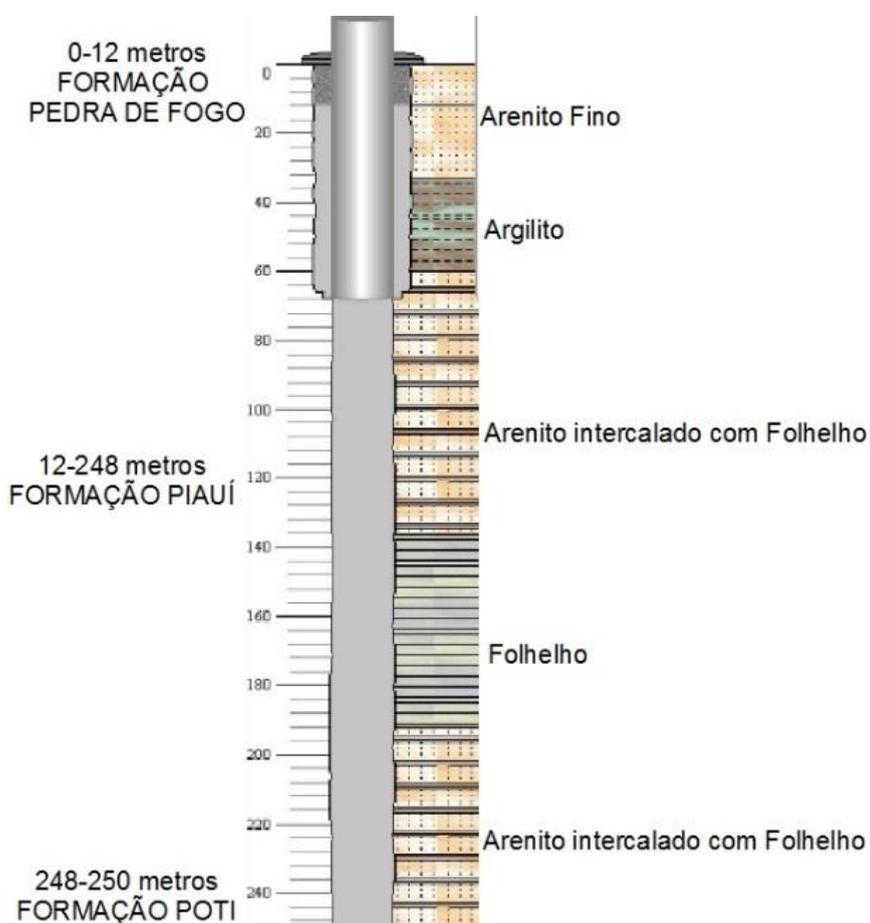
Fonte: Adaptado de FARIA JÚNIOR (1979).

A Formação Piauí junto com a Poti aflora em uma faixa contínua, com área total de 53.087 km², compreendendo parte dos Estados do Piauí, Maranhão e Tocantins. A formação Piauí apresenta espessura média de 150 metros (Figura 12), é constituída de

arenitos avermelhados, esbranquiçados e cremes, finos a médios, terrígenos, consolidados, com intercalações de folhelhos, cimentação e compactação média e grau de fraturamento alto. Segundo BIZZI et al. (2003) a Formação Piauí consiste de depósitos de dunas eólicas, de interdunas e planícies de deflação.

A Formação Poti aparece em uma profundidade média de 250 metros (Figura 12), constituído por arenitos finos a médios, esbranquiçados a cremes, consolidados, com intercalações de siltitos argilosos, folhelhos. Possui cimentação, compactação e grau de fraturamento médio (PROJETO RADAM, 1973).

Figura 12 - Perfil identificando a sobreposição das formações Pedra de Fogo e Piauí com a formação Poti.



Fonte: A autora (2020).

GOES (1995) com o intuito de caracterizar os aspectos gerais da evolução digenética da formação Poti, como das unidades limítrofes (Piauí e Longá) realizou importante estudo dessas unidades geológicas. A delimitação geográfica da pesquisa foi a leste do estado do

Piauí e nas proximidades da cidade de Araguaína, Tocantins. As análises mineralógicas foram através da Microscopia eletrônica de Varredura (MEV). Na Tabela 6 uma descrição dos principais minerais presentes na Formação Piauí.

Tabela 5 - Estudo dos minerais presentes na unidade geológica Formação Piauí.

Argilominerais
Através de difração de Raio X e microscópica eletrônica foram detectados uma grande homogeneidade mineralógica com presença de caulinita, illita, clorita e montmorilonita.
Quartzo
Os grãos dos arenitos são predominantemente de Quartzo (90%), apresenta-se predominantemente sob forma cristalina com extinção simultânea a moderadamente ondulante nas frações de areia fina a muito fina e policristalina em grãos de dimensões maiores.
Feldspato
Ocorrem em menor proporção, um média de 5% a 10%.
Fragmentos Líticos
Ocorrem em menor proporção, um média de 5% a 10%.
Minerais micáceos (moscovita e biotitas)
Podem assumir maiores proporções (10%) em litotipos mais finos

Fonte: Adaptado de GOES (1995).

A Formação Corda aflora na região norte do Tocantins, abrangendo 4.068 km², centro e norte do Maranhão, com 26.407 km² e oeste do Piauí, cobrindo 3.876 km², perfazendo um total de 34.351 km². Constitui-se de arenitos finos a médios, amarronzados e arroxeados, consolidados, quartzosos, com níveis argilosos e eventuais intercalações de siltitos e folhelhos. Mostra um grau de cimentação, compactação e fraturamento médio (PROJETO RADAM, 1973).

Os depósitos aluvionares somente foram considerados no mapeamento em locais de expressão hidrogeológica. Afloram em uma área de 1.372 km² na Bacia do Rio Tocantins (canal principal), área de 54 km² na Bacia do Rio Itapecuru e área de 84 km² na Bacia do Rio Parnaíba (Difusas do Baixo Parnaíba) – sendo essa última em Teresina. Apresentam espessuras variáveis, com média de 15 metros. São constituídos por sedimentos arenosos, finos a médios e grosseiros, com ocorrências de zonas cascalhosas e intercalações de silte e argila (Projeto RADAM, 1973). Por isso, Teresina concentra um número apreciável de dragas, onde a exploração das areias ocorre a partir dos aluviões dos rios, principalmente Parnaíba e Poti, bem como areais provenientes da erosão dos arenitos das formações Piauí

e Pedra de Fogo (CEPRO, 2008). Lima (2011) estudando o relevo de Teresina destacou que essa formação aflora na área central da cidade e na margem do rio Parnaíba, variam de 5 a 15 m de profundidade sobre a Formação Piauí. De acordo com Bandeira (2003) são depósitos recentes, são solos transportados pelas águas que foram depositados nas planícies de inundações dos rios.

2.3.4 Pedologia

Dois estudos mapearam as classes de solos de Teresina, nos quais foram:

a) Projeto RADAM Brasil (1973) pelo Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos de JACOMINE et al. (1986), a um nível intermediário entre reconhecimento e exploratório, com escala de 1:1.000.000 (Anexo D). Com o objetivo de ampliar o trabalho realizado pelo Projeto RADAM Brasil (1973), o IBGE (2019) elaborou recentemente um mapeamento mais detalhado em uma escala de 1:250.000

b) MORAES (2004) estudando os solos do Município de Teresina, mapeou a capacidade de uso das terras, para fins agrícolas, e dessa forma ampliou as informações pedológicas de JACOMINE et al. (1986.c) para uma escala de 1:100.000 (Anexo E). O mapeamento pedológico do Autor apresenta delimitação geográfica desatualizada (antes do desmembramento da Cidade de Nazária), como também não contempla a pedologia da área urbana de Teresina, sendo uma região de grande interesse do estudo, tanto por causa de eventos geológicos que serão objetos de estudo, como por ser objetivo da pesquisa analisar a influência da pedologia na escolha das fundações das edificações da cidade, que ficaram todas aglomeradas nessa região. Logo, não foi possível usar a base cartográfica do Autor, contudo as informações das classes dos solos sim.

Teresina apresenta cinco tipos de classes de solos componente composto, nos quais são: Latossolo Amarelo, Argissolo Vermelho-Amarelo, Chernossolos Argilúvico, Neossolo Litólico e Neossolo Flúvico. Convém destacar que a nomenclatura pedológica utilizada nesta pesquisa foi a da EMBRAPA (2018). A Tabela 7 apresenta as classes pedológicas indicadas pelo levantamento do IBGE (2019) com nomenclatura segundo EMBRAPA (1999, 2006 e 2018).

Tabela 6 - Classes dos solos presentes no Município de Teresina.

CLASSIFICAÇÃO (2018)	CLASSIFICAÇÃO DE (2006)	CLASSIFICAÇÃO ANTIGA (ANTES DE 1999)
FFc- Argissolos vermelho-amarelo	Argissolos	Pdzólico vermelho-amarelo
MTo- Chernossolos argilúvico	Chernossolos	Rubruzem avermelhado
LAd - Latossolos amarelo	Latossolo	Latossolos amarelo
RYve - Neossolo Flúvico	Neossolo	Solos Aluviais
RLd - Neossolo Litólico	Neossolo	Solos Litólicos

Fonte: A autora (2020).

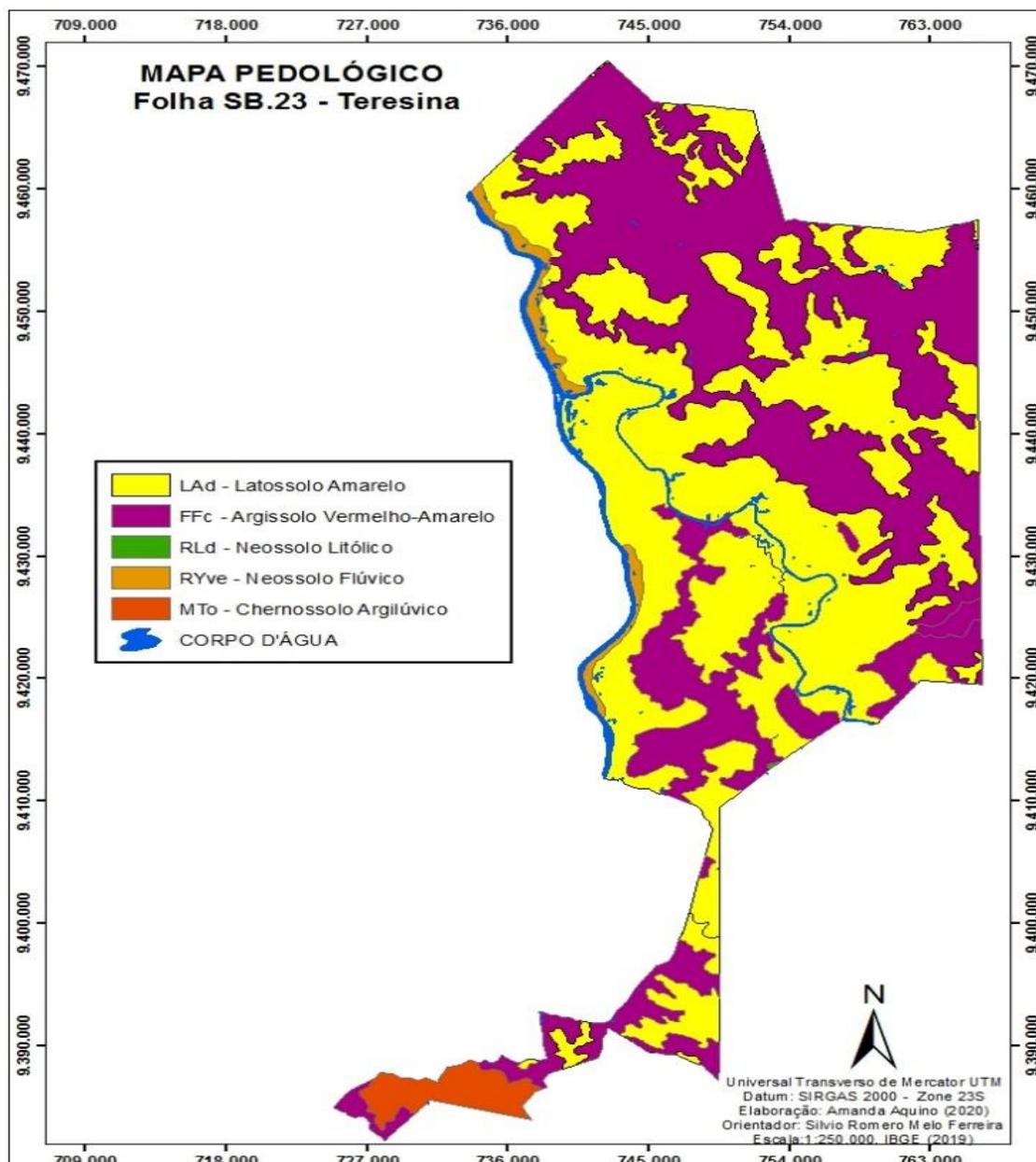
Na Figura 13 encontra-se o mapeamento pedológico do IBGE (2019), com informações ampliadas do Projeto RADAM Brasil (1973) e JACOMINE et al. (1986c), que será usado como base cartográfica e fonte de dados das classes de solo de Teresina-PI em toda a pesquisa.

Por conseguinte, em ordem de ocorrência das unidades de solos presentes no mapeamento da Figura 2.13 e sua área correspondente são: **LAd** (50 %), **FFc** (46 %), **MTo** e **RYve** com 2 % de ocorrência na área do município e **RLd** com menos de 0,02 %. Sendo assim, o município de Teresina é composto, predominantemente, por solos lateríticos³, que juntos somam 96 % da área total do município (Latossolo Amarelo e Argissolo Vermelho-Amarelo). Adiante estão descritas as características dos solos encontrados na cidade de Teresina, como também as características importantes destas classes para a Engenharia Geotécnica, considerando as informações contidas nos principais estudos pedológicos realizados citados: Projeto RADAM Brasil (1973), JACOMINE et al. (1986a;

³ De vasta ocorrência na área territorial do Brasil, os solos lateríticos podem ser localizados com base nos Mapas de Solos, pois as classes pedológicas denominadas por latossolos e argissolos, quando tratadas pela classificação geotécnica M.C.T (Classificação dos solos Tropicais) enquadram-se como de comportamento laterítico. (BURGOS E CONCIANI, 2015).

1986b; e 1986c); MORAES (2004) e MELO et.al (2014). Foi considerada a nomenclatura da Classificação Atual das Classes dos Solos EMBRAPA (2018).

Figura 13 - Levantamento Pedológico - Recorte Folha SB.23 Teresina.



Fonte: A autora (2020).

a) Latossolo Amarelo (LAd)

Existe uma predominância do Latossolo Amarelo em toda área do município, constatado tanto no mapeamento de JACOMINE et al. (1986a; 1986b; e 1986c), totalizando 50 %, de abrangência, como por MORAES (2004), onde o Autor mapeou esta classe com 45,38 %.

MELO et.al (2014) explica que em Teresina o Latossolo Amarelo constitui material originário proveniente da alteração de arenitos e material areno-argiloso de cobertura, com as seguintes características morfológicas: estrutura de aspecto maciço poroso “in situ” ao longo do perfil, blocos angulares e subangulares. JACOMINE et al. (1986c) mapeou este solo em associação com Neossolos Quartzarênicos na região central do município.

- **Características para Engenharia Geotécnica**

Devido sua grande espessura é um solo evoluído, não apresentam argilominerais expansivos, são solos não saturados, são solos que geram grande possibilidade de recalques e devido a capacidade de armazenamento d'água podem gerar solo colapsível. Por serem geralmente profundos é um solo que pode ser usado como materiais de estrada, barragens (núcleo), aterros. Segundo Torres (2014) e Duarte (2015) apresenta alta resistência a erosão, entretanto, quando submetidos à concentração d'água proveniente da ocupação antrópica, podem desenvolver ravinas profundas, e quando interceptado o lençol freático, voçorocas. Apresentam boa estabilidade em taludes de corte e boa capacidade de suporte.

b) Chernossolos Argilúvico (MTo)

Em Teresina essa classe de solo apresenta horizonte A chernozêmico, assente sobre horizonte B textural com argila de atividade alta. A textura é média sobre a argilosa, ou argilosa em todo o perfil com pedregosidade (ou não) e relevo suave ondulado a ondulado, com alguns dos componentes da associação apresentando relevo forte ondulado. No mapeamento de JACOMINE et al. (1986c) foi encontrado Vertissolo associado de forma intrínseca a unidade principal. É um solo muito argiloso, de textura composta, normalmente, por argila do grupo 2:1, contendo montmorilonítica (MORAES, 2004). Foram mapeados com pouca expressividade espacial por JACOMINE et al. (1986a), com apenas 2 % de área de abrangência. No trabalho de campo de MORAES (2004) ocorre expansão desta porcentagem para 14,41 %. Estes solos localizam-se no limite sudeste da cidade, confrontando com os Municípios de Palmeirais, São Pedro do Piauí e Curralinho. Encontra-se na área rural do município, com baixa densidade populacional.

- **Características para Engenharia Geotécnica**

São solos de fácil erodibilidade e devido a presença de argila com alta atividade, originam solos expansivos. MORAES (2014) reconhece que a expansividade dessas argilas origina movimentos laterais na massa do solo capazes de comprometer as construções nele existentes e que em um processo urbano, provavelmente eles resultariam em mais problemas que soluções para a comunidade.

c) Argissolos Vermelho-Amarelo (FTd)

Os Argissolos vermelho-amarelo encontram-se presentes em toda área de abrangência do município, constatado no mapeamento de JACOMINE et al. (1986a; 1986b; e 1986c), com 46 % de área de abrangência e por MORAES (2004) com 34,18 %, sendo a segunda classe de solo mais predominante no município. Segundo MORAES (2004) é um solo encontrando em Teresina com pouca profundidade, com distribuição espacial frequentemente intrincada com os Neossolos Litólicos e apresentam fração argila com baixa atividade.

- **Características para Engenharia Geotécnica**

São solos que dependendo do argilomineral presente na argila podem originar solos expansivos com baixa, média ou alta expansividade. São poucos resistentes a erosão, devido a maior concentração argila, o que pode ser um problema para construções assentes nesta classe de solo.

d) Neossolo Flúvico (RYve)

No Município de Teresina, os Neossolos Flúvicos ocupam estreitas superfícies, que foram mapeados por JACOMINE et al. (1986c) na margem do rio Parnaíba, e em trechos do rio Poti desde a confluência com o rio Parnaíba, até os limites do município na região sudeste. JACOMINE et al. (1986a; 1986b; e 1986c) mapeou esta classe com 2 % de área de abrangência identificando argila de alta atividade. MORAES (2004) mapeou 3,9 % identificando argila com baixa atividade. É um solo desprovido de pedregosidade e rochiosidade na superfície ou na massa interna, corroborando com o descrito por MELO et al. (2014), que acrescentou ser uma classe muito plástico e muito pegajoso e originário

proveniente de sedimentos areno-argilosos com argila de baixa atividade. MORAES (2004) destaca o uso desse solo para a fabricação de tijolos e uso pelos artesãos do polo cerâmico, na Zona Norte da cidade de Teresina, nas proximidades da confluência dos rios Poti e Parnaíba.

- **Características para Engenharia Geotécnica**

Os que apresentam muito silte na composição textural requerem atenção especial quanto a problemas de compactação. São solos que dependendo da atividade da argila e de saturação do solo presente podem apresentar solos expansivos.

e) Neossolo Litólico (RLd)

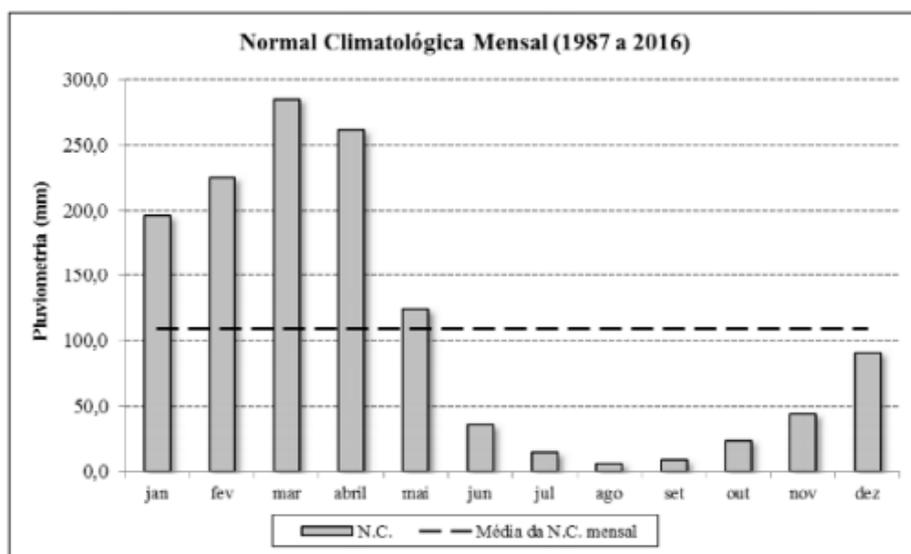
Foram mapeados em associação com os Argissolos Vermelho-Amarelos, sendo raramente encontrados em unidade isolada de expressão espacial significativa. São rasos, pedregosos e ocupam regiões acidentadas, principalmente as vertentes muito inclinadas ou topo de morros. (MORAES e MELO et al., 2004). É um solo originado dos produtos de alterações das rochas com influência de material carreado das partes mais elevadas.

2.3.5 Clima

A área de estudo localiza-se em uma região de transição entre o semiárido nordestino e a região da Amazônia, configurando evidências fisiográficas típicas do norte úmido, do centro-oeste, e os períodos alternadamente secos e sub-úmidos do Nordeste (TERESINA, 1993). Segundo Castelo Branco (2003), devido à proximidade à linha do Equador, os raios solares atingem Teresina com o ângulo muito próximo a 90°, permitindo que o município receba intensa radiação e apresente temperaturas elevadas na maior parte do ano. Isso é confirmado na análise de Basto e Júnior (2018), que observaram os valores médios das temperaturas da Cidade no período de 1980 a 2016, nos quais foram: temperatura média anual de 28,2°C, temperaturas mínimas e máximas de 22,3°C e 34°C, respectivamente, e umidade relativa do ar 69,7 (%).

Em relação as precipitações mensais no município, observa-se por meio do estudo de Santos (2019) na Figura 14 que os meses de janeiro a maio são os mais chuvosos, dessa forma, com maior probabilidade de ocorrerem eventos extremos que gerem inundações e alagamentos. No estudo, o Autor relata que particularmente o mês de maio apresenta tendência ascendente, ou seja, aumento do volume de chuvas em cenários futuros. Os meses de junho a dezembro apresentaram os menores volumes de precipitação.

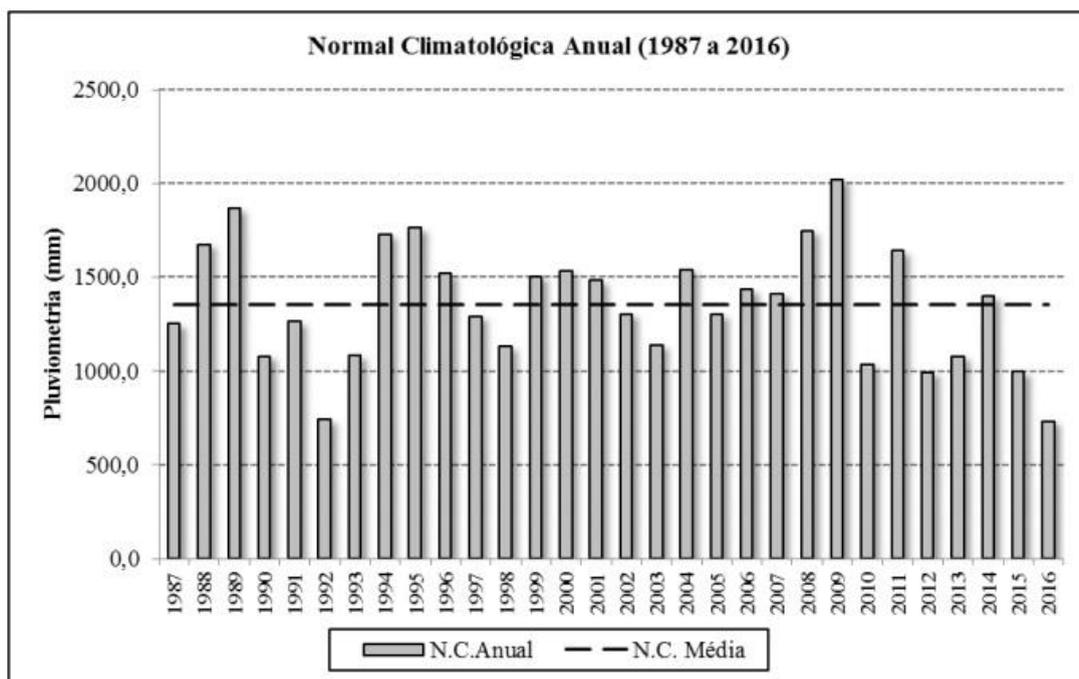
Figura 14 - Normal Climatológica Mensal (mm) do município de Teresina, período de 1987 a 2016.



Fonte: Santos (2019).

Ainda analisando o estudo de Santos (2019), nota-se na Figura 15 que no período correspondente, a normal climatológica anual média do município de Teresina foi de 1.356,3 mm, e que os anos mais secos foram (1992 e 2016) e os mais chuvosos (1989 e 2009). Segundo Oliveira Júnior (2019) os volumes pluviométricos característico do clima semiárido do nordeste brasileiro normalmente é entorno de 800 mm/ano, devido chuvas irregulares e longo período de estiagem. Dessa forma, por mais que Teresina apresente comportamento típico do clima semiárido, devido as altas temperaturas, durante todo o ano, a cidade apresenta um cenário de precipitações regulares bem definida no decorrer dos últimos 30 anos.

Figura 4 - Normal Climatológica Anual (mm) do município de Teresina, período de 1987 a 2016.



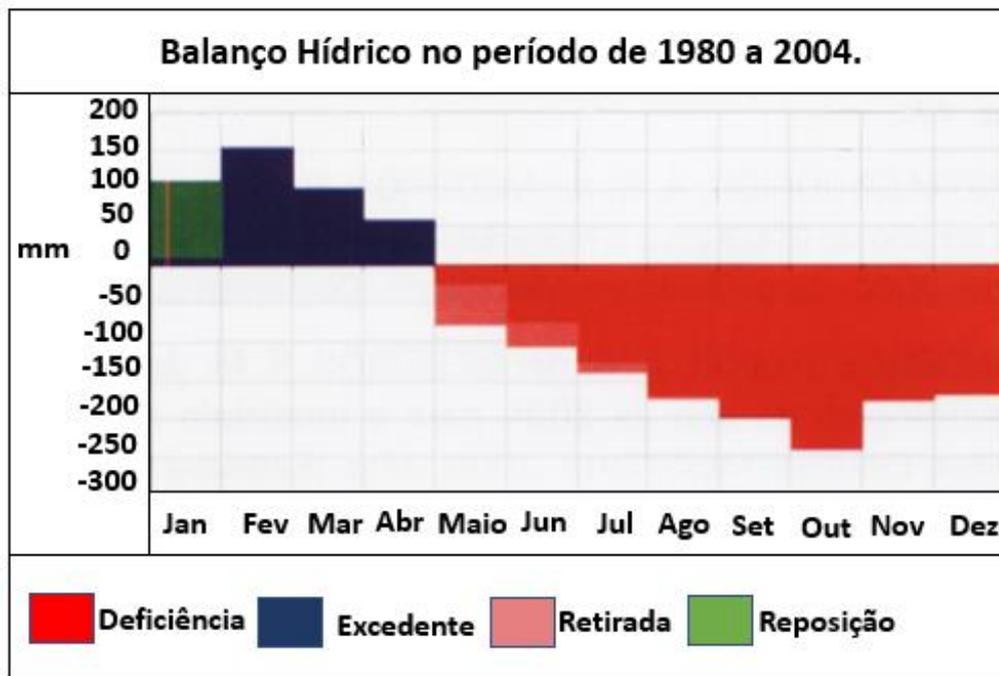
Fonte: Santos (2019).

Na Figura 17 é apresentado o extrato do balanço hídrico realizado por Andrade Júnior et al. (2018) no período de 2009 a 2017. Com base nos gráficos, percebe-se que o mês de janeiro ora é de reposição hídrica, ora de deficiência, dependendo do período que se inicia as chuvas. Na sequência, vêm o trimestre (fevereiro a abril), onde ocorre reposição e excedente hídrico moderado no verão. Já no segundo semestre, nos meses de junho a dezembro, ocorre deficiência hídrica potencial, sendo o mês de outubro o mais atingido, com uma média de quase -300 mm/mês. Nota-se, nos meses de maio a junho retirada e deficiência em um único mês, o que, certamente, se deve a esse período de transição de concentração das chuvas.

Assim, nota-se o início da deficiência hídrica no solo do município a partir do mês de maio e acentuando-se principalmente no segundo semestre, o que os torna mais suscetíveis a desencadear processos de expansão e colapso nesse período. Contudo, nos meses do trimestre (fevereiro-abril) têm-se um solo com grande umidade em superfície, e em profundidade um solo não-saturado pela ascensão do lençol freático, tornando-os poucos suscetíveis aos processos de expansão e colapso. Enfatiza-se que as informações mais recentes foram retiradas de uma série de apenas oito anos (Figura 17), entretanto fica

evidente na Figura 16 que no período de 1980 a 2004 ocorre exatamente conforme analisado na série recente de 2009 a 2017.

Figura 16 - Extrato do balanço hídrico por mês, no período de 1980 a 2004.



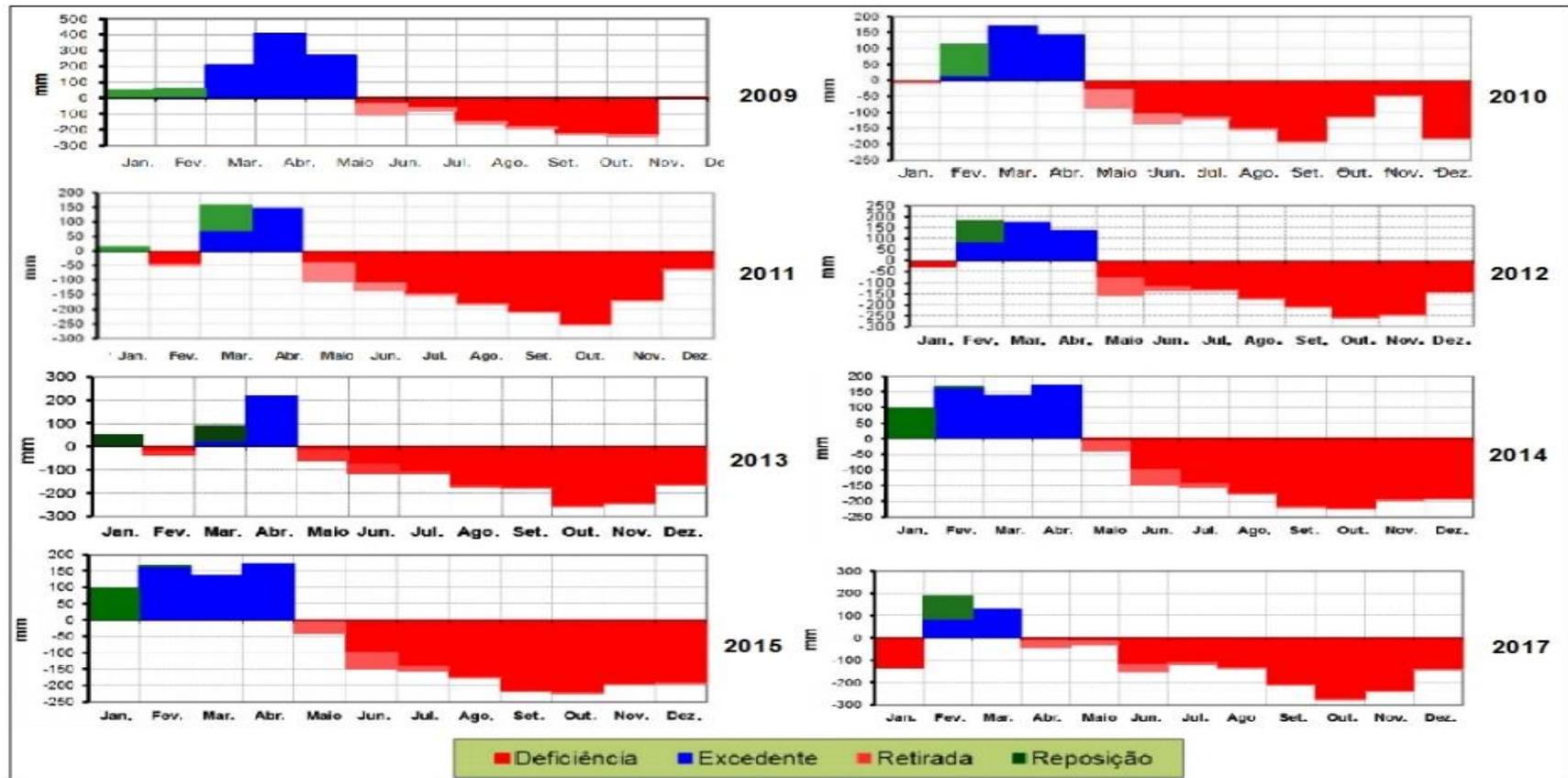
Fonte: Bastos e Júnior (2006).

Por conseguinte, os resultados permitem classificar o clima de Teresina pela pesquisa realizada por Bastos e Júnior (2006)⁴. Pelo índice de umidade⁵ de THORNTHWAITE e MATHER (1955), o clima é

⁴ Os dados meteorológicos foram obtidos na estação agrometeorológica do INMET, localizada na área experimental da Embrapa Meio-Norte, com coordenadas e altitude de (05°05' S; 42°48' W e 74,4 m), no período de 1980 a 2004. Os valores da evapotranspiração de referência foram determinados pelo método de Penman Monteith (Pereira et al., 1997).

⁵ Índice de umidade para o período correspondente ($Iu = -17,2\%$).

Figura 5 - Extrato do balanço hídrico de Teresina nos anos 2009 a 2017.



Fonte: A autora (2020).

Subúmido Seco e megatérmico⁶. Pelo índice hídrico⁷ de THORNTHWAITE e MATHER (1955) o clima é Subúmido úmido. No período correspondente a evapotranspiração (1715 mm) excedeu a precipitação (1.324,3 mm) em 391 mm. Nas Tabelas 8 e 9 encontram-se descritas as classificações climáticas com base no Iu e no Ih, respectivamente. Segundo Santos (2019), Teresina está sujeito às oscilações climáticas interanuais típicas da região semiárida do Nordeste Brasileiro, onde apresentam anos com anomalias pluviométricas positivas e outros negativos.

Tabela 7 - Tipos climáticos, baseados no índice de umidade (Iu), segundo THORNTHWAITE (1948) e THORNTHWAITE & MATHER (1955).

Tipos climáticos	Índice de Umidade (Iu)	
	Thorntwaite (1948)	Thorntwaite & Mather (1955)
A- Superúmido	$100 \leq Iu$	$100 \leq Iu$
B ₄ -Úmido	$80 \leq Iu < 100$	$80 \leq Iu < 100$
B ₃ -Úmido	$60 \leq Iu < 80$	$60 \leq Iu < 80$
B ₂ - Úmido	$40 \leq Iu < 60$	$40 \leq Iu < 60$
B ₁ - Úmido	$20 \leq Iu < 40$	$20 \leq Iu < 40$
C ₂ - Sub-úmido	$00 \leq Iu < 20$	$00 \leq Iu < 20$
C ₁ - Sub-úmido seco	$-20 \leq Iu < 00$	$-33,3 \leq Iu < 00$
D- Semiárido	$-40 \leq Iu < -20$	$-66,7 \leq Iu < -33,3$
E- Árido	$-60 \leq Iu < -40$	$-100 \leq Iu < -66,7$

Fonte: Bastos e Júnior (2006).

⁶ Clima Megatérmico ou tropical: Temperatura média do mês mais frio > 18°C; Estação invernososa ausente; Precipitação anual superior a evapotranspiração anual. Fonte: Adaptação por Souza et.al (2013) da classificação de Köppen (1931).

⁷ Índice hídrico para o período correspondente (Ih = 15,1 %)

Tabela 8 - Classificação climática segundo o índice hídrico (Ih) segundo THORNTHWAITE & MATHER (1955).

TIPO CLIMÁTICO	SÍMBOLO	FORMULAÇÃO ORIGINAL	FORMULAÇÃO ALTERADA
		EQUAÇÃO (IV.2)	EQUAÇÃO (IV.3)
		Ih (%)	Ih (%)
Árido	E	$-60 \leq I_h < -40$	$I_h < -66.7$
Semi-árido	D	$-40 \leq I_h < -20$	$-66.7 \leq I_h < -33.3$
Seco Sub-úmido	C1	$-20 \leq I_h < 0$	$-33.3 \leq I_h < 0$
Úmido Sub-úmido	C2	$0 \leq I_h < 20$	$0 \leq I_h < 20$
Úmido	B1	$20 \leq I_h < 40$	$20 \leq I_h < 40$
Úmido	B2	$40 \leq I_h < 60$	$40 \leq I_h < 60$
Úmido	B3	$60 \leq I_h < 80$	$60 \leq I_h < 80$
Úmido	B4	$80 \leq I_h < 100$	$80 \leq I_h < 100$
Superúmido	A	$I_h \geq 100$	$I_h \geq 100$

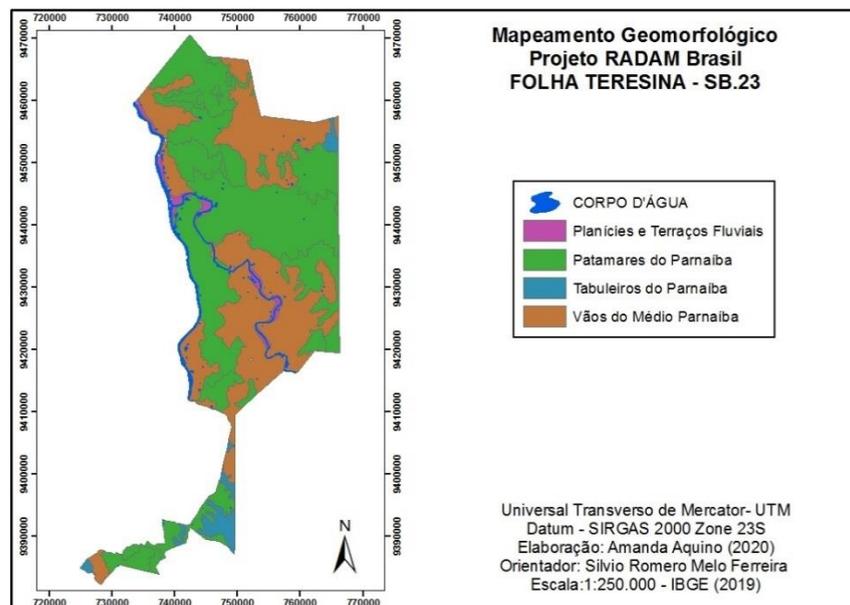
Fonte: Krishnan (1980) *apud* Amorim (2004).

2.3.6 Geomorfologia (Relevo e Declividade)

O mapeamento geomorfológico de Teresina-PI (Figura 18) apresenta quatro unidades distribuídas no município, nos quais são:

- a) Planícies e Terraços Fluviais: incluem várzeas e terraços aluviais elaborados em depósitos sedimentares holocênicos, estes ocorrem principalmente ao longo dos rios, onde se apresentam como trechos descontínuos de planície fluvial;
- b) Os Patamares do Parnaíba: correspondem a baixos relevos dissecados e restos de chapadas posicionados ao longo do baixo-médio curso do rio Parnaíba.;
- c) Vão do Médio Parnaíba: predominam relevos planos;
- d) Tabuleiros do Parnaíba: estão ao longo do médio curso do rio Parnaíba com restos de chapadas truncadas por superfície de aplanamento e nesta unidade foram constatados derrames de rochas basálticas (IBGE, 2019).

Figura 6 - Mapeamento Geomorfológico - Folha Teresina SB.23 - Projeto RADAM Brasil.



Fonte: A autora (2020).

Lima (2011) realizou importante mapeamento do relevo do Teresina (Figura 19), partindo-se da identificação de unidades e caracterização morfológica que compreendem as seguintes unidades:

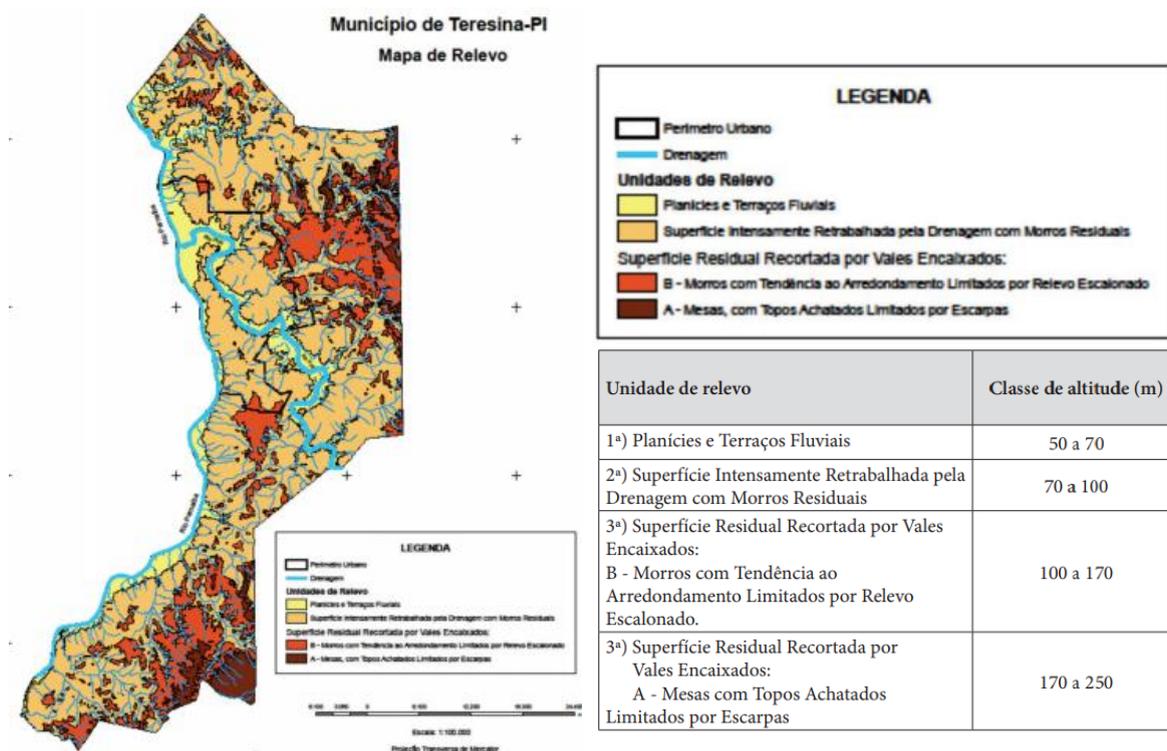
a) Planícies e Terraços Fluviais: faixas descontínuas ao sul e de forma contínua ao norte da cidade de Teresina, em faixas de 50 a 70 m de altitude.

b) Superfícies Intensamente Retrabalhada pela Drenagem com Morros Residuais: correspondem as formas modeladas sob intensos processos erosivos, diretamente sobre a formação Pedra de Fogo, correspondendo à faixa de altitudes entre 70 e 100 metros.

c) B - Superfície Residual Recortada por Vales Encaixados Morros com Tendência ao Arredondamento Limitados por Relevo Escalonado: compreendem formas erosivas de topos definidos, porém reafeiçoados pelos processos erosivos, tendendo ao arredondamento, sendo recortados por vales encaixados e se encontram na faixa de 100 a 170 metros de altitude.

d) A - Mesas com Topos Achatados Limitados por Escarpas: compreendem formas erosivas de topos mais elevados e encostas íngremes, entre os níveis de 170 a 250 metros de altitude. Formam as pequenas áreas de maiores altitudes do município.

Figura 19 - Mapa de Relevo do Município de Teresina, PI.



Fonte: Lima (2011).

Ao encontro com o descrito por Lima (2011), De Albuquerque e Lopes (2016), reafirmam que a zona urbana de Teresina encontra-se inserida, em quase toda a sua área, em um relevo plano correspondendo à faixa de altitudes entre 70 e 100 metros, com exceção de algumas regiões. Nesse contexto destacam-se três áreas com declividade acentuada superior a 15%. A primeira, considerada a maior de todas, encontra-se na zona sul da área urbana, às margens do rio Poti, e compreende os bairros: Redenção, Lourival Parente e Bela Vista; a segunda área constitui-se de faixa na zona leste nos bairros Cidade Satélite e Pedra Mole, Vila Bandeirante e Socopo, localizados sobre uma superfície acidentada com a presença de morros e a terceira localiza-se na zona norte da cidade às margens do rio Poti, no bairro Água Mineral (SILVA, 2017).

2.3.7 Histórico de Ocorrência de Acidentes Extremos Naturais Geológicos e Hidrológicos em Teresina.

São descritas informações contendo o histórico de ocorrências de eventos extremos naturais mais recorrentes em Teresina-PI. Foram identificados, com base na classificação da COBRADE, desastres tanto de origem geológica como hidrológica. De acordo com Chaves (2017) e CPRM (2012), Teresina apresenta inundações ocasionadas por intensas precipitações (o que desencadeia solapamento, deslizamento e alagamentos), e também, segundo Pimentel (2008), ocorre uma elevada fragilidade do subsolo da Cidade, com problemas de subsidência e colapso, intitulados de “Pontos de Afundamentos”. Dessa forma, com a finalidade de gerar uma contribuição ao tema e tendo em vista o comentado por Duarte (2015), da importância e necessidade de registrar esses fenômenos no contexto histórico do País, com a finalidade de formar um Banco de Dados Nacional, possibilitando assim o planejamento de medidas preventivas e preparatórias para o enfrentamento desses eventos.

Com a disponibilidade de dados existentes, no qual foram reunidos por meio visitas de campo ao CREA-PI (disponível no Anexo B.1), CPRM-PI e na escola de Geoprocessamento do IFPI – e por meio de e-mail enviado ao geólogo Jorge Pimentel (que muito solícito disponibilizou importante documento de sua autoria). Em vista disso, foi estruturado um banco de dados dos processos de subsidência e colapso e de enchentes e inundações, contendo informações como: localização, data (por ordem cronológica do mais antigo para o mais atual) e dimensão social impactada pela ocorrência de acidentes extremos de ordem natural, geológico e hidrológicos no município de Teresina.

2.3.7.1 Processos de Subsidência e Colapso

Os processos de subsidência e colapso ocorrem de forma recorrente ao longo dos anos no município de Teresina, gerando prejuízos financeiros aos habitantes e risco de perdas humanas. São desastres de ordem natural geológico agravados pela ocupação antrópica em áreas de risco. Segundo Pimentel (2008) os afundamentos são deflagados pela perfuração de poços tubulares (refletem apenas a informação verbal de técnicos que vivenciaram o problema), oscilações do lençol freático, vazamentos nas redes de esgoto e

hidráulica. Dentro todas as causas, Lopes et.al (2014) explica que dissolução química de rochas calcárias⁸ presente na formação geológica Piauí está diretamente relacionada aos acidentes ocorrentes no centro de Teresina, pois favorecem a formação de dolinas. Contudo em outras áreas da Cidade também ocorrem lentes de rochas calcárias. Na contramão da complexidade do problema, são casos pouco estudados. Foi encontrado na literatura as pesquisas de Lollo (2002), Barradas (2010) e Lopes et. al (2014). O serviço geológico brasileiro (CPRM) vem realizando campanhas de GPR⁹ para verificar a ocorrência de eventuais cavernas rasas na região central de Teresina.

Os maiores acidentes são as da Rua Simplício Mendes, em 1999, e na rua Francisco Mendes, em 2008. A 29 de Dezembro de 1999, um quarteirão da Rua Simplício Mendes afundou ocasionando o desabamento de moradias e parte do trecho da rua. Após o ocorrido, no ano 2000, foi gasto com estudos preliminares o equivalente a US\$ 318.000 dólares (Anexo B.1).

Figura 21 - Rua Simplício Mendes após acidente em 1999.



Fonte: Pimentel (2008).

⁸ As rochas calcárias afloram em superfície e profundidade com espessura de 1,5 a 4,5 m.

⁹ Apesar dos bons resultados de GPR até a profundidade de 3 metros, os mesmos não atendem o objetivo do estudo na cidade, que é a identificação de possíveis cavernas. A alta condutividade do meio impossibilita a continuidade das investigações geofísicas com o GPR, assim recomenda-se aos órgãos públicos a realização de investigações geofísicas com o método da eletrorresistividade (Lago et. al, 2018).

Entre eles, uma campanha de ensaios de campo na rua foi realizada por meio de sondagens a percussão e rotativa (subsolo com presença de rochas). Percebe-se pelo relatório da Figura 22 um perfil com camadas superiores de areia muito fina, com lentes de arenitos silificados e presença de lençol freático em 10 metros de profundidade (ou seja, solo não-saturado até esta camada, ou menos por conta da ascensão capilar). Nas camadas mais profundas nota-se a presença de argila, areia muito fina e arenitos silificados pouco fraturado em toda a extensão da investigação. Não foi disponibilizado o relatório contendo o Nspt e RQD das camadas analisadas e nem se foram encontradas cavernas.

Figura 22 - Relatório dos Furos de Sondagens realizados na Rua Simplício Mendes.



Fonte: Adaptado Acervo do CREA-PI (2000).

Em 31 de julho de 2008, na rua Francisco Mendes, por conta de uma infiltração na rede de esgoto, muros de várias casas e do prédio que funciona a Associação de Pais e Amigos dos Excepcionais (APAE) sofreram danos, ocasionando fissuras e rachaduras nas estruturas (Figura 23). Barradas (2010) relata que o acidente ocorreu no período noturno, e por isso causou apenas danos materiais, tendo em vista a queda do muro da APAE.

Figura 7 - Colapso em residências na rua Francisco Mendes em 2008



Fonte: Pimentel (2008).

Dentre as ocorrências recentes, foram registrados três novos pontos de afundamentos em 2018. Um deles foi na Rua São José, no bairro Água Mineral, onde o chão do quarto de uma residência desmoronou em uma cratera de 5 metros de profundidade (Figura 24a), a Defesa Civil condenou e demoliu a casa da família (Figura 24b). Pelo segundo ano consecutivo, na Avenida Raul Lopes (uma das principais avenidas da Cidade em frente ao shopping Riverside), ocorreu afundamento do pavimento (Figura 24c).

Figura 8 - Ocorrência recentes de Afundamentos do Solo: a) Cratera de 5 metros. Fonte: Aline (2018); b) Demolição da casa que apresentou uma Cratera



Fonte: Fabrício (2018) c) Buraco na Av. Raul Lopes. Fonte: José Marcelo e Costa (2018).

Na Tabela 10 estão 18 pontos de afundamentos do solo de Teresina com a descrição das causas e danos. Todas as coordenadas geográficas encontram-se no Anexo B.2. Um diagnóstico dos reais causas e um mapeamento de setorização de riscos seriam de fundamental importância para a Cidade, tanto para conscientizar a sociedade deste problema e principalmente para ser tomadas medidas de prevenção.

Tabela 9 - Ocorrência de afundamentos do solo em Teresina-PI.

Acidente Extremo Natural	PONTO	Endereço da Ocorrência	Data do Registro	Causa/ Processo	Danos	Fonte
SUBSIDÊNCIAS E COLAPSOS	P1	Rua Francisco Mendes	1999	Colapso do Terreno durante perfuração de poço	Afundamento da rua de aprox. 1 metro, rachaduras em muros, paredes e assoalho de quatro residências.	BARRADAS (2010)
	P2	Cemitério São José	-	Subsidência do Terreno	Afundamento do terreno, danos nas vias e túmulos. Rachaduras e destruição parcial.	BARRADAS (2010)
	P3	Rua João Cabral	-	Perfuração de poço/ Subsidiência do Terreno	Interrupção da perfuração do poço tubular devido recalque excessivo.	BARRADAS (2010)
	P4	Rua Simplício Mendes	-	Perfuração de poço/ Subsidiência do Terreno	Rachaduras no muro e moradia devidos perfuração de poço	BARRADAS (2010)
	P5	Praça do Fripisa	-	Problemas na Perfuração de poço	Não foram relatados danos. Interrupção na perfuração do poço	BARRADAS (2010)
	P6	Estacionamento UDI	-	Perfuração de poço/ Subsidiência do Terreno	Durante perfuração do poço ocorreu afundamento que causou danos na clínica	BARRADAS (2010)
	P7	Rua Paissandu	-	Perfuração de poço/ Subsidiência do Terreno	O terreno afundou e a perfuração foi suspensa	BARRADAS (2010)
	P8	Ambulatório Lineu Araújo	-	Perfuração de poço/ Subsidiência do Terreno	Afundamento do terreno durante perfuração do poço	BARRADAS (2010)
	P9	Hospital Infantil -Rua Gov. Raimundo Arthur de Vasconcelos	-	Colapso do Terreno	Grande Afundamento da rua ocasionando rachaduras no prédio	BARRADAS (2010)

P10	Hospital São Marcos - Rua Taumaturgo de Azevedo	-	Problemas na Perfuração de poço	Não foram relatados danos.	BARRADAS (2010)
P11	Rua Goiás	-	Perfuração de poço/ Subsidência do Terreno	Afundamento do terreno	BARRADAS (2010)
P12	Rua Amapá	-	Problemas na Perfuração de poço	Não foram relatados danos.	BARRADAS (2010)
P13	Av. Gil Martins	-	Problemas na Perfuração de poço	Não foram relatados danos.	BARRADAS (2010)
P14	Rua Odilon Araújo	-	Problemas na Perfuração de poço	Não foram relatados danos.	BARRADAS (2010)
P15	Rua Simplício Mendes	2008	Colapso do Terreno - Vazamento na tubulação	Destruição de duas moradias e afundamento da rua.	BARRADAS (2010)
P16	Avenida Raul Lopez (Em frente ao Shopping Riverside)	2018	Afundamento do Pavimento da Avenida	Interdição para reparo da via.	MARCELO E COSTA (2018)
P17	Rua José Bairro Água Mineral	2018	Cratera de 5 metros de profundidade em uma residência	Dois adultos e três crianças caíram na cratera apresentando ferimentos leves.	ALINE E FABRÍCIO (2018)
P18	Rua Verdes Mares - 2967	2019	-	Afundamento da Garagem da residência.	AUTORA (2020)

Fonte: A autora (2020).

2.3.7.2 Enchentes, Inundações e Alagamentos

Nas últimas quatro décadas, as inundações dos anos de 1985, 2004, 2009 e 2019 foram as que mais se destacaram, com precipitações entre 1.500mm e 2.600mm. Considerando o período de 1987 a 2016, o ano de 2009 foi o mais chuvoso da série. A enchente de 2009 inundou muitos pontos da cidade, trazendo prejuízos aos moradores dos bairros mais afetados (SANTOS, 2019). Na Tabela 11 estão descritas as enchentes em ordens cronológicas (do mais antigo para o mais atual), no qual causaram os maiores impactos no decorrer dos anos em Teresina.

Tabela 10 - Descrição das causas e danos das enchentes de 1985, 2004, 2009 e 2019.

Acidente Extremo Natural	Endereço da Ocorrência	Data do Registro	Causa	Danos	Fonte
ENCHENTES E INUNDAÇÕES	Teresina	1985	Transbordamento dos rios Poti e Parnaíba.	Diversos bairros foram atingidos. O bairro Primavera foi o mais castigado, aonde as águas chegaram a cobrir o telhado de 300 casas. Dezenas de famílias ficaram desabrigadas	FEITOSA (2014)
	Teresina	1995	Transbordamento dos rios Poti após 20 dias de chuvas constantes em Teresina. O rio Poti alcançou cota de 9,3 metros de altura, quando a cota normal é de 3 metros.	Prejuízos materiais diretos às moradias e famílias desabrigadas.	FEITOSA (2014) e Empresa Teresinense de Desenvolvimento-ETURB.
	Teresina	2009	Transbordamento do rio Poti e falha no sistema de drenagem da zona leste.	Nas zonas Norte e Sudeste: derrubou casas, desabrigou 2.159 famílias. A zona Leste em decorrência do entupimento de bueiros e galerias foi considerada a área da cidade mais afetada. Alagamentos de prédios, shoppings e estabelecimentos comerciais e pontes interditadas	FEITOSA (2014)
	Teresina	2019	Transbordamento de uma lagoa no bairro Parque Rodoviário, Zona Sul de Teresina	30 feridos, duas mortes e vários desabrigados. 83 casas foram afetadas. Dessas, 10 ficaram totalmente destruídas.	G1 GLOBO PIAUÍ (2019)

Fonte: A autora (2020).

Chaves e Lopes (2011) fazendo uma análise comparativa entre a situação das quatro zonas da cidade que são vulneráveis às enchentes, concluíram que de todas as Zonas, a Norte é a mais vulnerável às enchentes por influência direta da cheia dos rios, além de abranger o maior número de pessoas vulnerável às enchentes na cidade. A Zona Sudeste se encontra numa situação preocupante, embora somente cerca de 12 % dos seus moradores sejam considerados vulneráveis. A Zona Sul pode ser considerada como um grau de

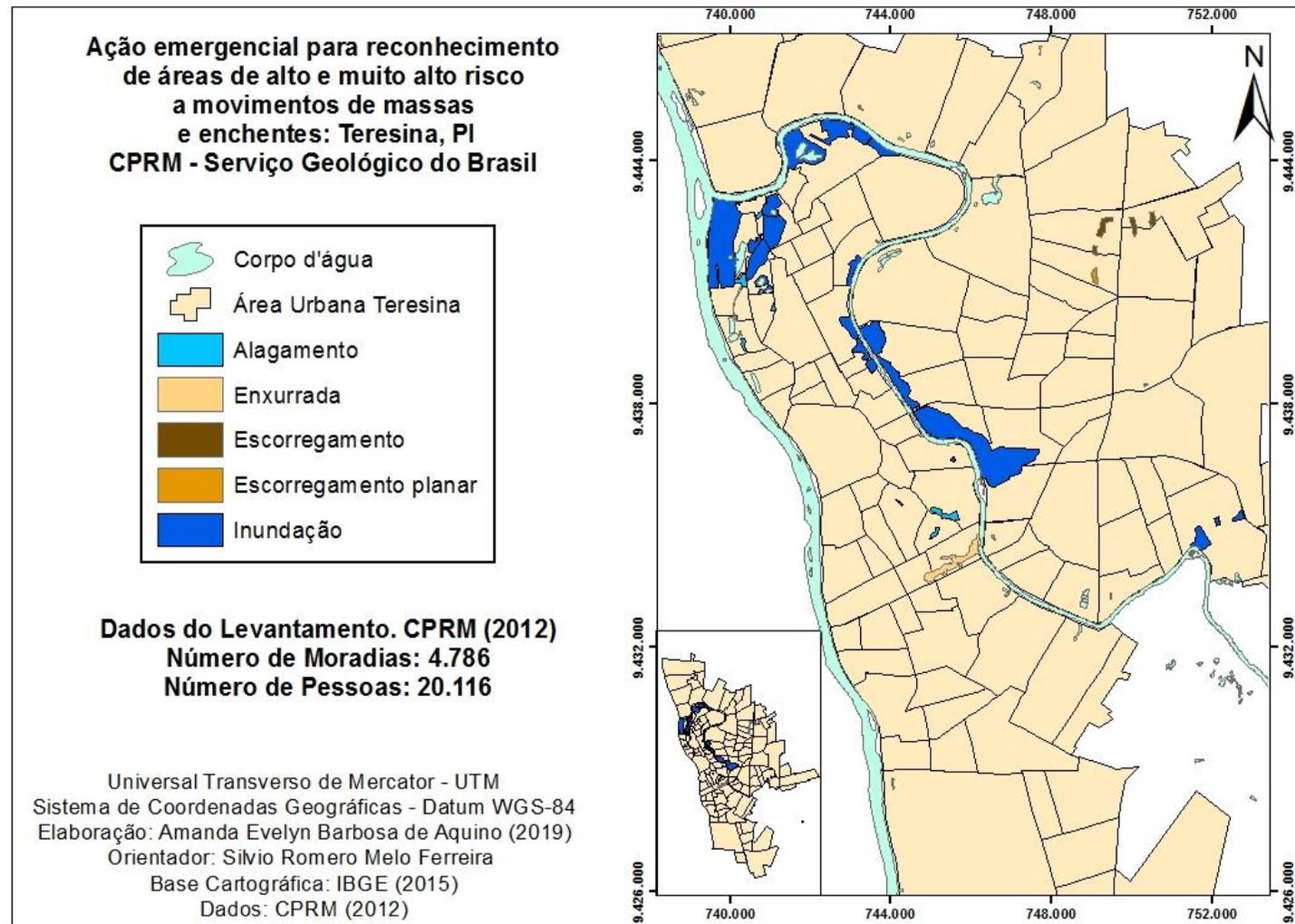
vulnerabilização moderada, uma vez que somente um pequeno contingente dos seus moradores está vulnerável às enchentes oriundas das cheias do rio Parnaíba. Os bairros Olaria, São Joaquim, Matadouro, São Francisco, Alto Alegre, Poti Velho, Mocambinho e Água Mineral, todos localizados na zona Norte, estão assentados diretamente no leito maior dos rios ou muito próximo a eles. Segundo Chaves (2017) o Projeto Lagoas do Norte (PLN)¹⁰ consiste na ação mais importante por parte do poder público para solucionar a ocorrência das inundações e reduzir o número de afetados em Teresina.

Outra causa direta dos altos índices pluviométricos em Teresina, são os alagamentos, que ocorrem em vários pontos da Cidade, principalmente na Zona Leste. Uma das causas apontada por Silva et.al (2014), é a verticalização em Teresina, principalmente na Zona Leste, onde ocorreu sem um planejamento adequado, ocasionando problemas como os alagamentos devido ao intenso processo de impermeabilização do solo, excepcionalmente nas áreas próximas ao Rio Poty. Como medida mitigadora do processo de impermeabilização que os prédios provocam, a Prefeitura Municipal de Teresina (PMT) instituiu dentro da lei 3.562/2006 (Uso e Ocupação do Solo Urbano de Teresina), exigência normativa que 25% das áreas relativa aos recuos das edificações de uso coletivo deve ser mantida sem impermeabilização.

No mapa da Figura 25 constata-se que Teresina apresenta 38 setores de risco, os quais abrigam um total de 4.786 edificações e 20.116 moradores. Desses, 8 predominam a ocorrência de alagamento, 24 de inundações, 5 de deslizamentos e, 1 de enxurrada (CPRM, 2012)

¹⁰ O Projeto Lagoas do Norte consiste num conjunto de ações integradas, inter-relacionadas e tecnicamente planejadas, que buscam contribuir para o desenvolvimento sustentável da zona norte da cidade através da requalificação urbana e ambiental. No entanto, o PLN se restringe a alguns bairros localizados no norte da cidade, desprezando o fato de que em outras zonas também ocorrem inundações, embora com menor número de afetados (CHAVES, 2017).

Figura 25 - Mapa da Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massas e enchentes: Teresina, PI.



Fonte: A autora (2020).

3 INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA

Foram realizados ensaios com duas amostras que estão sintetizadas, as coordenadas e motivação na Tabela 12. Na sequência as amostras estão enumeradas com suas respectivas classes Pedológicas, Geológica e Climática (Tabela 13).

Tabela 12 - Coordenadas geográficas em UTM.

Amostra	Coordenadas		Motivação da caracterização
	UTM_E	UTM_N	
01	743269	9438157	Processo de colapso e subsidência na Rua Francisco Mendes.
02	748755	9430775	Mapear uma área de solo Expansivo em Teresina no Residencial Parque Sul

Fonte: A autora (2020)

Tabela 13 - Informações da pedologia, geologia e clima das Amostras 01 e 02

Amostra 01: Rua Francisco Mendes
Classe pedológica: Latossolo Amarelo associado a um Neossolo Quartzarênico
Classe Geológica: Formação Piauí
Clima: Subúmido Seco
Amostra 02: Residencial Parque Sul
Classe pedológica: Argissolo Vermelho-Amarelo
Classe Geológica: Formação Pedra de Fogo
Clima: Subúmido Seco

Fonte: Autora (2020)

Na Figura 26 é apresentado um organograma mostrando os procedimentos adotados. Todas etapas assim como os resultados serão descritos adiante.

Figura 26 - Organograma com o programa de investigação geotécnica das Amostras 01 e 02.



Fonte: A autora (2020)

3.1 MATERIAIS E MÉTODOS DA INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA

É apresentada a motivação e identificação das áreas de estudo, os procedimentos metodológicos acerca da coleta das amostras como também dos ensaios físicos, mecânicos e microestrutural.

3.1.1 Identificação das Áreas de Estudo

A investigação da Amostra 01 teve como motivação o histórico de problemas relacionados à afundamentos de terrenos no centro de Teresina, que são associados a dissolução química de rochas calcárias presente na formação geológica Piauí, exploração de água subterrânea, infiltração de águas superficiais e/ou vazamentos de rede de abastecimento de água e da urbanização. Para atingir esse objetivo foi realizada a coleta de amostra em um terreno localizado no trecho da rua Francisco Mendes (Figura 27.a).

A investigação da Amostra 02 foi motivada por não existir registros na literatura de casos de solos expansivos na cidade de Teresina. Dessa forma, com o auxílio dos mapas

geológicos e pedológicos, como também através de observações, foi realizada uma busca na cidade de localidades que pudessem apresentar solo expansivo. Por meio da indicação de Paiva (2016) e através de visitas de campo, foi identificado no perímetro urbano de Teresina, um solo com sinais de contração e fissuras em superfície, conforme pode-se observar na Figura 27.

Figura 27 - Identificação dos locais para coleta das amostras. a) Terreno no trecho do acidente na Rua Francisco Mendes; b) Solo com sinais de fissura e contração em período seco.



Fonte: Autora (2020).

3.1.2 Coleta das amostras

Em campo foram realizadas coletas de amostras deformadas e indeformadas (tipo blocos) de acordo a NBR 9604/86, que rege a abertura de poço e trincheira de inspeção em solo.

Para a extração das Amostras 01 e 02, foram realizados os seguintes procedimentos:

- Escavação manual do poço, com picareta e pá, até a profundidade de 0,30 metros e seção de 10,5 x 10,5 cm para a moldagem do bloco;
- Extração de amostras deformadas durante a escavação do poço e acondicionados em sacos plásticos;
- Moldagem do bloco em formato cúbico, com arestas de 0,30 cm, feita com espátulas. Os topos e as laterais foram envolvidos com papel filme, papel alumínio para proteção e preservação da umidade;
- Cravação de anéis metálicos no bloco e posterior retirada para o armazenamento com tampas de madeira e embalado por papel filme,
- Etiquetagem no bloco contendo a localização das amostras;

- Transporte das amostras de Teresina para o Laboratório da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), em Recife - PE, tomando todos os cuidados para não haver perturbações como choques e vibrações durante o trajeto.

- Figura 28 - Materiais utilizados para coleta das amostras.



Fonte: Autora (2020).

3.1.3 Caracterização Física

Foram realizados os ensaios convencionais de granulométrica por peneiramento, sedimentação e densidade real dos grãos (foram obtidos através do ensaio de picnômetro com a bomba de vácuo), determinação de limites de liquidez (WL), limite de plasticidade (WP) e índice de plasticidade, no Laboratório de Solos e Instrumentação da Universidade Federal de Pernambuco, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia, com as seguintes metodologias:

- Análise granulométrica – de acordo com a metodologia apresentada nas normas: NBR 7181 (ABNT, 2016c), os ensaios de sedimentação foram realizados com acréscimo da solução de hexametáfosfato de sódio, que atua como defloculante das partículas agregadas do solo).
- Peso Específico Real dos grãos pelo Picnômetro - de acordo com a metodologia apresentada nas normas: NBR 6508 (ABNT, 1984)
- Limite de Liquidez – De acordo com a metodologia apresentada nas: NBR 6457 – ABNT – “Amostras de Solo – Preparação para Ensaio de Compactação e Ensaio de Caracterização”, e NBR 6459 – ABNT – “Solo – Determinação do Limite de Liquidez;

- Limite de Plasticidade – De acordo com a metodologia apresentada nas normas: NBR 6457 – ABNT – “Amostras de Solo – Preparação para Ensaios de Compactação e Ensaios de Caracterização”. - NBR 7180 – ABNT – “Solo – Determinação do Limite de Plasticidade.

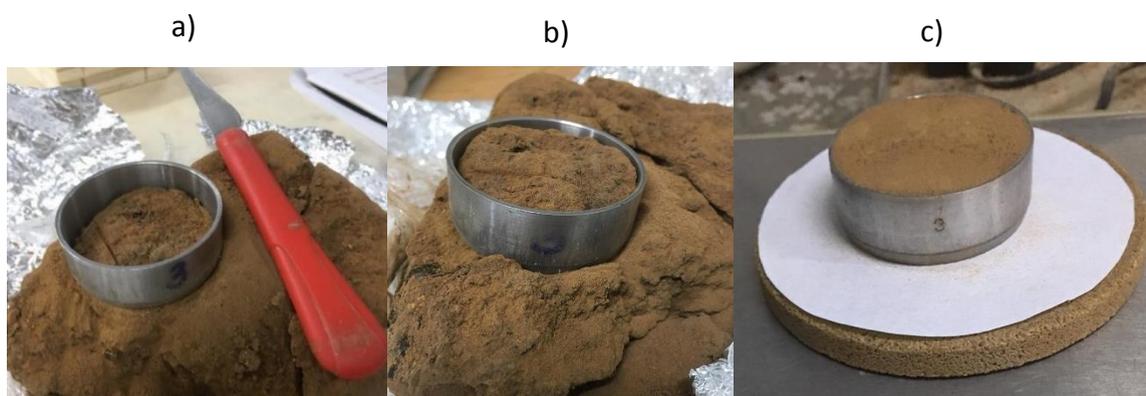
3.1.4 Caracterização Mecânica

Neste tópico será apresentado a metodologia dos ensaios de caracterização mecânica das amostras.

3.1.4.1 Ensaio Edométrico Simples

O ensaio foi realizado no Laboratório de Solos e Instrumentação da Universidade Federal de Pernambuco. Este ensaio teve como objetivo a verificação dos valores dos potenciais de colapso da Amostra 01. Primeiramente foram moldados 5 corpos de prova com o auxílio de espátulas na amostra indeformada transportada de Teresina-PI. Utilizando-se anéis de 50 mm de diâmetro e 20 mm de altura (Figura 29.a). Vale destacar a dificuldade em se moldar os corpos de prova, devido grande quantidade de finos do solo.

Figura 29 – Processo de moldagem dos corpos de provas. a) e b) Moldagem do corpo de prova no anel metálico de 50 mm de diâmetro e 20 mm de altura; c) corpo de prova moldado junto com pedra porosa.



Fonte: A autora (2020)

As tensões aplicadas nos ensaios iniciaram com 10 kPa e finalizado com 160 kPa. No primeiro momento ocorreram as progressões de cargas com acompanhamento das deformações por 24 horas. Nesse primeiro momento, no intuito do solo não perder

umidade, foi colocado plástico preso por ligas de borracha em cada uma das células (Figura 30)

Figura 30 - Ensaio montado nas células edométricas.



Fonte: Autora (2020)

Após 24 horas os corpos de provas foram inundando as tensões de: 10; 20; 40; 80; 160; kPa afim de simular em laboratório as tensões transmitidas pelas edificações. Na fase de inundação o permeante utilizado no ensaio foi água destilada e a vazão de inundação de 1,0 ml/s. De acordo com Ferreira (1995) este método apresenta o inconveniente de se inundar o solo de forma brusca, quando em campo esta condição não é frequente. Os deslocamentos devidos à inundação foram acompanhados nos tempos de 0; 0,10; 0,25; 1,00; 2,00; 4,00; 8,00; 15,00; 30,00; 60,00; 120,00; 480,00 e 1440 minutos. Os valores dos potenciais de colapso (CP), obtidos por meio dos ensaios edométricos simples, foram calculados pela Equação 3.1, e classificados pelo método de JENNINGS E KNIGH (1975).

Cálculo do Potencial de Colapso:

$$CP (\%) = \Delta H \times 100 / H_i \quad (1)$$

onde: CP é o potencial de colapso em porcentagem; ΔH é a variação da altura do corpo de prova devido à inundação e H_i é a altura do corpo de prova, antes da inundação;

3.1.4.2 Ensaio de expansão "Livre".

O ensaio de expansão "livre" foi realizado em células edométricas convencionais, seguindo os procedimentos da norma ASTM D4829/95. As amostras foram moldadas em anéis de

aço inoxidável de altura 20,00 mm e diâmetro de 71,3 mm do próprio equipamento e submetidas a pequenas tensões 10 kPa, sendo a expansão do solo acompanhada por 24 horas. O valor do potencial de expansão (SP), obtido por meio do ensaio edométrico simples, foi calculado pela Equação 2 e classificados pelo critério de Vijayvergiya e Ghazzaly (1973).

Cálculo do Potencial de Expansão:

$$SP (\%) = \Delta H \times 100 / H_i \quad (2)$$

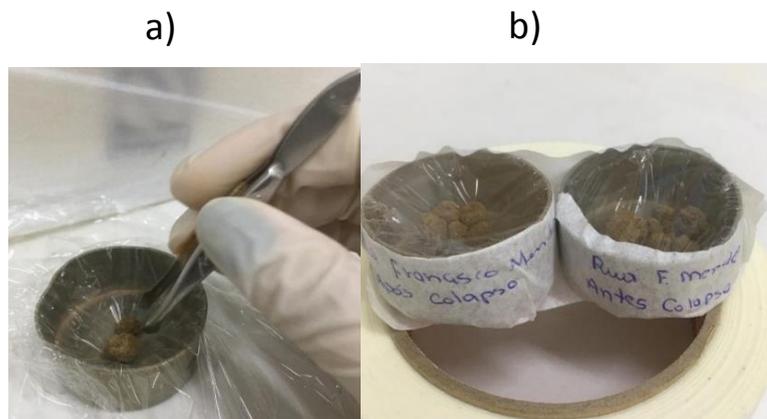
Onde: SP é o potencial de expansão em porcentagem; ΔH é a variação da altura do corpo de prova devido à inundação e H_i é a altura do corpo de prova antes da inundação.

3.1.5 Caracterização Microestrutural

Esse ensaio é uma identificação indireta da natureza colapsível e expansivo das amostras e visa identificar a microestrutura dos solos. Por isso foram escolhidas quatro amostras com o objetivo de verificar o solo antes e após a expansão e colapso. A primeira foi do solo colapsível, retirada do bloco indeformado com a umidade natural de 16 %, a segunda do corpo de prova após ensaio edométrico simples, inundada e submetida a um carregamento de 160 kPa até atingir o colapso, a terceira do solo expansivo, retirada do bloco indeformado com a umidade natural de 13 % e a quarta do corpo de prova após o ensaio de “expansão livre”, inundada e submetida a um carregamento de 10 kPa. O ensaio foi realizado no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) do Laboratório de Dispositivos e Nanoestruturas da UFPE. Como procedimento metodológico para realização do ensaio, foram tomados alguns cuidados especiais na preparação das amostras dos solos, como descritos a seguir:

- Após finalização dos ensaios edométricos, os corpos de provas passaram por um processo de secagem ao ar;
- Em seguida foram moldados corpos de prova das quatro amostras, com formato prismático, com base de 9,8 mm e altura de 8 mm, aproximadamente, tendo-se o cuidado para que nenhum instrumento cortante ou pontiagudo tocasse na superfície de observação, como mostrado na Figura 31 a e b.

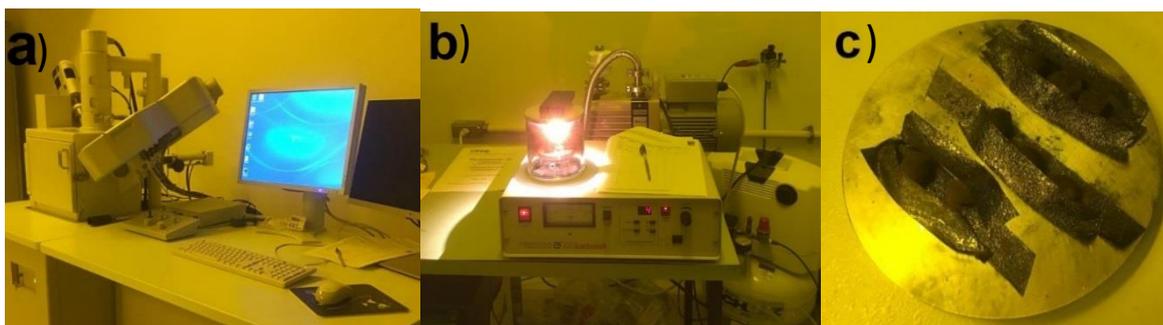
Figura 31 - Cuidados especiais na moldagem dos corpos de prova a) Luva e pinça para descamar e moldar. b) Corpos de prova embalados e identificados.



Fonte: Autora (2020).

- Após moldagem as amostras foram levadas ao Laboratório de Dispositivos e Nanoestruturas da UFPE, onde os corpos de provas são preparados para serem observadas no MEV (Figura 32.a);
- Primeiramente acontece a preparação da superfície de observação das amostras através da metalização: com o auxílio de uma fita dupla face 3M as amostras são fixadas a um suporte de alumínio de formato cilíndrico apropriado para o microscópio;
- Depois as amostras são levadas para a uma campânula de vácuo do tipo Fine Coat, Ion Sputter JfC-1100 da marca JEOL (Figura 32.b), onde por meio de evaporação ocorre a metalização dos corpos de prova com grafite (Figura 32.c);
- Por fim os corpos de provas são observados no equipamento JSM 6460 Scanning Electron Microscope de marca JOEL, com máquina fotográfica acoplada, e poder de resolução que permitiu aumentos de 5.000 vezes.

Figura 32 - Equipamentos do ensaio: a) Microscópio Eletrônico de Varredura; b) Campânula de vácuo para metalização das amostras; c) Corpos de provas após metalização com grafite.



Fonte: Autora (2020).

3.2 RESULTADOS COMPLEMENTARES

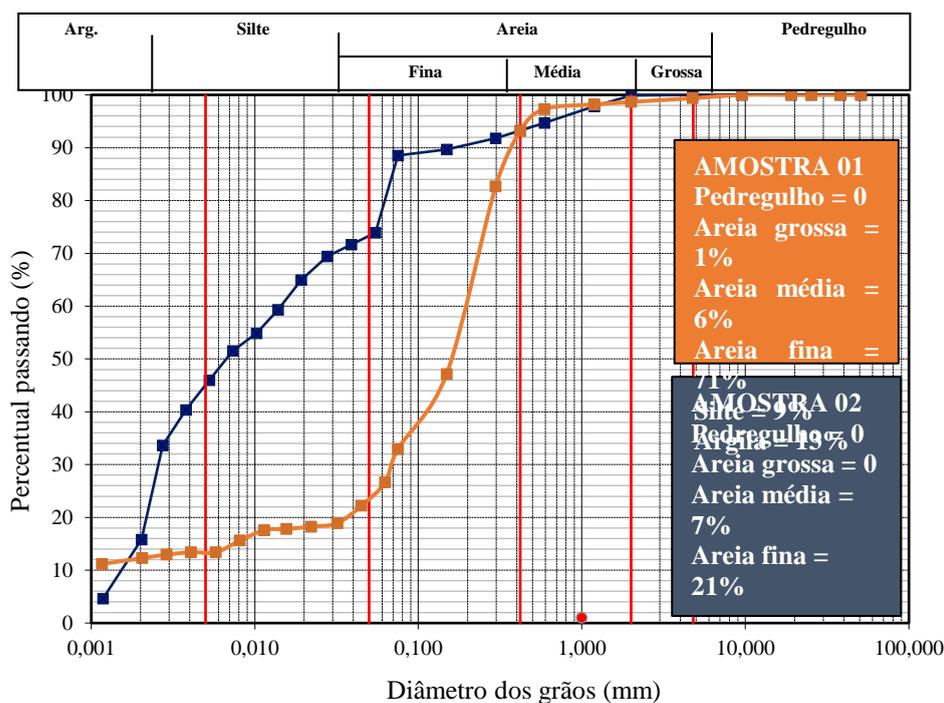
As composições e curvas granulométricas dos materiais estão sintetizadas respectivamente, na Tabela 14 e no gráfico da Figura 33. A Amostra 01 apresentou 33 % do material passando na peneira nº 200 (ASTM), contendo: 13 % de argila, 9 % de silte e 78 % de areia. A fração areia é constituída de 71 % de areia fina, 6 % de areia média, 1 % de areia grossa e sem presença de pedregulho. A Amostra 02 apresentou uma textura fina com mais de 88,5 % passando na peneira nº 200 (ASTM), contendo: 46 % de argila, 26 % de silte e 28 % de areia. A fração areia é constituída de 21 % de areia fina, 7 % de areia média, sem presença de areia grossa e pedregulho.

Tabela 14 - Síntese da Granulometria e Limites de Atterberg das Amostras 01 e 02.

Amostra	COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (%)				LIMITES DE ATTERBERG (%)			
	PEDREG.	AREIA	SILTE	ARGILA	<2u	LL	LP	IP
1	0	78	9	13	12	17	15	2
2	0	28	26	46	16	40	26	14

Fonte: A autora (2020)

Figura 33 - Curva granulométrica das Amostras 01 e 02.



Fonte: A autora (2020)

Tabela 15 - Síntese da Caracterização Física das Amostras 01 e 02. Fonte: Autora (2020).

Caracterização	Amostra 01	Amostra 02
Pedregulho %	0	0
Areia %	78	28
Silte %	9	26
Argila %	13	46
Relação Silte/Argila %	1	1
% < 0,002 mm	12	16
WL	17	40
WP	15	26
IP	2	14
Atividade IA=IP/%<2u	0,2	0,9
U.S.C	SM- Areia Siltosa	CL - Argila Baixa Compressibilidade
Transportation Reseach Board - TRB	A-2-6 Areias Siltosas ou Argilosas	A-6 Solo Argiloso

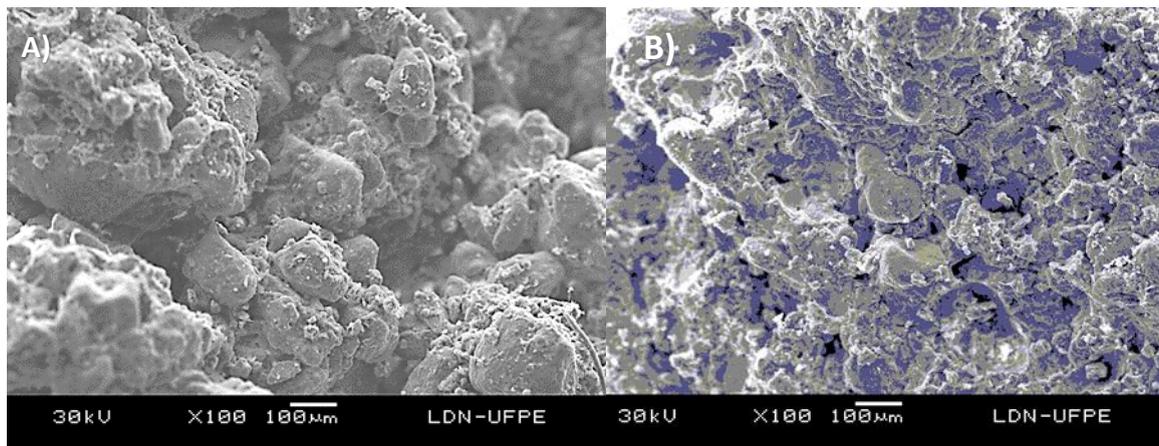
Fonte: A autora (2020)

A Amostra 01 é uma Areia Siltosa (SM) e a Amostra 02 é uma Argila com baixa compressibilidade (CL) pelo Sistema Unificado de Classificação (U.S.C). Pela classificação Transportation Research (TBR), a amostra 01 é classificada como areia siltosa ou argilosa (a-2-6) (areia siltosa ou argilosa) e amostra 02 é um solo argiloso (a-6). a amostra 01 têm índice de atividade de Skempton (1953) igual a 0,2, o que classifica como inativa e Amostra 02 igual 0,9, o que a classifica com Atividade Normal.

3.2.1 Caracterização Microestrutural do solo Colapsível e Expansivo

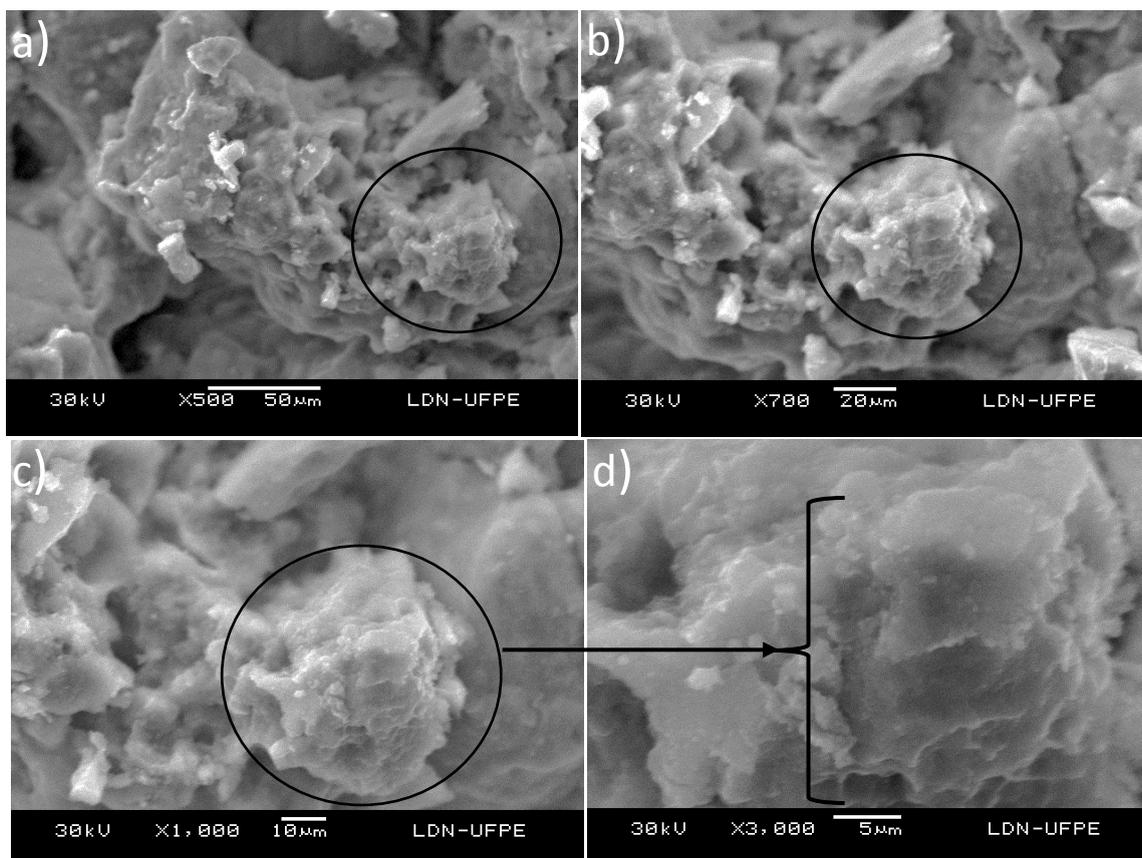
A microestrutura do solo colapsível foi observada com grande quantidade de vazios, presença de grãos de areia de forma arredondada e subangulares, revestidos por ligações instáveis (argilomineral do tipo caulinita (Figuras 34). Após colapso com uma tensão de inundação de 160 kPa, os grãos se acomodam por causa da inundação e energia aplicada, ocasionando uma redução dos vazios e maior empacotamento entre os grãos, contudo a estrutura ainda apresenta poros em sua estrutura. Segundo Freitas (2017) a mudança de umidade em um solo colapsível carregado (solo condicionado ao colapso) ou não (solo verdadeiramente colapsível) pode causar uma variação brusca de volume e rearranjo de sua estrutura, o que é possível observar na Figura 34.b.

Figura 34 - Imagens obtidas com a MEV: a) Solo colapsível da amostra indeformada, com ampliação de 100x. b) Solo colapsível, após colapso, submetido a uma tensão de inundação de 160 kPa, com ampliação de 100x.



Fonte: Autora (2020)

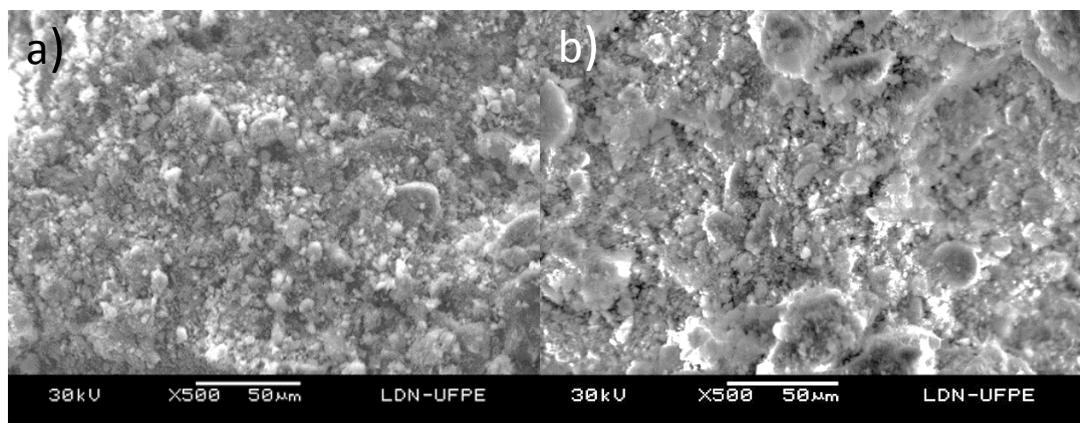
Figura 35 - Identificação de Argilomineral no Solo Colapsível da amostra indeformada obtidas com a MEV: a) Presença de massa cimentante argilosa impregnada nas partículas do solo colapsível (aumentada 500x). b) Identificação do argilomineral do tipo caulinita (aumentado 700x); c) Caulinita (aumentada 1.000x); d) Caulinita (aumentada 3.000x).



Fonte: A autora (2020)

Na Figura 36 são apresentadas as imagens obtidas da microestrutura do solo antes (a) e após expansão (b).

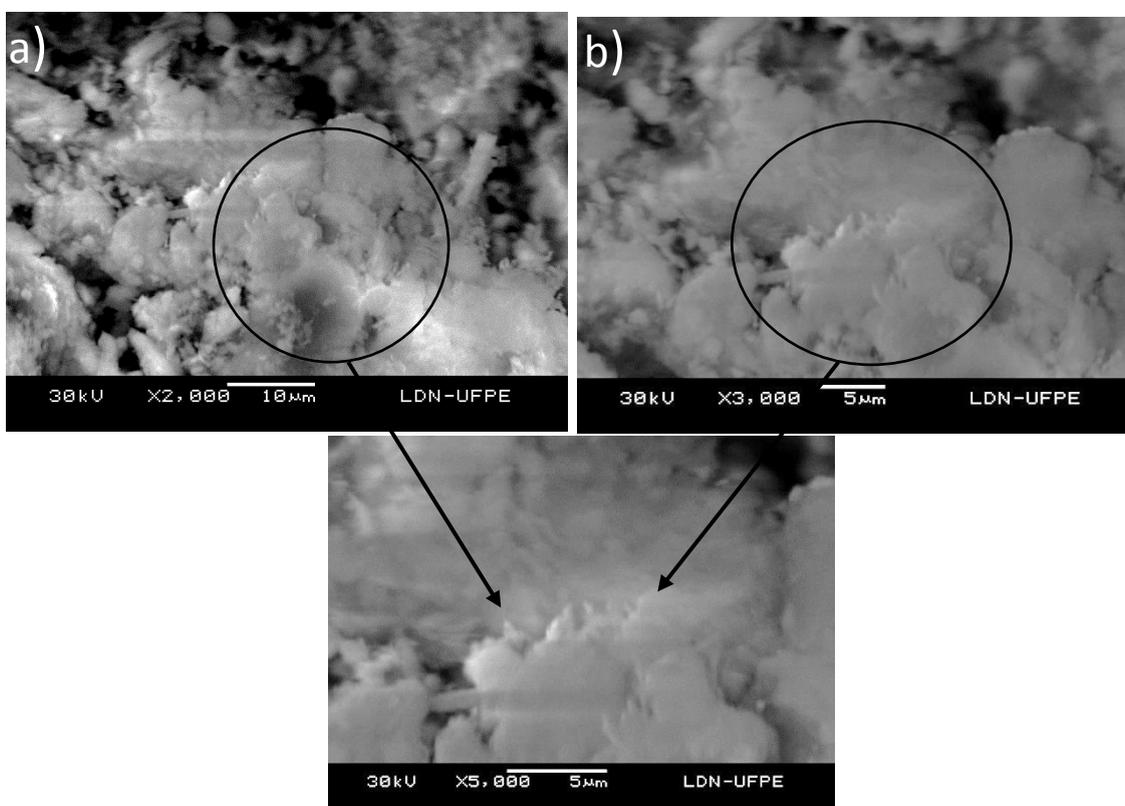
Figura 36 - Imagens obtidas com a MEV: a) Contextura da Amostra indeformada. b) Microestrutura após expansão, com tensão de inundação de 10kPa.



Fonte: A autora (2020).

Nas Figuras 37 encontra-se a identificação do argilomineral presente no solo expansivo da amostra indeformada. Com o aumento de 2.000, 3.000 e 5.000 vezes foi possível identificar a illita.

Figura 37 - Identificação de Argilomineral no Solo Expansivo da amostra indeformada obtidas com a MEV: a) Argilomineral do tipo illita (aumentado 2.000x); b) aumentado 3.000X c) illita (aumentada 5.000x).



Fonte: A autora (2020).

3.2.2 Caracterização Geomecânica

Neste tópico serão apresentados os resultados dos ensaios de caracterização mecânica das amostras.

3.2.2.1 Ensaio Edométrico Simples – Solo Colapsível

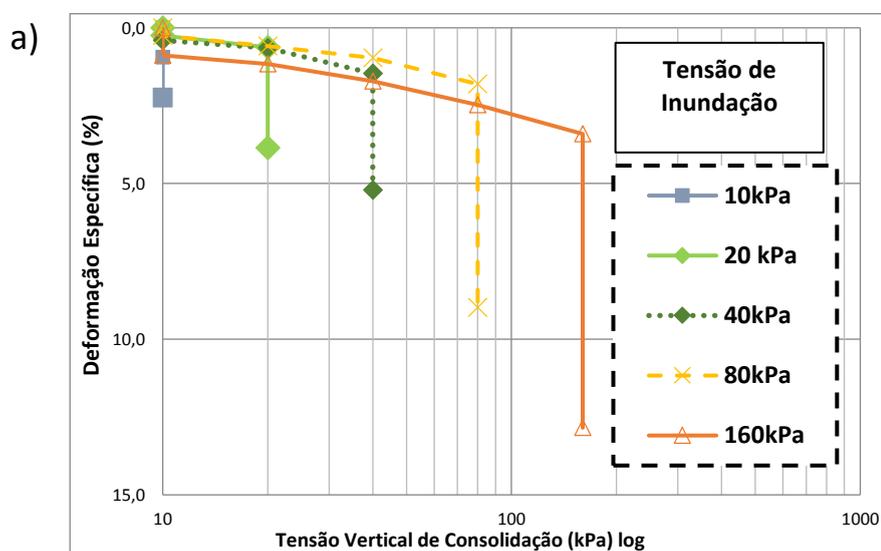
Na Tabela 16 são apresentados os valores do potencial de colapso com a tensão vertical de inundação. Pela classificação de JENNINGS e KNIGHT (1975), o solo em estudo pode se mostrar problemático para obras de engenharia. As Figuras 38.a e b apresentam a curva do potencial de colapso e da deformação específica, variando com as tensões de inundação do ensaio.

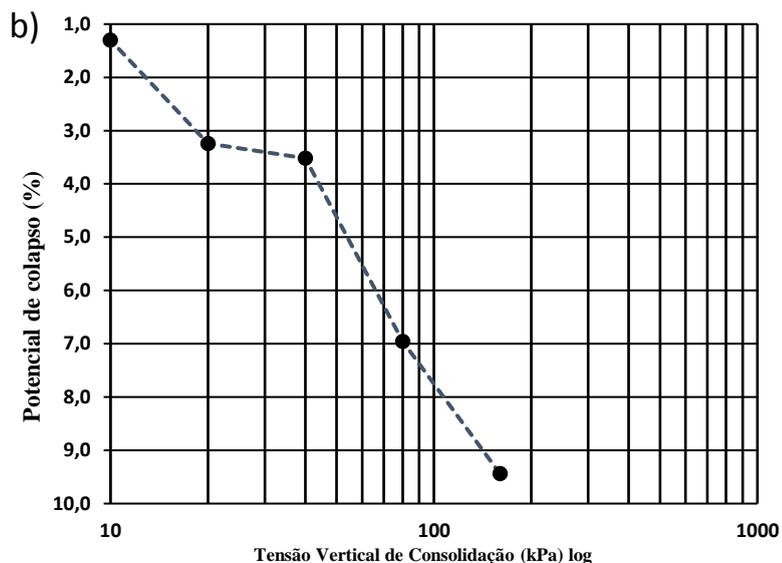
Tabela 16 - Resultados do Potencial de Colapso obtidos do Ensaio Edométrico Simples.

TENSÃO DE INUNDAÇÃO (kPa)	PC (%)
10	1,30
20	3,24
40	3,52
80	6,96
160	9,44

Fonte: A autora (2020)

Figura 38 - a) Variação da deformação; b) específica Variação do Potencial de Colapso com a tensão vertical de consolidação em escala logarítmica

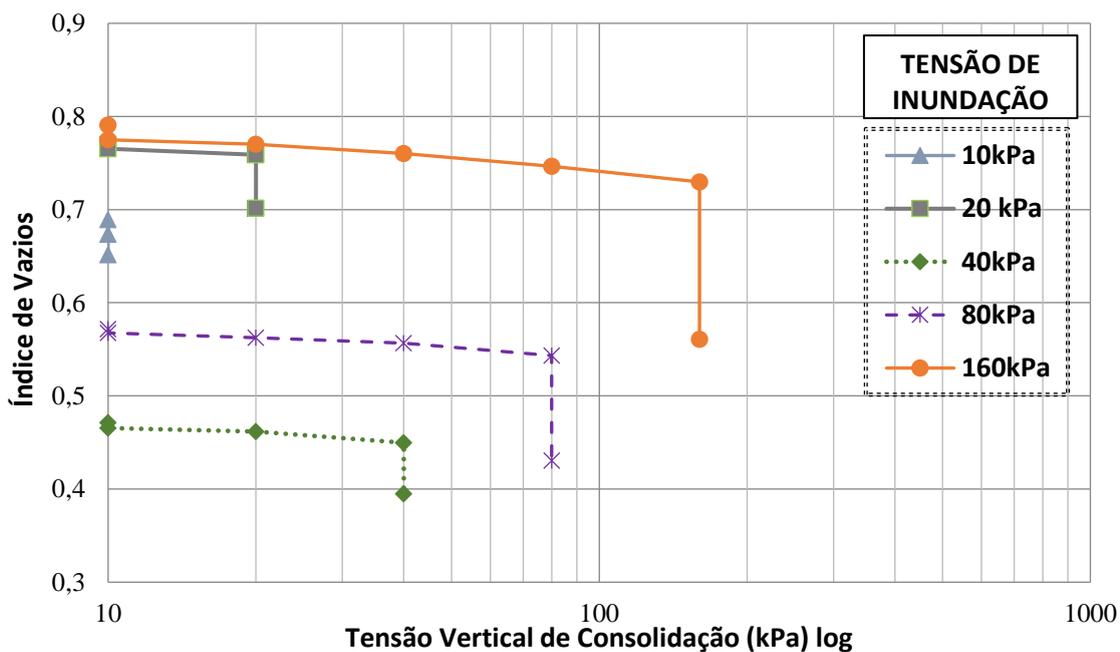




Fonte: Autora (2020)

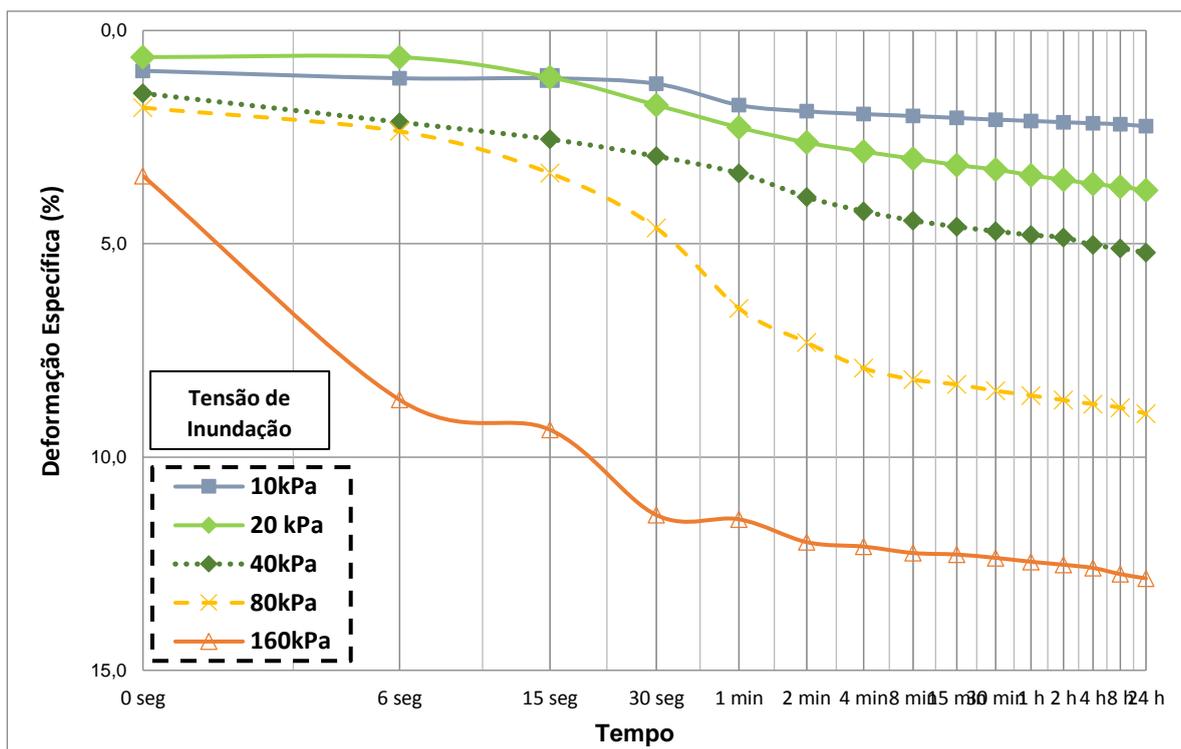
A Figura 39 apresenta as curvas dos índices de vazios variando com a tensão de inundação vertical aplicada. À medida que ocorre a inundação e aumenta-se as tensões, ocorre uma brusca redução de volume e índice de vazios nos corpos de provas. As deformações de colapso em laboratório ocorrem praticamente no primeiro minuto do início da inundação, conforme pode-se notar na Figura 40. De acordo com Freitas (2017) este comportamento é típico dos solos colapsíveis arenosos.

Figura 39 - Curvas de variação do índice de vazios versus tensão aplicada.



Fonte: A autora (2020)

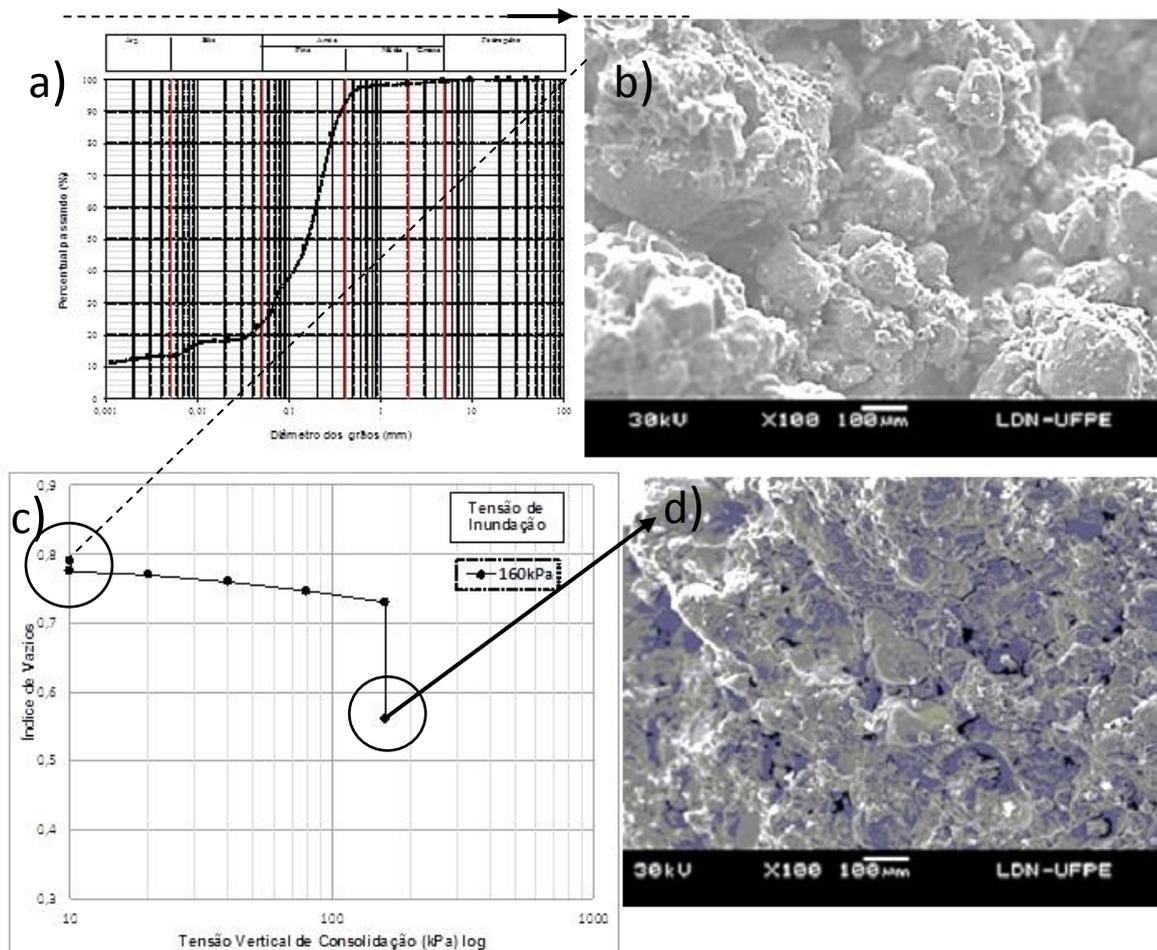
Figura 40 - Variação das deformações específicas com o tempo.



Fonte: Autora (2020)

O solo colapsível identificado nesta pesquisa é constituído predominantemente de areia fina com grãos de forma arredonda e subangulares, grande quantidade de vazios, revestidos por ligações instáveis de argila, com argilomineral do tipo caulinita. Na figura 41 é apresentado a compilação dos resultados. Ferreira e Teixeira (1989) estudando solo colapsível de um canal de irrigação na cidade Santa M. B. Vista-PE, obtiveram para as respectivas tensão de inundação de 10; 20; 40; 80 e 160 kPa; potenciais de colapso de 2 %; 4,7 %; 9,2 %; 10,6 % e 11,4 % ; resultados parecidos com os encontrados em Teresina, PI.

Figura 41 - Compilação dos resultados do solo colapsível. a) Curva Granulométrica; b) MEV antes colapso; c) variação dos índices de vazios com tensão de inundação de 160 kPa; d) MEV após colapso com tensão de inundação de 160 kPa.

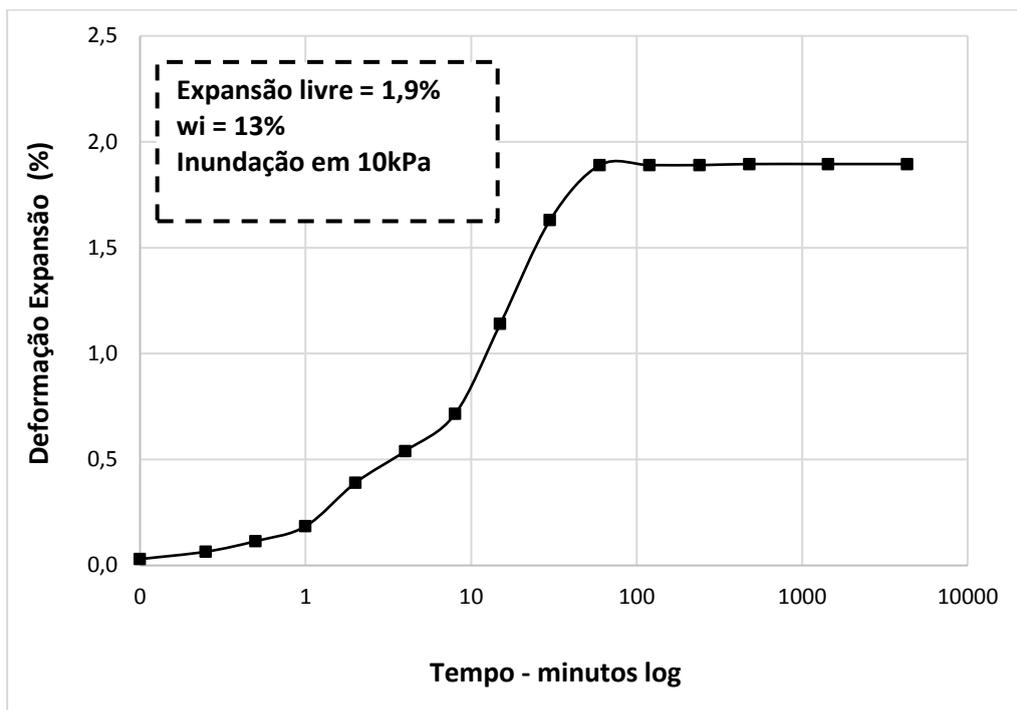


Fonte: Autora (2020).

3.2.2.2 Ensaio de expansão “livre” – Solo Expansivo

Como pode ser notado pelo gráfico da Figura 42, a expansão "livre" do solo foi de 1,9 % para uma tensão de inundação de 10 kPa e umidade do solo natural de 13 %. A amostra iniciou o ensaio com uma altura de 19,972 mm e finalizou com 20,351 mm. A expansão máxima no corpo de prova atingiu 1,9 % de expansão com oito horas de ensaio e posterior a este “pico” ocorre uma estabilização, no qual foi acompanhada por 24 horas de ensaio. Estes valores correspondem a uma expansibilidade média pelo critério de Vijayvergiya e Ghazzaly (1973). Segundo Pereira (2004) um solo é considerado expansivo quando apresenta variação de volume superior a 1 %.

Figura 42 - Expansão 'livre' com tensão de consolidação inundada a 10 kPa



Fonte: Autora (2020)

Não existem trabalhos na literatura que avalia a Expansão “Livre” dos solos de Teresina-PI, por isso não existem dados para comparar a expansão encontrada neste. Contudo, quando se compara o resultado com solo expansivo de outras Cidades do Nordeste, o valor é bem parecido com o encontrado por Ferreira (1989) na cidade de Petrolina-PE com expansão de 1,6 % e na cidade Afrânio-PE com 2,4 %.

3.3 CONCLUSÕES PARCIAIS

- A Amostra 01, identificada como solo colapsível é uma Areia Siltosa (SM) e a Amostra 02 identificada como solo expansivo é uma Argila com baixa compressibilidade (CL) pelo Sistema Unificado de Classificação (U.S.C). Pela classificação Highway Research Board (HRB) ou TBR, a Amostra 01 é classificada como Areia Siltosa ou Argilosa (A-2-6) (Areia Siltosa ou Argilosa) e Amostra 02 é um Solo Argiloso (A-6). A Amostra 01 têm índice de atividade de Skempton (1953) igual a 0,2, o que classifica como inativa e Amostra 02 igual 0,9, o que a classifica com Atividade Normal.
- O solo expansivo é constituído predominantemente de argila (46 %). Originário de um Argissolo Vermelho-Amarelo e litologia composta por arenitos, lentes de silexito, folhelho e argilitos. Apresenta expansibilidade média pelo critério de Vijayvergiya e Ghazzaly (1973) e argilomineral Illita identificada na MEV.
- O solo colapsível é constituído predominantemente de areia fina (71 %). Constitui material originário de um Latossolo Amarelo associado a um neossolo quartzarênico, proveniente de depósitos recentes, transportados pelas águas que foram depositados nas planícies de inundações dos rios. Possui grande quantidade de vazios, presença de grãos de areia de forma arredondada e subangulares e são interligadas por pontes instáveis de argila (argilomineral caulinita) identificada na MEV. Apresenta aumento do potencial de colapso com aumento das tensões de inundação, chegando a 160 kPa com potencial de colapso de 9,44 %. Com tensão de inundação de 10,20 e 40 kPa o solo pode apresentar problema moderado, e com as tensões de 80 e 160 kPa, pode ser problemático para obras de engenharia pela classificação de JENNINGS e KNIGHT (1975).
- O solo coletado na região central do município (Rua Francisco Mendes) apresentou comportamento mecânico e microestrutural típico de colapsível. Com isso, percebe-se que não há apenas uma causa para o afundamento da rua Francisco Mendes, mas uma conjunção de fatores que contribuiu para o desencadeamento do acidente, tanto a natureza Pedológica e Geológica da região, como a deflagração do processo por meio do vazamento da tubulação - que até então era o causador isolado do acidente. Há muito ainda a se avançar nas pesquisas sobre esse tema, que deve ser por meio de uma ampla e

integrada campanha de ensaios de campo e laboratório em vários pontos da região central.

- Não existe no Brasil estimativas dos prejuízos financeiros ocasionados por solos colapsíveis e expansivos, por isso, um dos dados da pesquisa foi compartilhar o que foi gasto com estudos preliminares no acidente da Rua Simplício Mendes, o equivalente a US\$ 318.000 dólares.
- Foi caracterizado de forma pioneira o primeiro solo expansivo e colapsível de Teresina-PI.

4 PRÁTICA DE FUNDAÇÕES EM TERESINA, PI

Por meio de análise cartográfica, serão apresentados e discutidos neste capítulo um estudo da prática de fundações da cidade de Teresina-PI. Essa análise tem como objetivo principal avaliar, a influência que a geologia, pedologia e a geotecnia exercem na escolha dos tipos de fundações (em obras localizadas na área urbana). Será elaborado um banco de dados preliminar de sondagens (por ser o ensaio de investigação geotécnico mais utilizado no Brasil) e feitas correlações com a prática de fundações do município. Como forma complementar ao estudo é elaborado o mapa do índice de esbeltez dos prédios de múltiplos pavimentos.

4.1 INTRODUÇÃO

O conhecimento prévio da geotecnia é de suma importância para os projetistas, pois aliado a experiência do profissional, pode diminuir consideravelmente as incertezas dos modelos de dimensionamento de fundações. Como destacado em capítulos anteriores, mapas geológicos e pedológicos analisados sob o olhar da engenharia geotécnica, são ferramentas que ajudam na análise do subsolo local e que podem aprimorar técnicas construtivas e modelos teóricos e numéricos do subsolo local.

Em prédios de múltiplos pavimentos o estudo do subsolo requer uma atenção especial, tanto pela maior capacidade de carga que será exigida das fundações como também pela análise do índice de esbeltez da estrutura. A norma 6122 (2019), chama atenção para estruturas com mais de 55 metros de altura (do térreo até a laje de cobertura do último piso habitável) e/ou com índice de esbeltez médio a alto (relação altura/largura maior que quatro), para estes casos, existe a recomendação normativa do desempenho das fundações por meio de monitoramento dos recalques medidos nas estruturas.

4.2 MATERIAIS E MÉTODOS DA PRÁTICA DE FUNDAÇÕES EM TERESINA, PI

Serão apresentados os procedimentos metodológicos a fim de facilitar a compreensão acerca dos processos adotados no trabalho. Foi separado por tópicos, cada condicionante

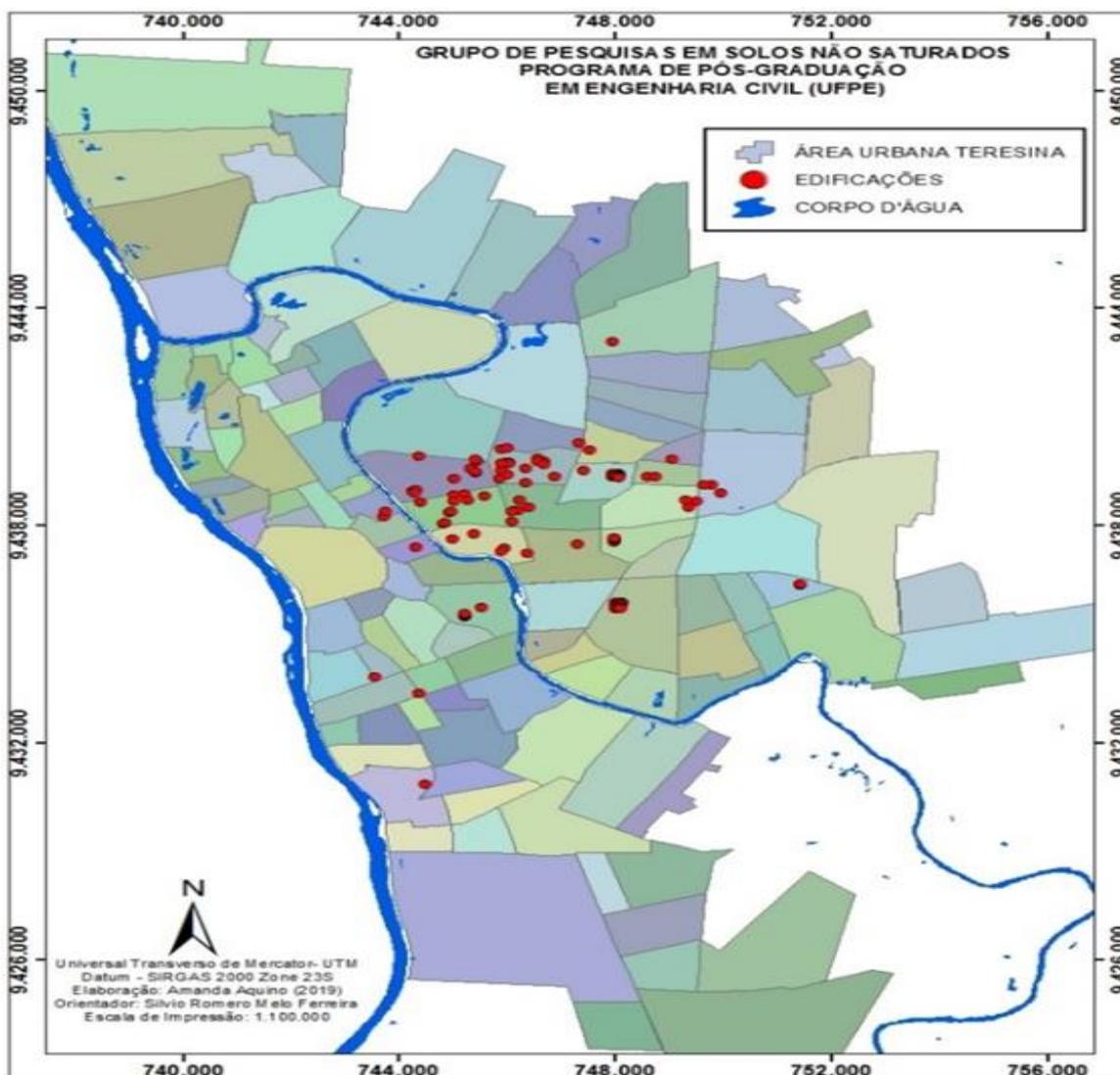
avaliado: geologia, pedologia, índice de esbeltez, como também os principais procedimentos para elaboração e avaliação do banco de dados de sondagens.

4.2.1 Coleta de Dados

Para a viabilidade da pesquisa foram considerados os seguintes dados do município de Teresina: mapa da área urbana, mapa geológico, mapa pedológico e informações de edificações na Cidade (endereço, tipos de fundações, geometria do prédio, quantidade de pavimentos e boletim de sondagens). Em 2016 e 2018, por meio de visitas às empresas de engenharia em Teresina e Recife, obteve-se o levantamento de informações de 78 edificações. Em 2019 por meio de uma consulta ao banco de dados do levantamento de Castro et.al (2016), foram disponibilizadas informações de mais 56 obras. Assim foram coletados, no total, dados dos tipos de fundações de 134 obras.

A construção dos mapas temáticos sobre o estudo das fundações em Teresina, fora elaborada a partir de dados vetoriais com base cartográfica no formato shapefile (.shp), contendo o limite urbano de Teresina, bem como sua divisão por bairros. Na Figura 43 é apresentada o georreferenciamento das 134 edificações pelo programa ArcGis (10.1).

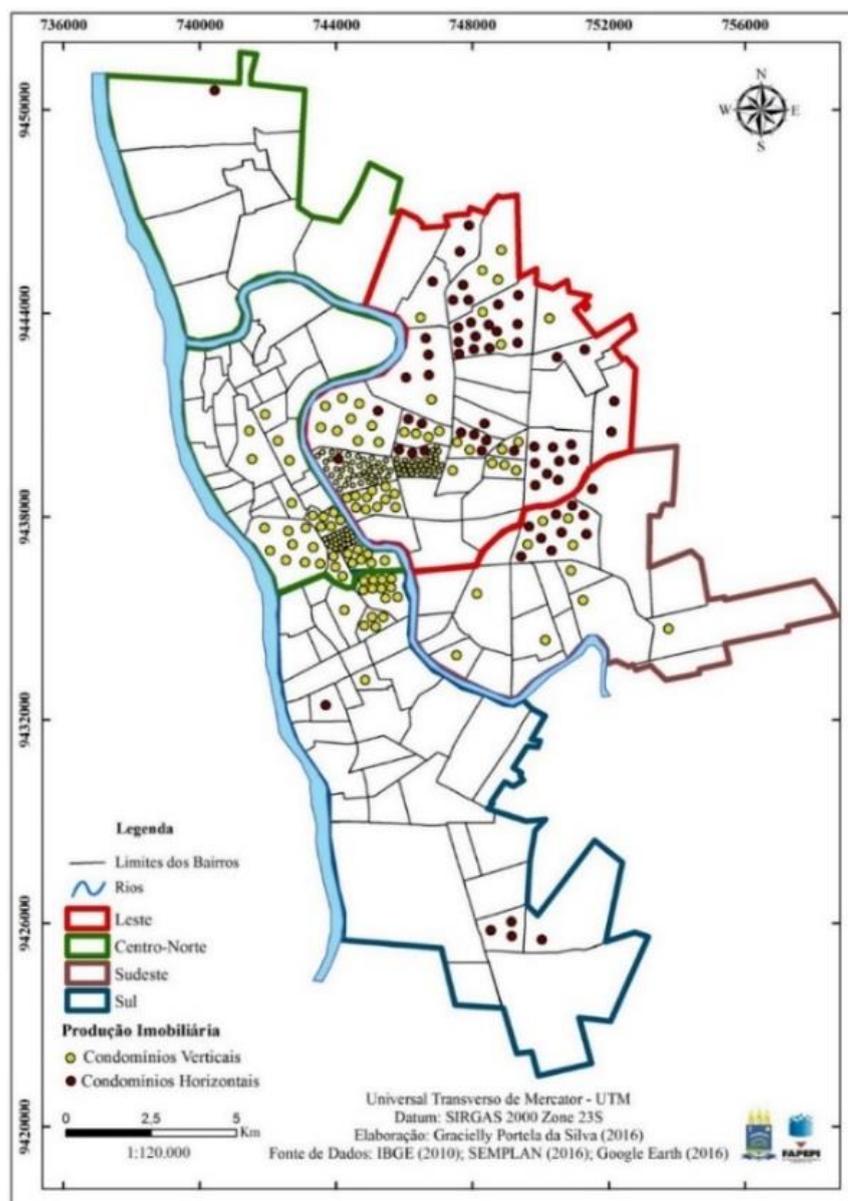
Figura 43 - Georreferenciamento de 134 edificações ao mapa municipal de Teresina separado por bairros.



Fonte: A autora (2020).

Os dados ficaram concentrados na Zona Leste (região delimitada em vermelho na Figura 4.2). Silva (2017) analisando o setor habitacional urbano de Teresina constatou que até a metade da década de 1990, os investimentos aplicados na construção de condomínios eram concentrados nesta zona da Cidade. Contudo, a partir do ano 2000, ocorre uma mudança neste cenário, e parte da população busca habitar as áreas mais afastadas do centro da cidade, assim expandindo-se os condomínios verticais e horizontais para a periferia de cidade. A Figura 44 apresenta a distribuição dos condomínios horizontais e verticais, por bairros, com dados de Silva (2017).

Figura 44 - Distribuição dos Condomínios horizontais e verticais por bairros de Teresina



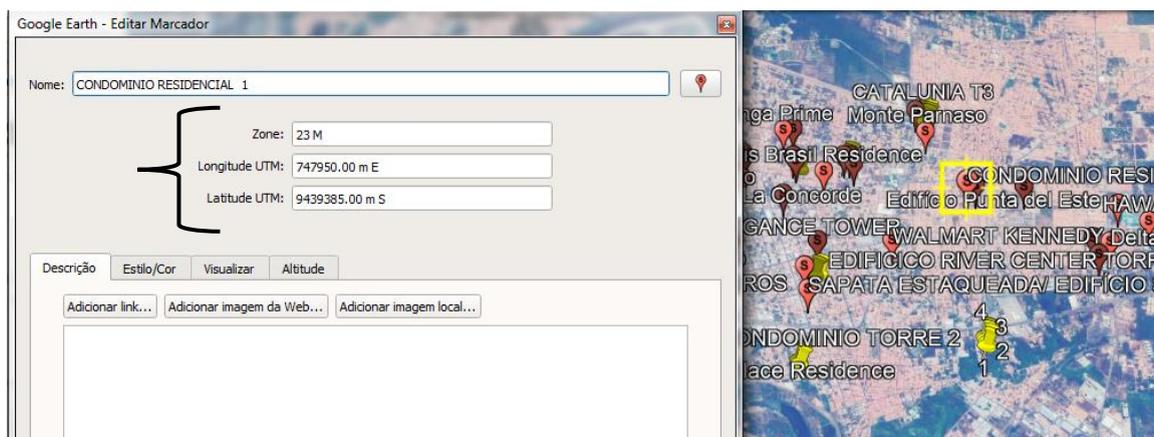
Fonte: Silva (2017).

4.2.2 Unidades geológicas e pedológicas x tipos de fundações

O processo de obtenção das bases cartográficas necessárias ao estudo começa com a aquisição dos mapas contendo área urbana de Teresina, o mapa Geológico e Pedológico, no qual foram organizados pela Autora (2019) a partir dos dados vetoriais em shapefile (shp.) do IBGE (2019) e informações do projeto RADAM Brasil - Folha SB.23 Teresina (1973) e JACOMINE et al. (1986c) - todos em escala 1:250.000.

A partir da consulta à base de dados da pesquisa disponível no APÊNDICE A.1, foram identificadas, inicialmente, as soluções típicas de fundações em obras situadas na Área Urbana de Teresina, executadas aproximadamente entre os anos 1990 a 2018. Em seguida, em posse do endereço de todas as obras e com a ajuda do Google Earth Pro, foram obtidas todas as coordenadas geográficas (Figura 45) com a ajuda do programa computacional, mostrando-se uma importante ferramenta para a realização da pesquisa.

Figura 45 - Obtenção das coordenadas geográficas em UTM pela Interface do programa Google Earth Pro.



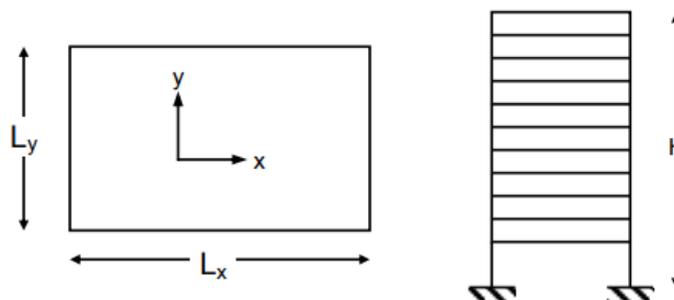
Fonte: A autora (2020)

Por fim, através do georreferenciamento das 134 edificações da pesquisa aos mapas geológicos e pedológicos no programa ARCGIS (10.1), foram analisados os percentuais das soluções de fundações (discriminadas em superficial x profundas, como também pelo método executivo) para cada unidade geológica e pedológica, possibilitando, desta forma, a análise da influência da geologia e pedologia na prática de fundações da cidade.

4.2.3 Índice de Esbeltez

A análise do índice de esbeltez das edificações seguiu a mesma metodologia usada por Fonte et al. (2005), que estudando as características dos prédios de múltiplos andares em concreto armado em Recife, separou os edifícios em 3 categorias de esbeltez, considerando características geométricas dos prédios conforme Figura 46.

Figura 46 - Parâmetros Geométricos das Edificações para o cálculo do Índice de Esbeltez.



Fonte: Borges (2009)

O cálculo é realizado conforme Equação 4.1, e a classificação final da esbeltez encontra-se na Tabela 17.

Cálculo do Índice de Esbeltez.

$$\beta_{x,y} = \frac{H}{L_{x,y}} \quad (3)$$

H = altura total da edificação (foi adotado nesta pesquisa o pé direito de cada pavimento com 3 metros);

$L_{x,y}$ = largura média, em planta, segundo as direções x e y , de acordo com o colocado na Figura 53.

Tabela 17 - Os limites para classificação das edificações segundo $\beta_{x,y}$.

$\beta_{x,y}$	Esbeltez
≤ 4	Pequena
$4 > x < 6$	Média
≥ 6	Alta

Fonte: Fonte et al. (2005)

Dessa forma foram analisadas as características geométricas das 134 edificações, onde algumas medidas foram tomadas para o processamento das informações. Para o cálculo da altura total, foi adotada como medida do pé direito para cada pavimento, de 3 metros. Para a coleta da informação da largura média em planta das edificações, foi consultado as plantas arquitetônicas das edificações, porém não foram disponibilizadas estas informações de todos os prédios da pesquisa, principalmente as do estudo de Castro et.al (2016). Dessa forma, nas edificações onde não foram disponibilizadas as plantas arquitetônicas, tomou-se as medidas em metros das edificações através do Google Earth

Pro. Foi adotada essa medida pelo software apresentar um bom índice de confiabilidade. Mesmo assim, algumas edificações, de execução recentes, ficaram sem informação, por não ter a planta arquitetônica ou/e pelo prédio ainda não estar disponível no Google Earth Pro.

4.2.4 Confeção do banco de dados geotécnicos com base em sondagens

Para a elaboração da planilha em Excel, com um banco de dados geotécnicos, foram compiladas as informações dos relatórios de sondagens das edificações da pesquisa. Porém, não foram disponibilizadas as sondagens das 134 obras, mas sim de 44, o que totalizou 112 furos de sondagens.

Para a confecção do banco de dados geotécnicos, foi estruturada uma planilha contendo: altura da edificação, tipo e quantidade de sondagens realizadas, o mês no qual foi realizada a investigação geotécnica (para Teresina os meses chuvosos estão entre janeiro a junho e os meses secos de julho a dezembro), presença ou não de lençol freático no ensaio, e a profundidade média do impenetrável.

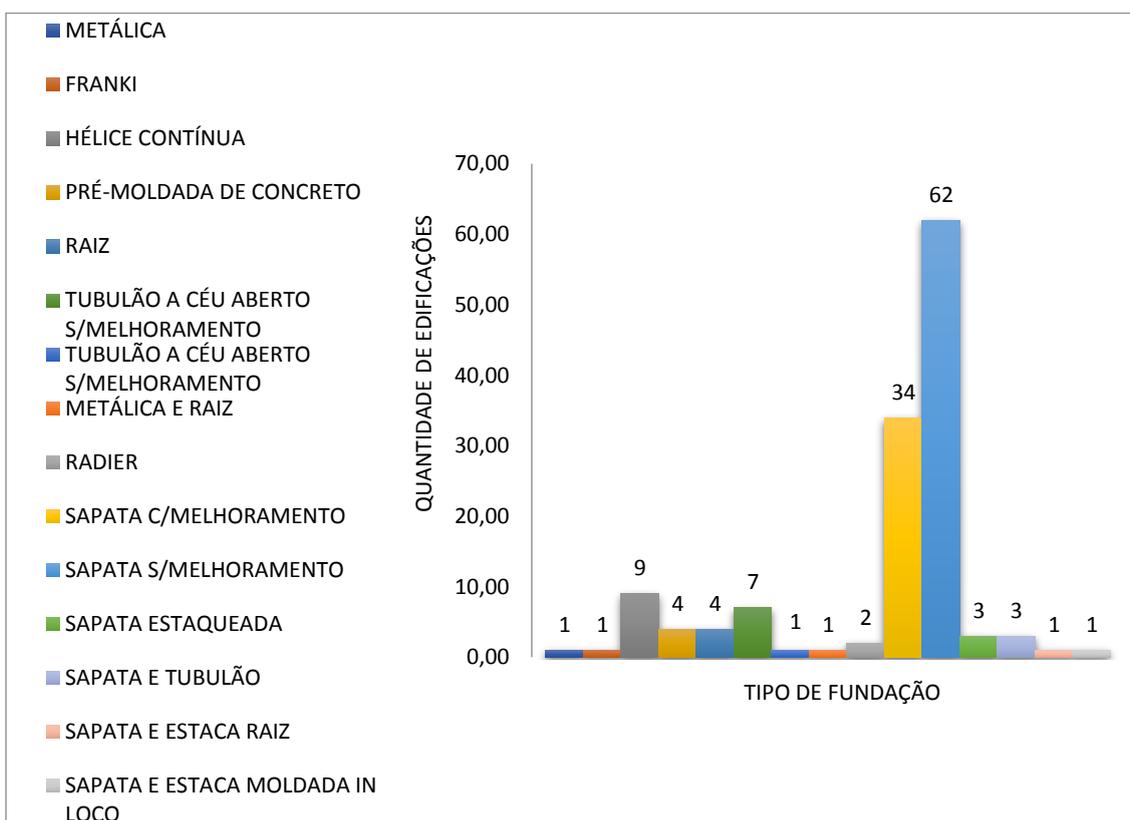
4.3 RESULTADOS COMPLEMENTARES

Analisando a visão geral dos tipos de fundações, há predominância em Teresina de soluções em fundações superficiais, representando 75,0 % (101 ocorrências), fundações profundas em 28 obras, o equivalente a 21,0 % e algumas edificações tiveram como soluções fundações superficiais e profundas na mesma obra com uma ocorrência de 4 % (5 edificações). Das soluções típicas mais frequentes de fundações classificadas como superficiais, o método executivo mais emprego corresponde às sapatas sem melhoramento, totalizando 76 % (62 ocorrências). Em seguida têm-se a sapata com melhoramento, 25 % (34 ocorrências), e posterior uma fundação profunda, do tipo estaca hélice contínua, com 7 % (9 ocorrências).

Percebe-se na Figura 47 os diversos métodos de fundações executados. As fundações superficiais são: radier e sapatas, essas podem ser, ou não, precedidas de melhoramento de solo. Nas fundações profundas verifica-se a adoção dos tipos: pré-moldada de concreto,

hélice contínua, metálica, Franki, Raiz, Tubulão a Céu Aberto, com ou sem melhoramento. Em algumas obras ocorre a adoção de fundações superficiais (essa sempre do tipo sapata) e profundas, em locais diferentes da mesma edificação como: sapata e tubulão, sapata e estaca raiz e sapata e estaca moldada in loco.

Figura 47 - Quantitativo por unidade dos Métodos Executivos das Fundações Superficiais e Profundas de Teresina/PI.



Fonte: A autora (2020)

4.3.1 Unidades Geológicas x Tipos de Fundações

São apresentados na Tabela 18 a classificação das fundações em relação às unidades geológicas. Na Figura 48 é apresentado o mapa com a sobreposição das edificações ao mapa geológico. A maior parte das edificações 95 % (128 ocorrências) ficaram sobreposta a unidade geológica Piauí. As demais formações apresentaram: 4 % (5 ocorrências) dos Depósitos Aluvionares e 1 % da formação Pedra de Fogo. Tal fato pode ser explicado devida as edificações coletadas na pesquisa ficaram concentradas em uma mesma região, na zona leste de Teresina, e por causa dessa proximidade maior parte dos dados ficaram sobrepostos na mesma formação.

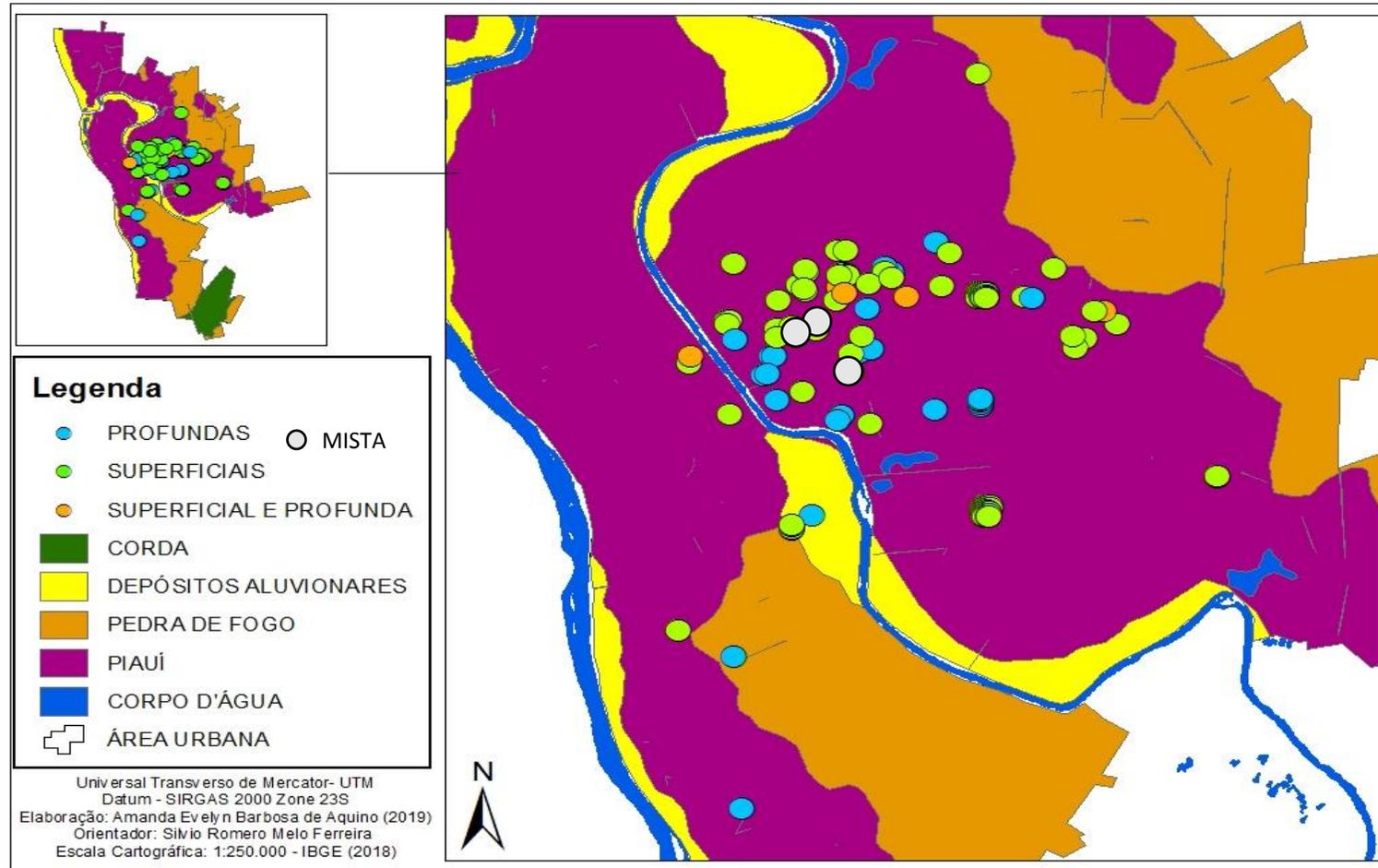
Tabela 18 - Classificação das Fundações e Método Executivo x Unidades Geológicas.

FUNDAÇÕES	UNIDADES GEOLÓGICAS / TIPOS DE FUNDAÇÕES	PIAUÍ	PEDRA DE FOGO	DEPÓSITOS ALUVIONARES	TOTAL	PORCENTAGEM (%)
PROFUNDAS	METÁLICA	1	0	0	1	21%
	FRANKI	1	0	0	1	
	HÉLICE CONTÍNUA	9	0	0	9	
	RAIZ	4	0	0	4	
	METÁLICA E RAIZ	1	0	0	1	
	PRÉ-MOLDADA DE CONCRETO	4	0	0	4	
	TUBULÃO A CÉU ABERTO S/MELHORAMENTO	5	1	1	7	
	TUBULÃO A CÉU ABERTO C/MELHORAMENTO	1	0	0	1	
SUPERFICIAIS	RADIER	2	0	0	2	73%
	SAPATA S/ MELHORAMENTO	58	0	4	62	
	SAPATA C/ MELHORAMENTO	34	0	0	34	
MISTA	SAPATA ESTAQUEADA	3	0	0	3	2%
S + P	SAPATA E ESTACA MOLDADA IN-LOCO	1	0	0	1	4%
	SAPATA E ESTACA RAIZ	1	0	0	1	
	SAPATA E TUBULÃO	3	0	0	3	
PORCENTAGEM		96%	1%	4%	100%	
TOTAL		128	1	5	134	

Fonte: Autora (2020)

S+P = Solução de Fundação Superficial e Profunda na mesma Edificação

Figura 48 - Classificação das Fundações x Unidades Geológicas.

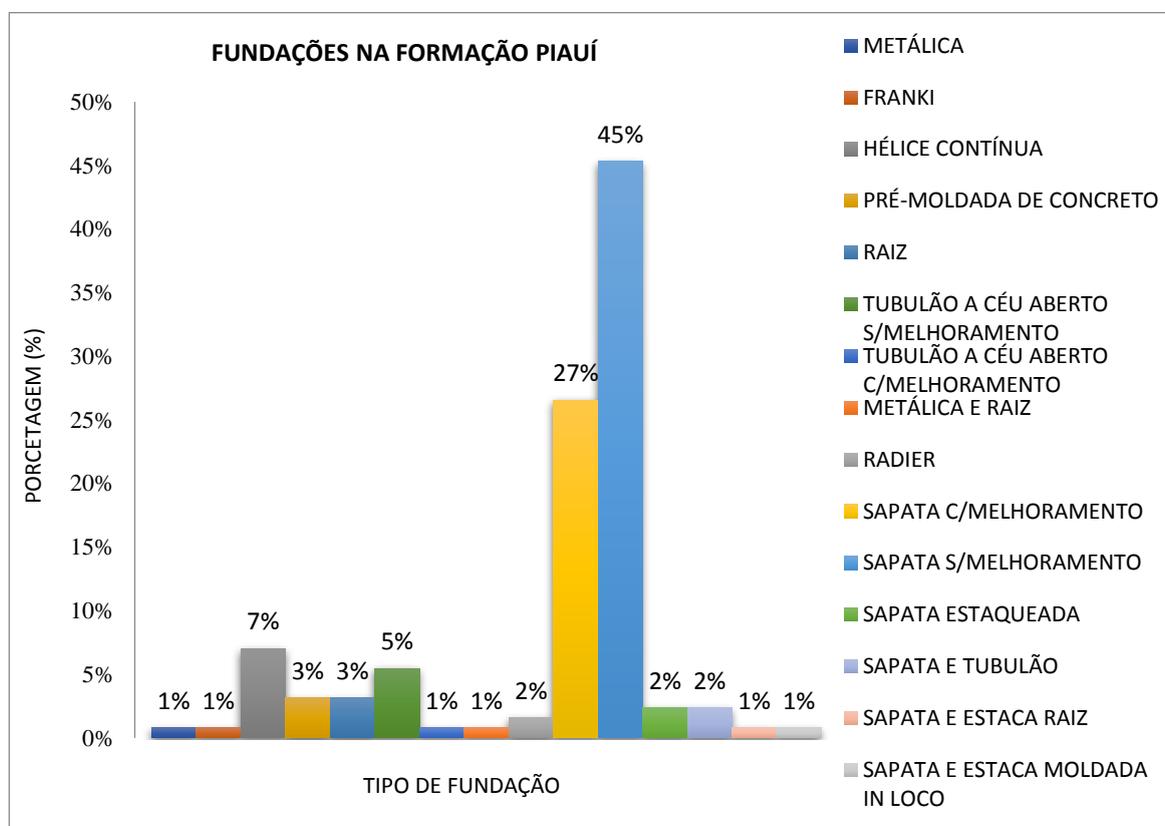


Fonte: Autora (2020)

Percebe-se uma predominância das fundações superficiais em todas as unidades geológicas. Um dado interessante a ser discutido é observado na unidade Depósitos Aluvionares, onde foi adotado em 80 % dos casos fundações superficiais do tipo sapata sem melhoramento de terreno. Gusmão Filho (1998) observa que o mesmo fato acontece nas fundações executadas em depósitos aluvionares na planície do Recife, onde apresentam características geotécnicas favoráveis à implantação de fundações superficiais devido à alta resistência do terreno a profundidades relativamente pequenas. Contudo é uma unidade geológica que merece atenção dos projetistas por apresentar uma litologia composta, em Teresina, predominantemente por areias finas quartzosas, podendo assim desencadear processos de solos colapsíveis nas camadas com solos são não-saturados.

Por apresentar 96 % das ocorrências, avaliou-se as soluções típicas mais frequentes de métodos executivos apenas na unidade Piauí. Conforme gráfico da Figura 49, o método mais empregado na unidade corresponde às sapatas sem melhoramento 45 % (58 obras em relação ao total analisado).

Figura 49 - Quantitativo dos Métodos Executivos das Fundações na unidade Piauí



Fonte: Autora (2020).

4.3.2 Unidades Pedológicas X Tipos de Fundações

São apresentados na Tabela 19 a classificação das fundações analisadas em relação às unidades pedológicas. Como pode ser notado, a maior parte das edificações 95 % (127 ocorrências) ficaram sobreposta a unidade pedológica Latossolo Amarelo e 5 % (7 ocorrências) na unidade Argissolo Vermelho-Amarelo, pelo mesmo motivo conforme explicado no tópico 4.3.1.

Tabela 19 - Classificação das Fundações e Método Executivo x Unidades Pedológicas.

FUNDAÇÃO	UNIDADES PEDOLÓGICAS / TIPOS DE FUNDAÇÕES	LATOSSOLO AMARELO	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO	TOTAL	PORCENTAGEM
PROFUNDAS	METÁLICA	1	0	1	21%
	FRANKI	1	0	1	
	HÉLICE CONTÍNUA	8	1	9	
	RAIZ	4	0	4	
	METÁLICA E RAIZ	1	0	1	
	PRÉ-MOLDADA DE CONCRETO	4	0	4	
	TUBULÃO A CÉU ABERTO S/MELHORAMENTO	7	0	7	
	TUBULÃO A CÉU ABERTO C/MELHORAMENTO	1	0	1	
SUPERFICIAIS	RADIER	2	0	2	73%
	SAPATA S/ MELHORAMENTO	60	2	62	
	SAPATA C/ MELHORAMENTO	31	3	34	
MISTA	SAPATA ESTAQUEADA	3	0	3	2%
S + P	SAPATA E ESTACA MOLDADA IN-LOCO	1	0	1	4%
	SAPATA E ESTACA RAIZ	1	0	1	
	SAPATA E TUBULÃO	2	1	3	
PORCENTAGEM		95%	5%	100%	
TOTAL		127	7	134	

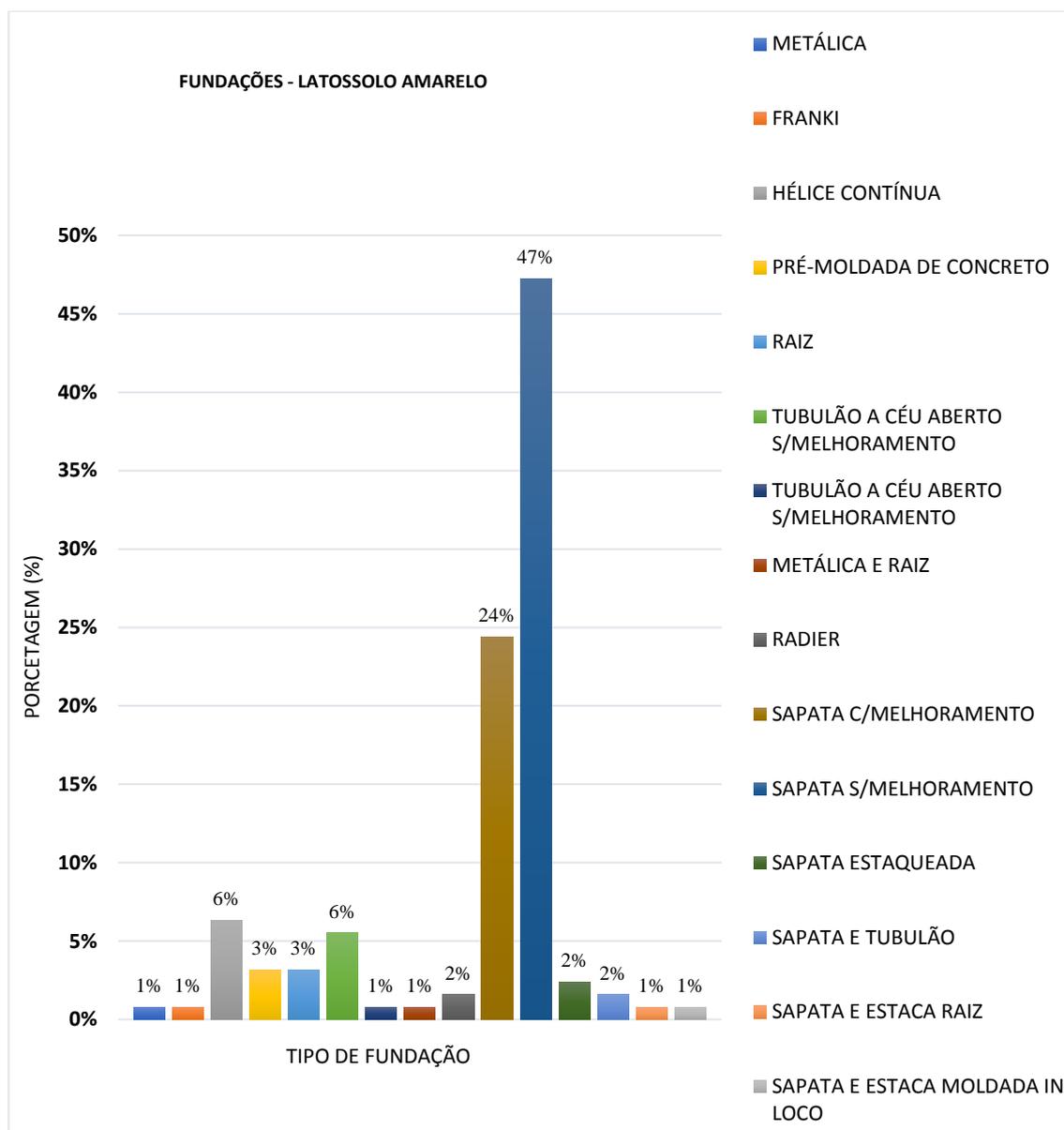
Fonte: A autora (2020)

Percebe-se mais uma vez uma predominância das fundações superficiais em todas as unidades pedológicas. Por apresentar 95 % do número de ocorrências nesta pesquisa, será avaliada a seguir, a adoção das soluções típicas mais frequentes apenas na unidade Latossolo Amarelo.

As fundações superficiais são as soluções típicas mais frequentes na unidade Latossolo Amarelo. O método executivo mais emprego corresponde às sapatas sem melhoramento,

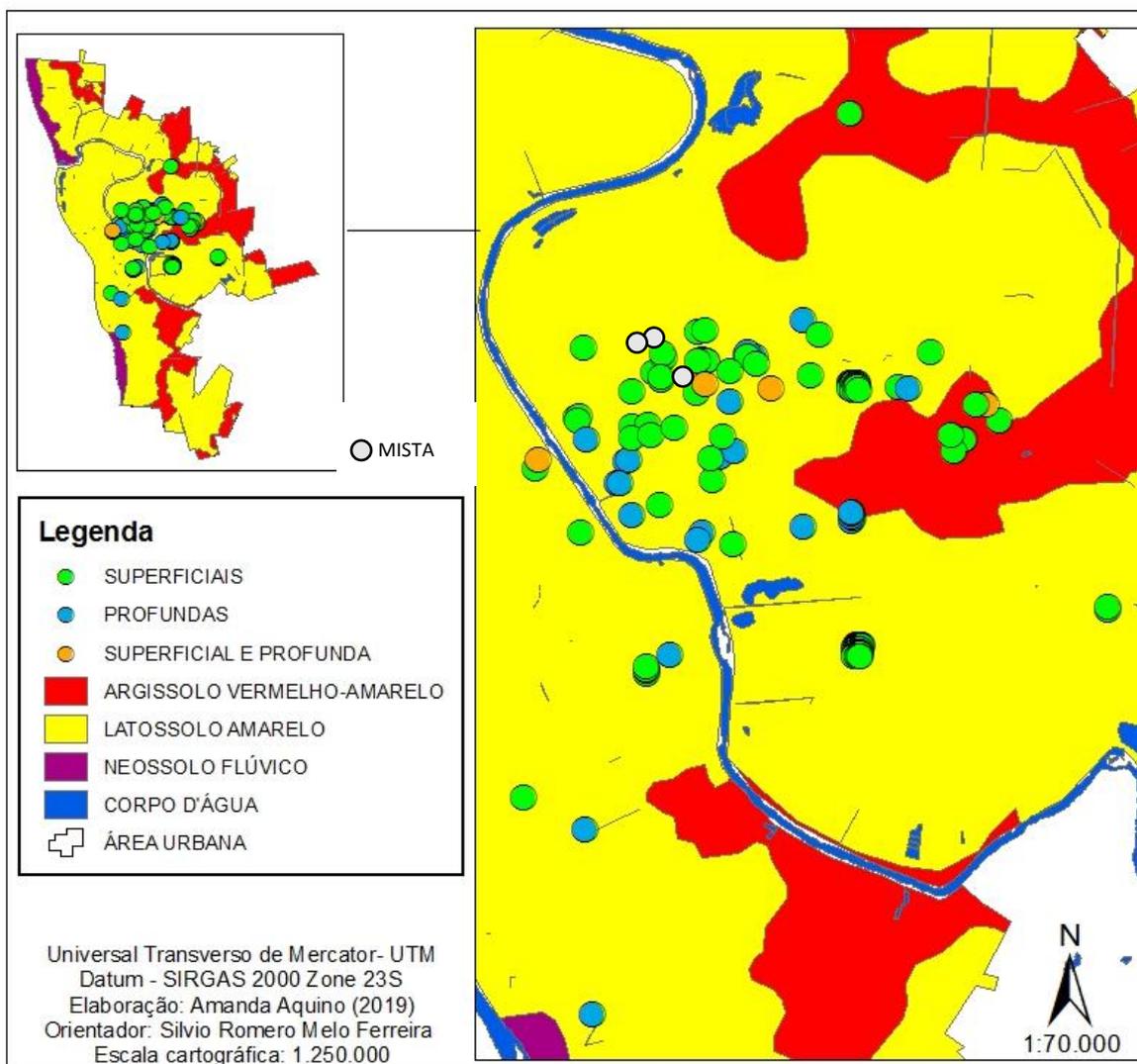
totalizando 47 % (60 ocorrências), em seguida têm-se a sapata com melhoramento 24 % (31 ocorrências), em terceiro lugar vem uma fundação profunda do tipo hélice contínua com 6 % (8 ocorrências). Nas Figuras 51 e 52 são apresentadas as edificações sobrepostas ao mapa pedológico.

Figura 50 - Quantitativo dos Métodos Executivos das Fundações Superficiais e Profundas na unidade Latossolo Amarelo.



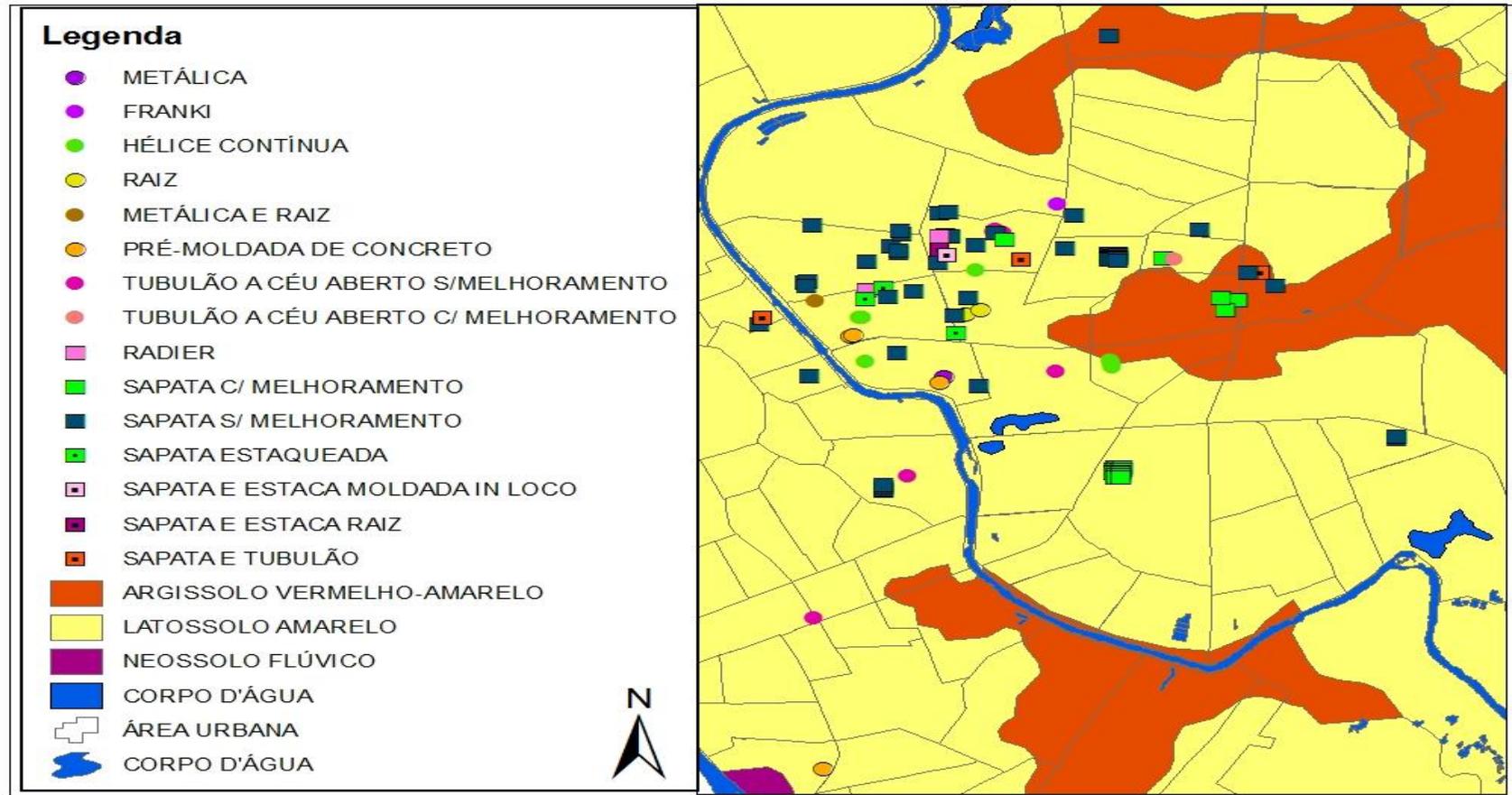
Fonte: A autora (2020)

Figura 51 - Classificação do Tipo de Fundações x Unidades Pedológicas



Fonte: A autora (2020).

Figura 52 - Classificação do método executivo x Unidades Pedológicas.



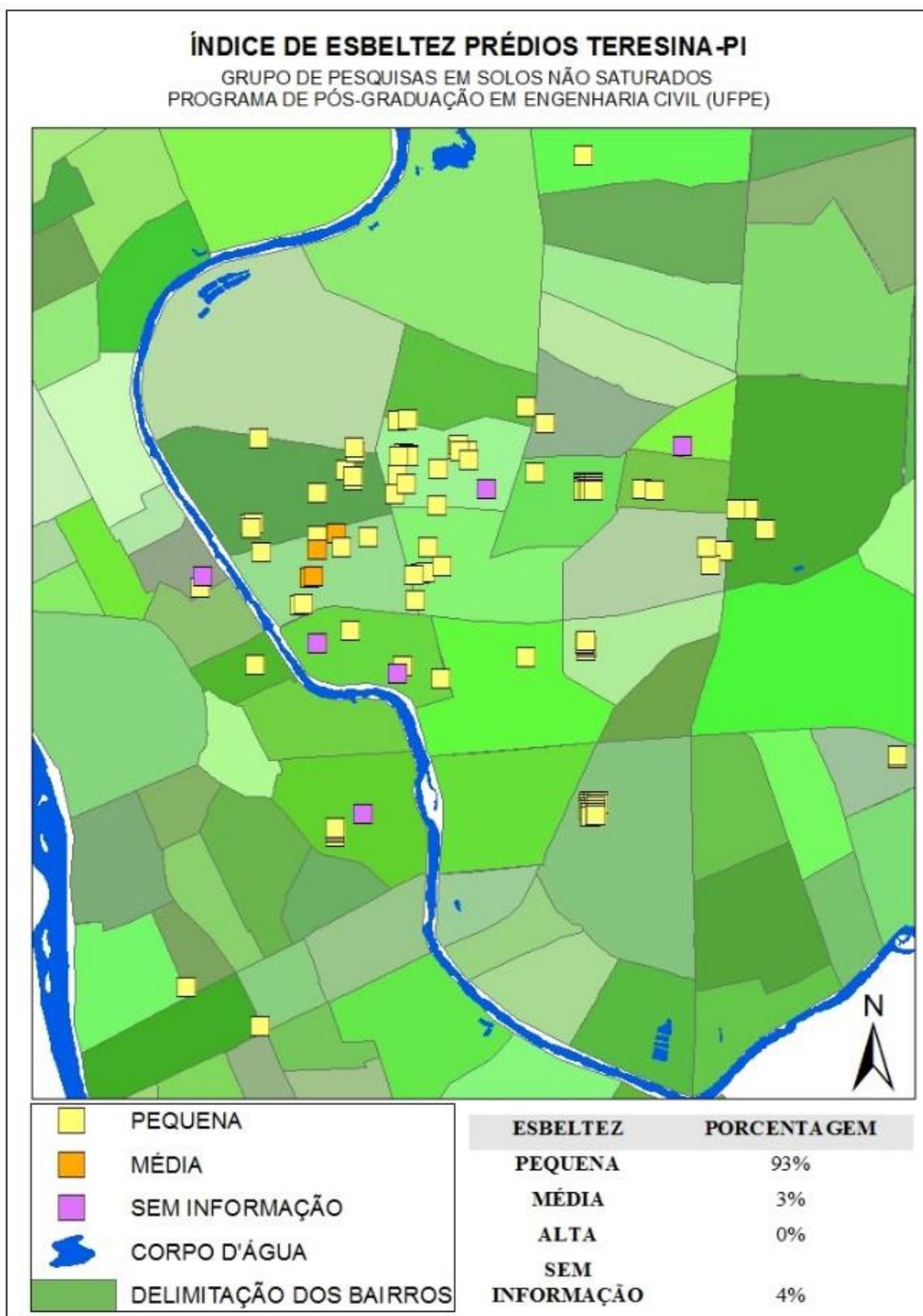
Fonte: A autora (2020)

4.3.3 Índice de Esbeltez

O mapa da Figura 53 apresenta os valores dos índices de esbeltez das 134. Portanto, 93 % das edificações apresentam pequena esbeltez, 3 % média e 4 % ficaram sem informação. A análise completa junto a memória de cálculo encontra-se no Apêndice A.2. Diante dos resultados, merece destaque:

- 15 % das edificações apresentam altura superior a 55 metros;
- prédios construídos com altura superior a 55 metros, devem dispor obrigatoriamente de um sistema de monitoramento de recalques Norma 6122 (2019);
- Não foi informado para este estudo se os referidos prédios cumpriram a indicação da norma. Oliveira (2018) ressalta a importância de aferir o desempenho das fundações de edifícios através de monitoramentos, no qual pode subsidiar à formulação de novas metodologias de estimativas de recalque.

Figura 53 - Mapa índice de esbeltez das edificações da pesquisa



Fonte: A autora (2020).

4.3.4 Banco de Dados Geotécnicos com base em sondagens

Na Tabela 20 encontram-se as informações compiladas de 44 obras, que totalizaram 112 relatórios de sondagens. Como resultados pode-se destacar:

- 48 % dos relatórios de sondagem apresentaram lençol freático raso (em até 4 metros);
- 43 % das obras executaram sondagem rotativa, sendo 100 % delas sondagens mistas (percussão seguida da rotativa);
- Em relação a profundidade do impenetrável: 2 % das obras atingiram profundidade de até 5 metros, 41 % até 10 metros, 40 % até 23 metros e 18 % até 25 metros. 90 % das edificações que atingiram 25 metros de investigação executaram sondagens mistas. Apenas uma obra atingiu 20 metros de profundidade de investigação com sondagem percussiva.
- Em obras que executaram apenas sondagem a percussão, a profundidade do impenetrável variou entre 5 a 10 metros.

Merece destaque a forte influência que a presença de arenitos silificados exerce na prática de fundações na cidade de Teresina. Como observado nos relatórios de sondagens rotativas, através do índice de qualidade da rocha - RQD (Rock Quality Designation) - são camadas de rochas alteradas nas camadas mais superficiais, entre 3 a 7 metros de profundidade e espessura variando de 2 a 4 metros, e menos fraturadas em profundidades. Podem ser encontrados em várias áreas da Cidade. Na geologia de engenharia quando se fala em rocha não se leva em conta a dureza e estado de coesão, por isso existem rochas moles e friáveis como arenitos. Vários fatores são influentes na decisão final da escolha do tipo de fundação, contudo fica evidente a influência que a presença que estas rochas exercem no município de Teresina. Para cada caso deve ser analisado a influência da profundidade da camada, espessura e principalmente as condições das fraturas destes arenitos, por meio de sondagens rotativas. A reunião e organização das informações coletados na área de estudo, permitiram a criação de um banco de dados. Assim, Teresina dispõe, ao final deste trabalho, de uma base de dados geotécnicos.

Tabela 20 - Banco de Dados com Sondagens.

OBRA	PAVIMENTOS	ALTURA TOTAL DA EDIFICAÇÃO (M)	QTD. SONDAGEM	TIPO DE SONDAGEM	MÊS REALIZADO A SONDAGEM	PROFUNDIDADE IMPENETRÁVEL (M)	NA MÉDIO (M)	FUNDAÇÃO
1	23	69	5	PERCUSSÃO + ROTATIVA	FEVEREIRO	16,00	1,26	SEM INFORMAÇÃO
2	20	60	2	PERCUSSÃO + ROTATIVA	JULHO	20,30	7,90	RADIER
3	22	66	3	PERCUSSÃO	FEVEREIRO	10,50	4,40	SAPATA ESTAQUEADA
4	10	30	3	PERCUSSÃO	SETEMBRO	8,25	4,11	SAPATA S/ MELHORAMENTO
						8,30	4,82	
						8,43	4,82	
5	27	81	3	PERCUSSÃO + ROTATIVA	OUTUBRO	14,53	2,60	HÉLICE CONTÍNUA
						16,30	2,40	
						16,00	3,00	

OBRA	PAVIMENTOS	ALTURA TOTAL DA EDIFICAÇÃO (M)	QTD. SONDAGEM	TIPO DE SONDAGEM	MÊS REALIZADO A SONDAGEM	PROFUNDIDADE IMPENETRÁVEL (M)	NA MÉDIO (M)	FUNDAÇÃO
6	21	63	3	PERCUSSÃO	ABRIL	20,40	SECO	SAPATA ESTAQUEADA
7	18	54	4	PERCUSSÃO + ROTATIVA	JANEIRO	18,00	0,68	ESTACA METÁLICA
						14,00	0,70	
8	2	6	6	PERCUSSÃO + ROTATIVA	OUTUBRO	19,80	5,27	HÉLICE CONTÍNUA
9	2	6	13	PERCUSSÃO + ROTATIVA	MARÇO	18,50	0,17	PRÉ-MOLDADA DE CONCRETO
10	16	48	3	PERCUSSÃO + ROTATIVA	AGOSTO	22,85	20,30	SAPATA SEM MELHORAMENTO
						24,55	19,65	
						23,32	20,40	
11	24	72	5	PERCUSSÃO	ABRIL	5,35	15,97	TUBULÃO A CÉU ABERTO
12	23	69	3	PERCUSSÃO + ROTATIVA	MAIO	19,75	15,97	TUBULÃO A CÉU ABERTO
13	18	54	1	PERCUSSÃO + ROTATIVA	SETEMBRO	19,00	7,50	SAPATA E ESTACA RAIZ

OBRA	PAVIMENTOS	ALTURA TOTAL DA EDIFICAÇÃO (M)	QTD. SONDAGEM	TIPO DE SONDAGEM	MÊS REALIZADO A SONDAGEM	PROFUNDIDADE IMPENETRÁVEL (M)	NA MÉDIO (M)	FUNDAÇÃO
14	15	45	3	PERCUSSÃO + ROTATIVA	ABRIL	23,10	SECO	FRANKI
						23,10		
						23,15		
15	2	6	3	PERCUSSÃO	ABRIL	4,80	3,00	SAPATA SEM MELHORAMENTO
16	24	72	4	PERCUSSÃO+ ROTATIVA	DEZEMBRO	16,42	4,16	SAPATA ESTAQUEADA
17	21	63	6	PERCUSSÃO+ ROTATIVA	JULHO	19,45	4,45	ESTACA RAIZ
						17,45	5,60	
						18,13	5,65	
						19,20	4,60	
						17,35	5,70	
						19,23	4,10	
18	28	84	6	PERCUSSÃO + ROTATIVA	MAIO	20,75	6,82	ESTACA RAIZ
19	18	54	10	PERCUSSÃO + ROTATIVA	JUNHO	23,47	1,12	ESTACAS METÁLICA E RAIZ

OBRA	PAVIMENTOS	ALTURA TOTAL DA EDIFICAÇÃO (M)	QTD. SONDAGEM	TIPO DE SONDAGEM	MÊS REALIZADO A SONDAGEM	PROFUNDIDADE IMPENETRÁVEL (M)	NA MÉDIO (M)	FUNDAÇÃO
20	4	12	16	PERCUSSÃO	JANEIRO	6,00	SECO	SAPATA S/ MELHORAMENTO
21							SECO	
22							SECO	
23							SECO	
24							SECO	
25							SECO	
26							SECO	
27							SECO	
28							SECO	
29							SECO	
30							SECO	
31							SECO	
32							SECO	
33							SECO	
34							SECO	
35							SECO	
36							SECO	
37							SECO	
38							SECO	
39							SECO	
40	12	36	2	PERCUSSÃO + ROTATIVA	FEVEREIRO/MARÇO	15,10	1,10	HÉLICE CONTÍNUA
41			2			17,10	1,25	
42			2			17,00	1,40	
43			2			11,00	1,35	
44			2			13,00	1,73	
TOTAL SONDAGENS			112					

Fonte: Autora (2020)

4.4 CONCLUSÕES PARCIAIS

- Na área analisada, há uma diversidade de métodos executivos de fundações. As superficiais são: radier e sapatas, precedidas ou não de melhoramento de solo. As profundas: pré-moldada de concreto, hélice contínua, metálica, Franki, Raiz, Tubulão a Céu Aberto, com ou sem melhoramento. Em algumas obras ocorre a adoção de fundações superficiais (essa sempre do tipo sapata) e profundas em locais diferentes da mesma edificação: sapata e tubulão, sapata e estaca raiz e sapata e estaca moldada in loco.
- Do ponto de vista Pedológico e Geológico, na área analisada, há predominância de soluções em fundações superficiais correspondente às sapatas sem melhoramento, o que pode ser atribuído a presença de arenitos silificados nas camadas superficiais ou como pela escavação de pavimentos subsolos, cujos resultados foram obtidos pela análise geotécnica.
- Os Depósitos Aluvionares apresentam características geotécnicas favoráveis à implantação de fundações superficiais devido à alta resistência do terreno a profundidades relativamente pequenas. Contudo é uma unidade geológica que merece atenção dos projetistas, por apresentar uma litologia em Teresina, composta predominantemente por areias finas quartzosas, podendo assim desencadear solos colapsíveis nas camadas com solos não-saturados.
- 93 % das edificações apresentam pequena esbeltez, 3 % média e 4 % ficaram sem informação. 15 % das edificações apresentam altura superior a 55 metros e conforme atualização da Norma 6122 (2019), prédios com estas características, a partir de então, devem dispor obrigatoriamente de um sistema de monitoramento de recalques.
- Os arenitos silificados apresentam fraturas nas camadas superficiais, entre 3 a 7 metros de profundidade, com espessura variando de 2 a 4 metros, e menos fraturas em profundidade (depois dos 18/20 metros) com um RQD de acima 70 %, o que justifica a adoção da estaca Raiz em alguns casos.
- Vários fatores são influentes na decisão final da escolha do tipo de fundação, contudo fica evidente a influência da presença de arenitos silificados na prática de fundações no município. Para cada obra deve ser analisado a influência da profundidade da camada,

espessura e principalmente as condições das fraturas destes arenitos por meio de sondagens rotativas. A reunião e organização das informações coletados na área de estudo permitiram a criação de uma base de dados geotécnicos.

5 SUSCETIBILIDADE À OCORRÊNCIA DE SOLOS PROBLEMÁTICOS EM TERESINA

São apresentados e discutidos os resultados dos estudos ligados ao mapeamento geotécnico realizado, de forma pioneira no município de Teresina, Piauí. Serão descritas como foi conduzida a coleta das informações necessárias a realização desta etapa. Para aplicação das metodologias foram aplicados conhecimentos de diversas áreas, como: geologia, pedologia, cartografia, geoprocessamento, climatologia e solos problemáticos - como também foram incluídos os resultados dos ensaios de laboratório do Capítulo 3. Ao final serão cruzadas as informações das cartas pedológicas, geológicas e do clima para gerar as cartas derivadas e finais.

5.1 INTRODUÇÃO

Várias metodologias são usadas para a realização do mapeamento geotécnico, a depender da finalidade, dos dados disponíveis e do sistema de informação geográfico utilizado. No Fluxograma 54 encontram-se as principais etapas para confecção das cartas de suscetibilidade.

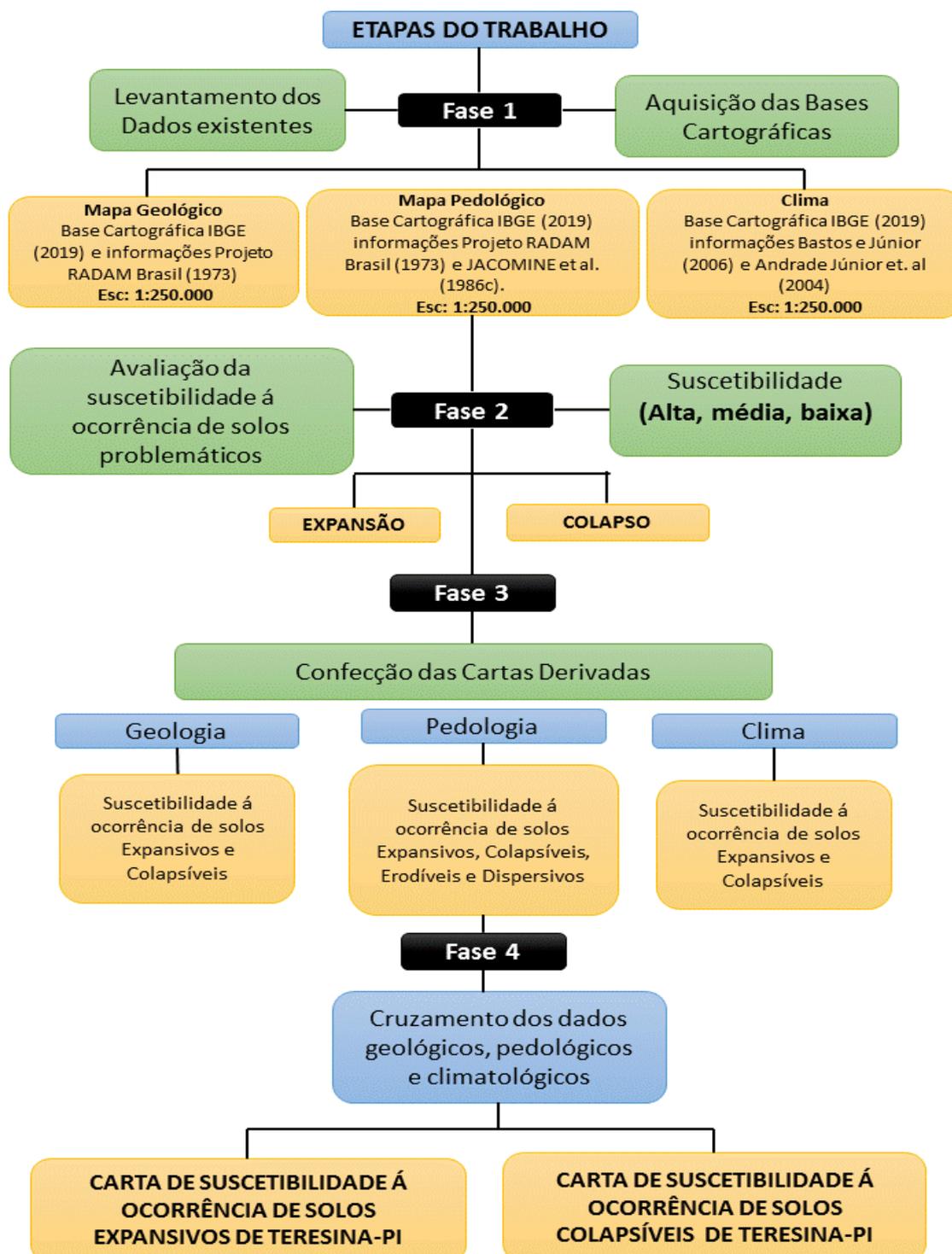
a) Fase 1: Levantamento Documental e Aquisição das bases cartográficas

Essa primeira etapa consistiu em um levantamento documental, que foram realizadas tanto na cidade de Teresina-PI como em Recife-PE, procurando-se o maior número de informações disponíveis atualizadas. Em Teresina - PI foi realizada visita ao Serviço Geológico do Brasil (CPRM) com objetivo de coletar informações do tema geologia. No intuito de obter informações referentes aos solos da Cidade, visitou-se a Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento de Recife (UEP Recife), que atende às demandas regionais de pesquisa que envolve o tema no contexto da região Nordeste. Dessa forma, os técnicos da unidade, muito solícitos, apresentaram uma plataforma¹¹ (Figura 55) que reúne dados produzidos ao longo dos últimos 20 anos em quatro áreas temáticas de todo território nacional: Geologia, Geomorfologia, Pedologia e Vegetação. É um refinamento do

¹¹ Banco de Dados de Informações Ambientais (BDiA), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Versão 1.18.2 IBGE (2019).

Projeto RADAM (1973) que estão sendo atualizadas com imagens de satélite e levantamentos de campo.

Figura 54 - Fluxograma com as principais etapas para confecção das cartas de suscetibilidade.



Fonte: A autora (2020)

Figura 55 - Plataforma do Banco de Dados de Informações Ambientais (BDiA) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Versão 1.18.2 (2019).



Fonte: IBGE (2019)

Após esta etapa, foram definidas as bases cartográficas que seriam usadas como cartas interpretativas, nos quais foram:

- Levantamento Pedológico: base cartográfica IBGE (2019) e informações Projeto RADAM Brasil (1973). Esc: 1:250.000
- Levantamento Geológico: base cartográfica IBGE (2019) e informações Projeto RADAM Brasil (1973) e JACOMINE et al. (1986c). Esc: 1:250.000
- Levantamento Climatológico: base cartográfica IBGE (2019) e informações Bastos e Júnior (2006), Andrade Júnior et. al (2004). Esc: 1:250.000

b) Fase 2: Avaliação da suscetibilidade a ocorrência de solos problemáticos

Para alcançar os objetivos propostos, adotou-se como base a metodologia desenvolvida pelo Grupo de Pesquisas em Solos Não-Saturados do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da UFPE, com as adaptações necessárias para o local de estudo. Importantes

trabalhos já foram, e são desenvolvidos utilizando esta metodologia desde 1986, que segundo Amorim (2004) apresentam semelhanças com as diretrizes do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). É uma metodologia que consiste em avaliar a suscetibilidade a ocorrência de solos problemáticos para a engenharia geotécnica por meio de Sistema de Informações Geográficas. Pode-se citar os trabalhos de FERREIRA (2000), SILVA (2003), AMORIM (2004), AQUINO et.al (2019), SANTOS et.al (2020) para as cidades e estados de Pernambuco e Sergipe. São metodologias que se encontram em constantes adaptações e as novas pesquisas podem aprimorar e melhorar a representação da realidade de campo. Segundo Amorim (2004) os solos problemáticos reúnem um conjunto de características geológicas, pedológicas e climatológicas que evidenciam seu comportamento com base nas descrições de cada unidade do mapeamento. Por isso, com base na descrição da Tabela 21, cada unidade do mapeamento foi classificada em três níveis de suscetibilidade: “Alta”, “Média” e “Baixa”, com os respectivos valores utilizados como peso.

Tabela 21 - Níveis de suscetibilidade, peso e descrição

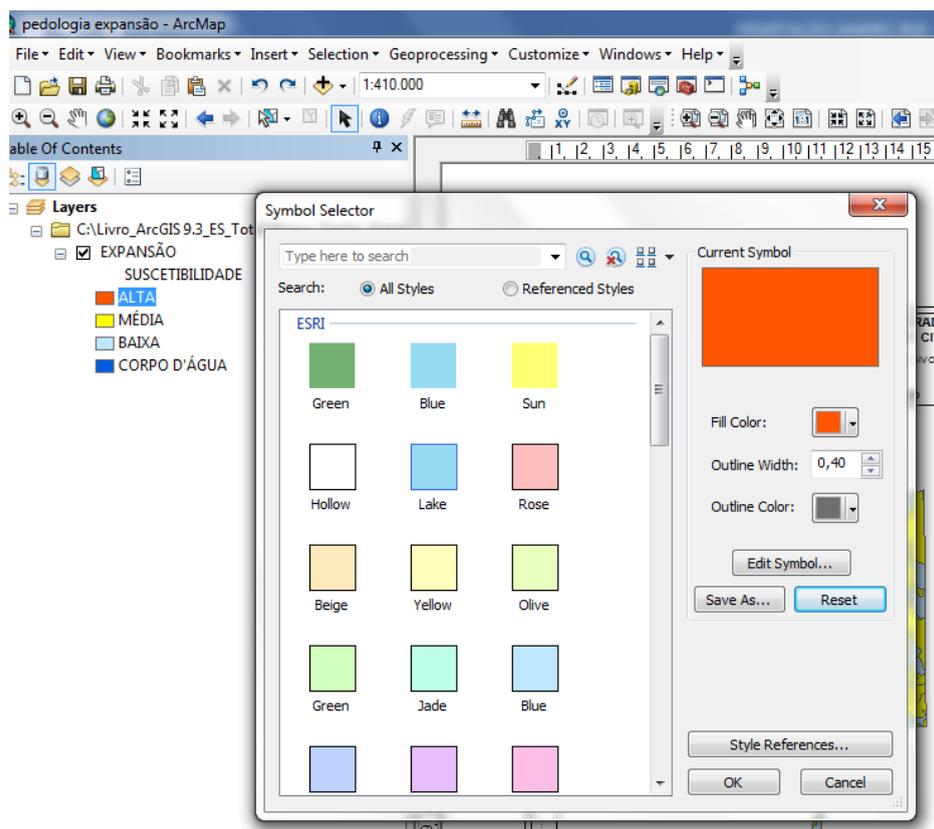
Suscetibilidade	Peso	Descrição
Alta	3	Ocorrência evidenciada através das propriedades geotécnicas características de solos problemáticos com base nas descrições de cada unidade do mapeamento.
Média	2	Ocorrência intermediária, onde apenas algumas descrições favorecem a ocorrência dos processos.
Baixa	1	Possibilidade reduzida ou inexistente a ocorrência dos processos.

Fonte: Amorim (2004)

c) Fase 3: Confeção das Cartas Derivadas

Nesta fase são aplicadas as informações geradas nas etapas anteriores. O Sistema de Informação Geográfica (SIG) operado para a construção das cartas foi o programa computacional ArcGIS 10.1/ArcMap, desenvolvido pela empresa norte-americana ESRI (Environmental Systems Research Institute). Dessa forma, foram elaborados a partir de dados vetoriais com base cartográfica no formato shapefile (.shp), contendo o limite rural e urbano de Teresina, bem como sua divisão por bairros. ZUQUETTE et.al (1997) indica o uso de SIG's para a obtenção cartas derivadas, que é o objetivo desta etapa da pesquisa. O SIG ArcGIS 10.1/ArcMap cria, analisa dados geoespeciais e gera mapas através da

Figura 57 - Aspecto do comando Symbol Selector no programa ArcGIS (10.1).



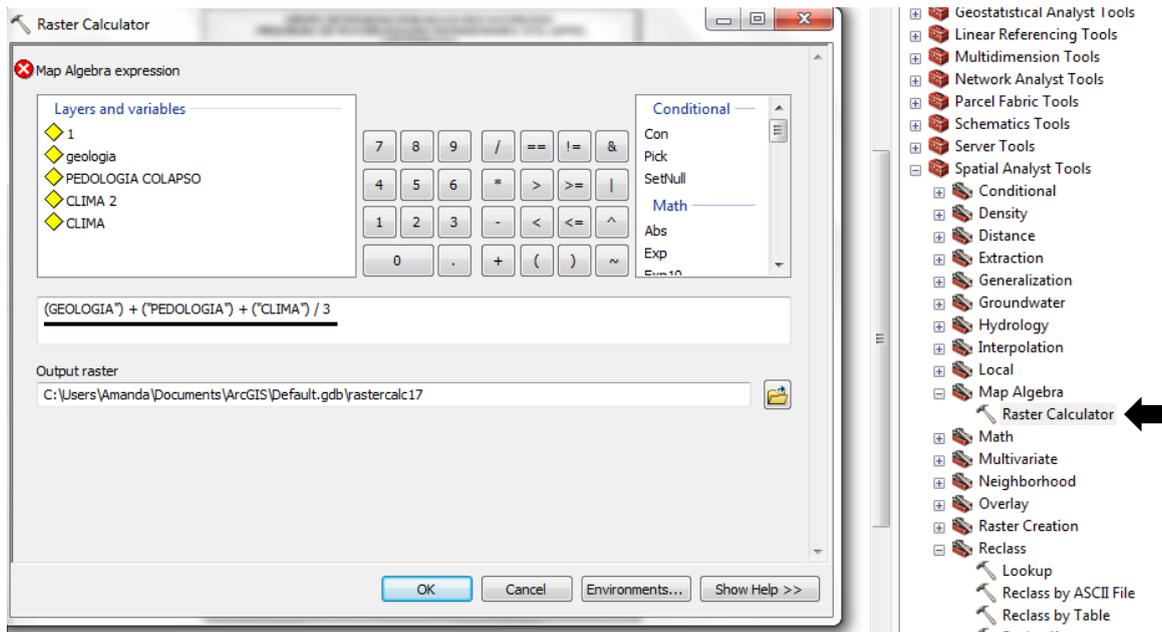
Fonte: A autora (2020)

iii) a última etapa é a preparação das Cartas no formato adequado da pesquisa, acrescentando-se o Norte, escala, legenda, título e o cálculo das respectivas áreas de cada suscetibilidade.

d) Fase 4: Cruzamento dos dados Geológicos, Pedológicos e Climatológicos

O uso do geoprocessamento torna-se indispensável nessa etapa do trabalho, onde o programa ArcGIS (10.1) realiza o cruzamento das informações geológicas, pedológicas e climatológicas (inseridas pelo usuário) para gerar as cartas finais através da função *Raster Calculator* (Figura 58).

Figura 58 - Comando utilizado para calcular a suscetibilidade final das cartas pelo critério ponderado por meio do Raster Calculator: aplicação do critério ponderado.



Fonte: Autora (2020).

Após avaliação das suscetibilidades de cada condicionante (geologia, pedologia e climatologia), foi calculado a suscetibilidade final pelo critério ponderado¹². Os valores utilizados como referência para o grau de suscetibilidade final foram os seguintes da Tabela 22:

Tabela 22 - Valores considerados para avaliação de Suscetibilidade Final.

Valores	Peso
$\geq 2,33$	Alto
$1,67 > x < 2,33$	Médio
$\leq 1,67$	Baixo

Fonte: Amorim (2004)

¹² Segundo verificação de Amorim (2004) o método ponderado é mais realista em comparação ao método conservador (que atribuí á unidade do mapeamento a suscetibilidade mais alta dentre as encontradas, o que tender a elevar de modo exagerado o percentual de ocorrência de solos expansivos e colapsíveis).

5.2 MATERIAIS E MÉTODOS CARTAS DE SUSCETIBILIDADE

Neste tópico serão detalhadas as metodologias e critérios definidos para aplicação de cada condicionante.

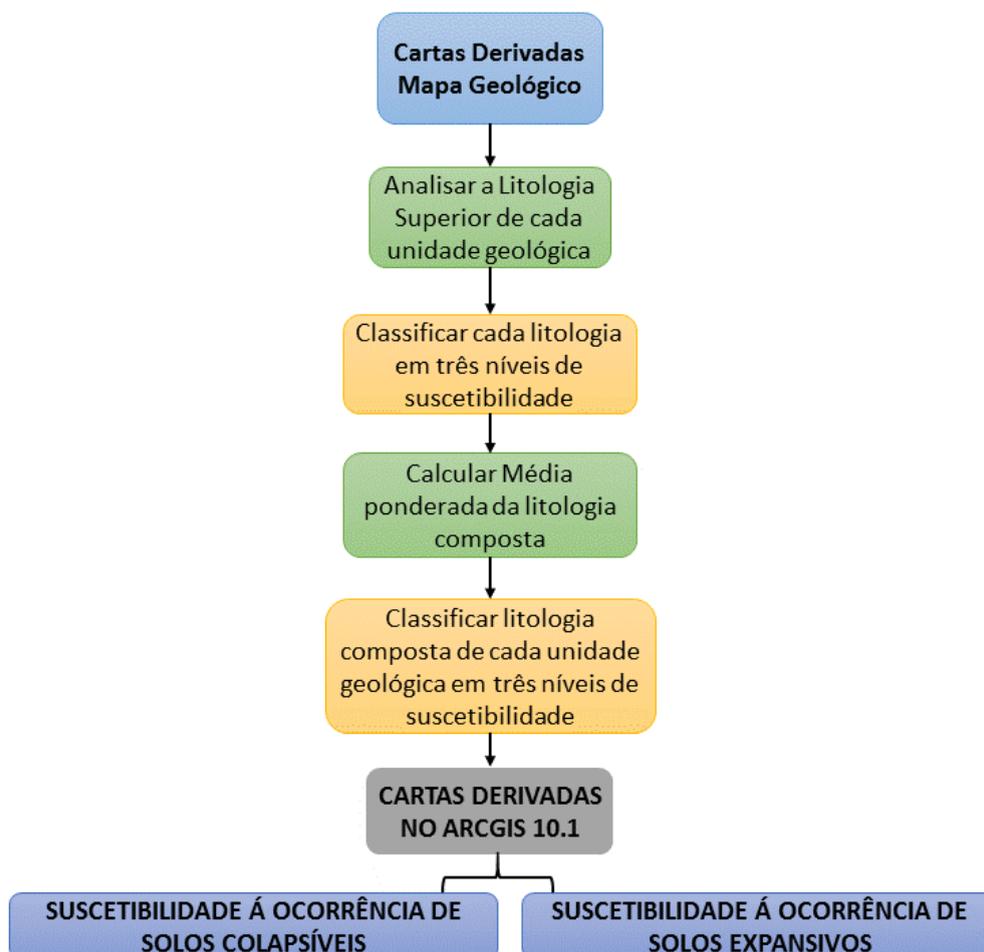
5.2.1 Geologia

Nesta etapa foram levantadas informações referentes a importantes estudos preexistentes, com vista à ampliação e compactação dos estudos sobre as unidades geológicas de Teresina, nos quais foram: Projeto RADAM (1973) - folha SB.23/Teresina; tabelas de atributos das unidades geológicas do mapeamento do IBGE (2019); estudo dos minerais presentes na unidade geológica Formação Pedra de Fogo adaptado de FARIA JÚNIOR (1979); estudo dos minerais presentes na unidade geológica formação Piauí adaptado de GOES (1995); projeto avaliação de depósito minerais para a construção civil Teresina CPRM (1996); estudo sobre a influência do massará no processo de formação de salitre em rebocos na região de Teresina-PI FERNANDES (2010) e o estudo comparativo de massas cerâmicas para telhas parte 1: Caracterização mineralógica, química e física de VIEIRA et al. (2002).

A análise preliminar consistiu em avaliar a descrição da classe das rochas, a litologia e mineralogia de cada unidade do mapeamento. É uma classificação que consiste em uma determinada unidade geológica originar solos expansivos e colapsíveis, com base no tipo de formação dos sedimentos e composição mineralógica (prováveis produtos do intemperismo). A mineralogia presente na formação Pedra de Fogo foi retirada do estudo de Faria Júnior (1979) e da Formação Piauí, de GOES (1995). Nos trabalhos citados, nota-se que as informações do mapeamento foram estudadas em pontos fora do município de Teresina, e que por mais que as informações referentes as mesmas unidades geológicas possuam em comum classe de rocha e litologia, determinadas perfis estratigráficos e minerais podem aflorar especificamente na região em estudo. Por isso, como forma de suprir a inexistência de análise das formações geológicas com ponto de coleta específicos no município de Teresina, como também pela inexistência de mapas geológicos em escala mais detalhada, acrescentou-se as seguintes análises como uma forma de aprimorar a

metodologia de FERREIRA (2000), SILVA (2003) e AMORIM (2004). Na Figura 59 é apresentado o fluxograma contendo uma síntese dos procedimentos metodológicos utilizados para a confecção das duas cartas de suscetibilidade derivadas da geologia.

Figura 59 - Síntese da metodologia empregada na elaboração das Cartas Derivadas da Geologia.

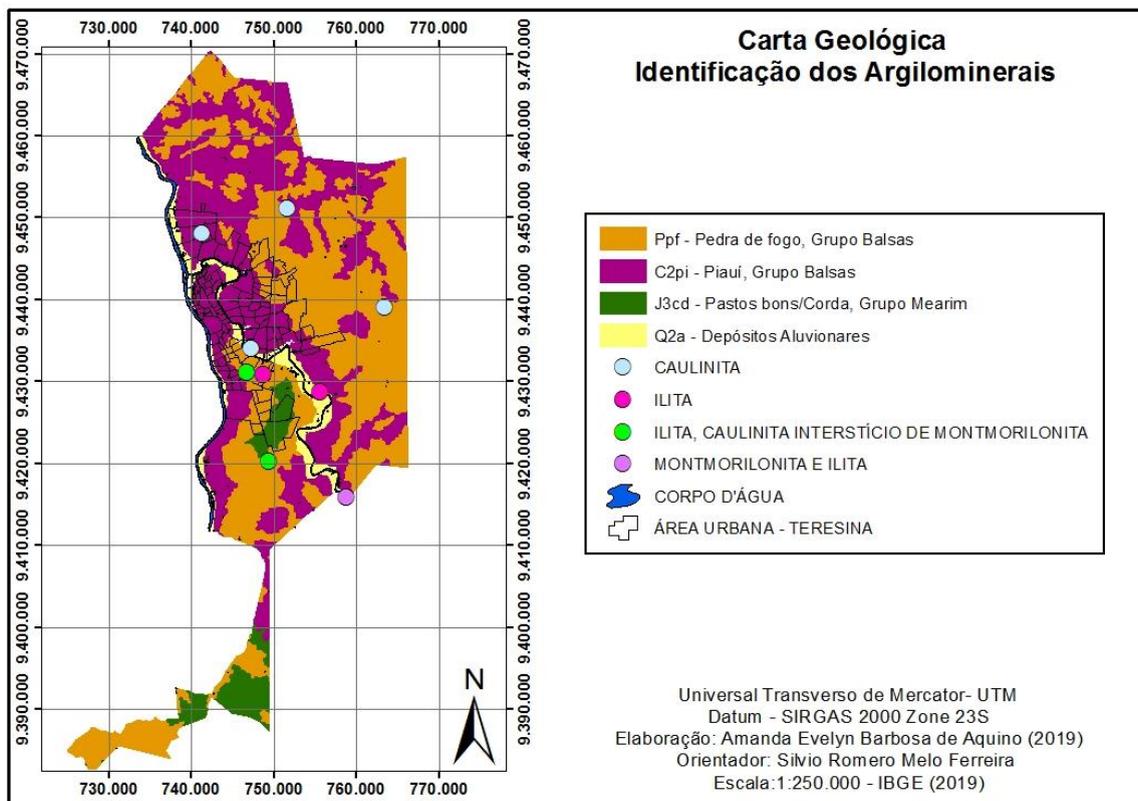


Fonte: A autora (2020)

Para o estudo da mineralogia presente em Teresina, fez-se um levantamento na literatura de trabalhos que tenham realizados caracterização microestrutural ou mineralógico. Entretanto, poucos estudos foram encontrados com coordenadas definidas. Logo, com o intuito de contribuir com o tema, foi organizado em um sistema de informação geográfica com os dados disponíveis, assim como acrescentado a caracterização microestrutural do solo expansivo e colapsível estudados no capítulo 3. Diante dos pontos encontrados na literatura e posterior execução dos ensaios, os dados foram organizados e georreferenciados. Por fim, gerou-se a Carta Geológica com a identificação dos Argilominerais presentes em Teresina-PI (Figura 60). A síntese das amostras e minerais

caracterizados pelos estudos da IBGE, CPRM (1996), VIANA (2013) E Aquino (2020) encontram-se no Apêndice B.1

Figura 60 - Identificação e georreferenciamento de Argilominerais presentes em Teresina-PI.



Fonte: A autora (2020)

Para a identificação da litologia superior foram consultadas na plataforma do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas - desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil (SIAGAS), as colunas estratigráficas dos relatórios de perfuração de poços profundos, com o intuito de identificar os perfis típicos das formações que afloram no município de Teresina e preparar uma carta de identificação das litologias através do georreferenciamento dos poços profundos com uso de SIG. Dessa forma foram analisados 750 perfis dos poços cadastrados. Porém grande parte encontra-se sem descrição geológica ou litológica. Por isso, para a confecção da carta foram considerados 52 perfis que continham descrição completa. As coordenadas geográficas para o georreferenciamento e a tabela de atributos inserida no SIG, assim como os poços mais representativos de cada formação adaptado do SIAGAS CPRM (1983-2006), encontram-se detalhada no Apêndice I.1. Após análise dos 52 perfis dos poços localizados em Teresina-

PI, algumas litologias foram acrescentadas, como os Argilito e Basalto presentes na unidade Piauí, os Siltitos na formação Pedra de Fogo e os Silexitos dos Depósitos Aluvionares (chama a atenção o fato que alguns perfis apresentam de 4 a 63 metros de profundidade, diferindo das descrições dessa unidade geológica). A formação Corda foi a única que não teve nenhum poço cadastrado, e por isso foram mantidas com as mesmas litologias dos estudos iniciais. Por conseguinte, esse aprimoramento na metodologia mostra-se importante, pois confirma que alguns perfis estratigráficos afloram especificamente em Teresina-PI.

Tabela 23 - Metodologia de Classificação da suscetibilidade á expansão e colapso com base na Litologia.

SUSCETIBILIDADE	LITOLOGIAS	
	EXPANSÃO	COLAPSO
ALTA	argilitos; folhelhos; cálcarios marinhos	arenitos quartozoso; arenitos de dunas eólicas
MÉDIA	siltitos;	silexito; arenito caulínico
BAIXA	silexito; arenitos quartzosos; arenito caulínico	argilitos; folhelhos; cálcarios marinhos

Fonte: A autora (2020).

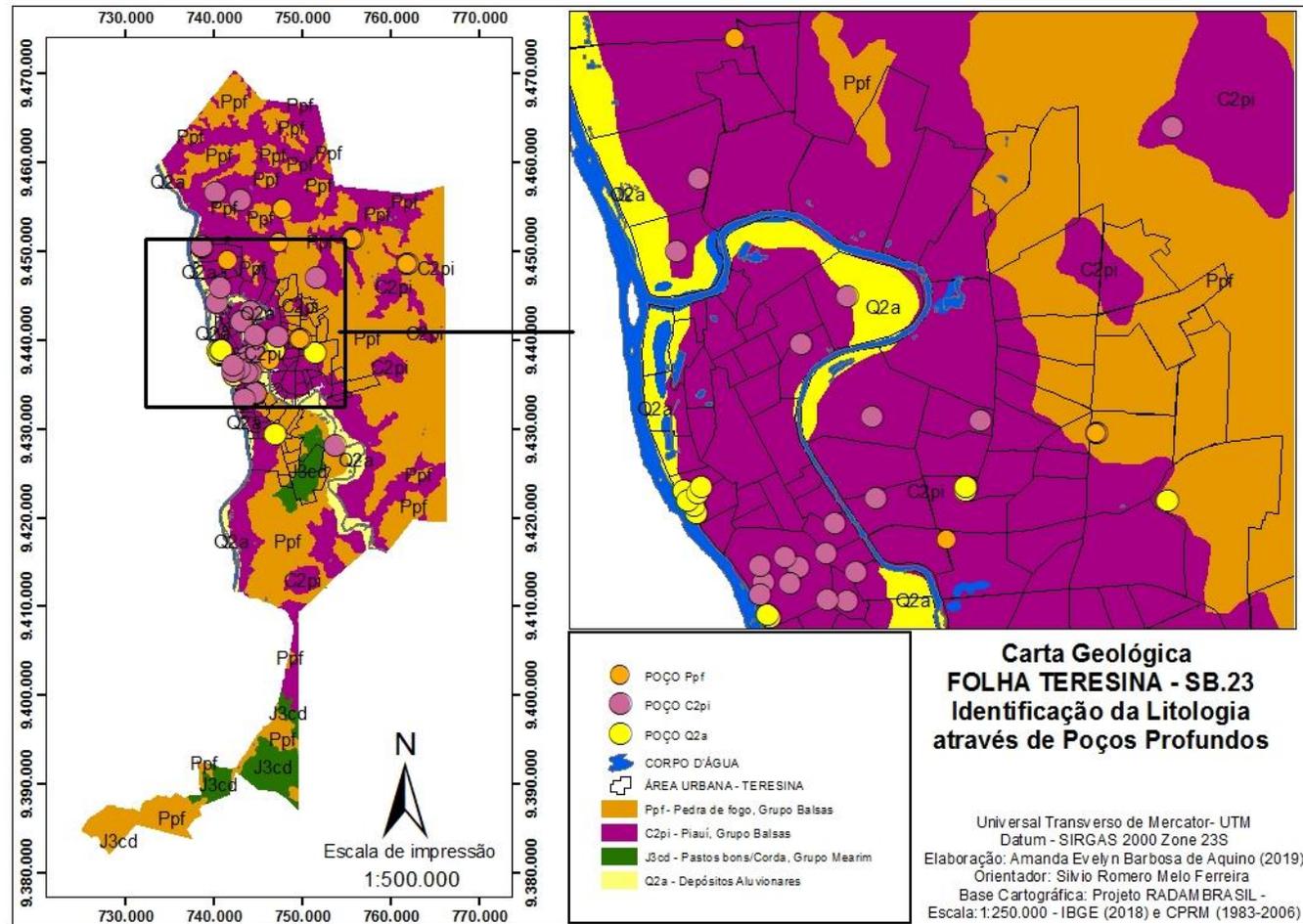
Por fim, foi realizada a média ponderada e os valores utilizados como referência para o grau de suscetibilidade final foram os da Tabela 24.

Tabela 24 - Valores considerados para avaliação de suscetibilidade final. Fonte: Amorim (2004)

Valores	Peso
$\geq 2,33$	Alto
$1,67 > x < 2,33$	Médio
$\leq 1,67$	Baixo

Fonte: A autora (2020)

Figura 61 - Identificação da Litologia através do georreferenciamento dos poços profundos



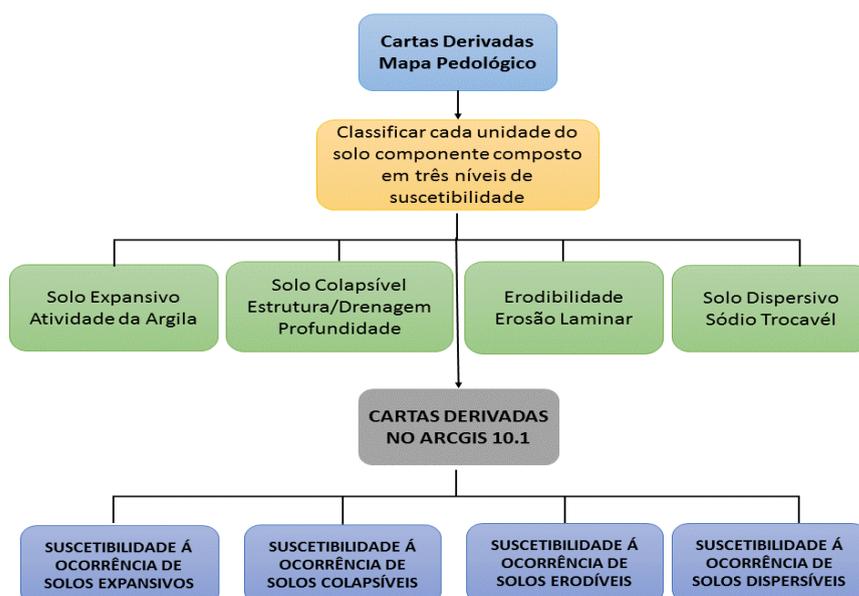
Fonte: A autora (2020)

5.2.2 Pedologia

A utilização do mapeamento pedológico acompanhado das tabelas de atributos, com dados analíticos, descrição morfológica, física, química dos perfis dos solos (cor, textura, estrutura, consistência, etc.) é extremamente útil em diversas áreas do conhecimento (GUSMÃO FILHO, 2008). A Pedologia aplicada a Engenharia Civil, gera fontes de recursos geotécnicos através da identificação de um provável comportamento geotécnico desfavorável dos solos. Morandini e Leite (2018) acham um desperdício os termos da pedologia não serem tão familiares na comunidade geotécnica, pois são informações preciosas, de fácil acesso, mas que geralmente são negligenciadas na prática de engenharia.

Por isso, visando gerar uma contribuição maior em relação as informações que podem ser extraídas da Pedologia, buscaram-se um maior detalhamento neste tópico, que possibilitou a análise da suscetibilidade de ocorrência não só dos solos expansivos e colapsíveis – como também de solos erodíveis e dispersivos. Na Figura 62 é apresentado o fluxograma contendo uma síntese dos procedimentos metodológicos utilizados para a confecção das quatro cartas derivadas.

Figura 62 - Síntese da metodologia empregada na elaboração das Cartas Derivadas da Pedologia



Fonte: A autora (2020)

Adiante serão descritas um conjunto de característica avaliadas para cada classe, o que podem demonstrar o comportamento de um provável solo expansivo, colapsível, erodível ou dispersivo. Amorim (2004) chama a atenção ao fato de que análise dos critérios não pode ser tão rigorosa, visto ser uma análise qualitativa. Foi usado a base cartográfica do IBGE (2019) e informações dos solos das tabelas de atributos do estudo de MORAES (2004), visto ser o mapeamento com maior detalhamento já realizado no município de Teresina. Moraes (2004) resumiu em tabelas, para cada tipo de solo, os atributos gerais de cada unidade, onde já considerou as associações existentes dos solos componentes composto.

- Solos Expansivos

Foram avaliadas as características descritas na Tabela 24. Solos que apresentam atividade alta e baixa drenagem possuem maior suscetibilidade a desencadear solos expansivos. Segundo Cruz (2008) a atividade de expansão é muito intensa nas montmorilonita, moderada nas ilitas e praticamente inexistente nas caulinitas.

Tabela 24 - Características avaliadas.

CONDICIONANTE AVALIADO	CARACTERÍSTICAS
	ALTO GRAU - Classes de solos predominantemente argilosos com minerais argílicos do tipo montmorilonita ou vermiculita.
Atividade da argila	MÉDIO GRAU – Classes de solos predominantemente argilosos com minerais argílicos do tipo ilita;
	BAIXO GRAU - Classes de solos sem a presença de argila ou minerais argílicos do tipo caulinita.

Fonte: Adaptado de Vilar e Ferreira (2015).

A capacidade de cátions trocáveis (CTC) diz muito sobre a atividade dos solos. Segundo Buol et al. (1997) se o solo apresenta alta quantidade de CTC (maior que 20 meg/100g), sua estrutura apresenta significante teor de montmorilonita, indicando solos expansivos. Segundo BURGOS e CONCIANI (2015) no critério pedológico, a argila considerada de atividade alta se manifesta com capacidade de troca de cations (C.T.C.) ≥ 17 cmol/kg. Na Tabela 25 encontram-se a correlação do CTC com o argilomineral.

Tabela 25 - CTC dos principais argilominerais.

Argilomineral	Estrutura	Área específica (m ² /g)	Capacidade de troca de cátions (cmol/kg)
Caulinita	1:1	10 a 20	3 a 15
Ilita	2:1	70 a 120	10 a 40
Montmorilonita	2:1	700 a 800	60 a 150

Fonte: Burgos e Conciani (2015)

- Solos Colapsíveis

Foram avaliadas as características descritas na Tabela 26. Solos de origem recente, fácil drenagem (principalmente pelo processo de lixiviação), estrutura poroso e arenosa possuem maior suscetibilidade a desencadear solos colapsíveis.

Tabela 26 - Características avaliadas para Solos Colapsíveis.

CONDICIONANTE AVALIADO	CARACTERÍSTICAS
Estrutura/textura	Solos com estrutura porosa ou instável, com partículas interligadas por argila, óxido de ferro, alumínio ou carbonatos apresentam Alta Suscetibilidade .
Drenagem	Solos de Fácil Drenagem apresentam Alta Suscetibilidade
Profundidade	Solos rasos de Origem Recente apresentam Alta Suscetibilidade

Fonte: Adaptado de Vilar e Ferreira (2015).

- Solos Erodíveis

Avaliou-se a erosão laminar conforme estudo de Moraes (2004)¹³ pela Tabela 27.

Tabela 27 - Características avaliadas para solos Erodíveis

Erosão Laminar	Suscetibilidade
Severa/ Muito Severa/ Extremamente Severa	Alta
Moderada	Média
Laminar Ligeira	Baixa

Fonte: A autora (2020)

¹³ As características definidas estão no Anexo C.

- Para solos dispersivos avaliou-se os condicionantes descritos na Tabela 28, com base na concentração de sódio trocável¹⁴ presente no solo. Lepcch (2011) explica que solos com alta concentração de sódio apresentam alta quantidade de partículas dispersas, o que prejudica a capacidade de infiltração e circulação de água e ar. Argilas com alto teor de sódio trocável tornam-se dispersas.

Tabela 28 - Característica avaliada para solos Dispersíveis.

Condicionante avaliado	Características do solo dispersivo
Sódio Trocável	Alta concentração de Sódio trocável > 15%.

Fonte: Adaptado de LEPCCH (2011).

5.2.3 Clima

Para se quantificar a influência do clima no desencadeamento de formação de solos expansivos e colapsíveis, é preciso compreender o balanço hídrico. Assim foi definido a suscetibilidade de cada tipologia climática com base no trabalho de Amorim (2004), que considerou o clima árido e semi-árido de alta suscetibilidade, pelo longo período de escassez de chuvas e déficit hídrico do solo. O sub-úmido, úmido e super úmido com baixa suscetibilidade, pois propiciam ao solo excedente hídrico. O clima sub-úmido seco apresenta uma condição intermediária entre os dois apresentados. Na Tabela 29 é apresentada a correlação entre a tipologia climática e os graus adotados com base no índice de umidade de THORNTHWAITE & MATHER (1955).

¹⁴ Porcentagem de sódio trocável = $100 \times [\text{concentração de sódio (Na)}/\text{capacidade de troca de cátions (CTC)}]$

Tabela 29 - Correlação entre a tipologia climática, índice de umidade de THORNTHWAITE & MATHER (1955) e os graus adotados.

TIPO CLIMÁTICO	Iu (%)	SUSCETIBILIDADE
Árido	$-100 \leq Iu < -66,7$	ALTA
Semi-árido	$-66,7 \leq Iu < -33,3$	
Seco Sub-úmido	$-33,3 \leq Iu < 0$	MÉDIA
Úmido Sub-úmido	$0 \leq Iu < 20$	BAIXA
Úmido	$20 \leq Iu < 100$	
Super úmido	$100 \leq Iu$	

Fonte: A autora (2020)

5.3 RESULTADOS COMPLEMENTARES E APRESENTAÇÃO DAS CARTAS DERIVADAS

Neste tópico são apresentados os resultados dos critérios de suscetibilidade e as cartas derivadas, assim identificando as áreas suscetíveis a ocorrência das propriedades que foram avaliadas.

5.3.1 Geologia

Seguindo a metodologia descrita, foram integrados os resultados literários e de campo, e dessa forma elaborada a Tabela 30 com as litologias superiores adotadas em cada formação. Posterior foi atribuído um grau (Alto, Médio ou Baixo) para as suscetibilidades de cada condicionante e retirado a média ponderada para a suscetibilidade final, conforme apresentada na Tabela 31.

Tabela 30 - Descrição das litologias que afloram em Teresina-PI

Nome	Unidade Superior	Local	Litologias Parte Superior
Piauí	Grupo Balsas	31 pontos distribuídos por Teresina-PI	Arenito; Folhelho; Siltito;
Corda	Grupo Mearim	Não identificado*	Arenito
Pedra de Fogo	Grupo Balsas	7 pontos distribuídos por Teresina-PI	Arenito; Lentes de silexito;
Depósitos Aluvionares Holocênicos	Camada superficial	13 pontos distribuídos por Teresina-PI	Areia finas silexito;

Fonte: A autora (2020)

*Litologia cor azul foi acrescentada, verde mantida.

Do mapa fundamental Geológico de Teresina, resultaram-se duas cartas derivadas: suscetibilidade de ocorrência de solos Expansivos (Figura 63) e ocorrência de solos colapsíveis (Figura 64). Portanto considerando apenas a geologia, Teresina apresenta 41% da superfície com suscetibilidade média de ocorrência de solos expansivos e 10% com suscetibilidade alta ao colapso.

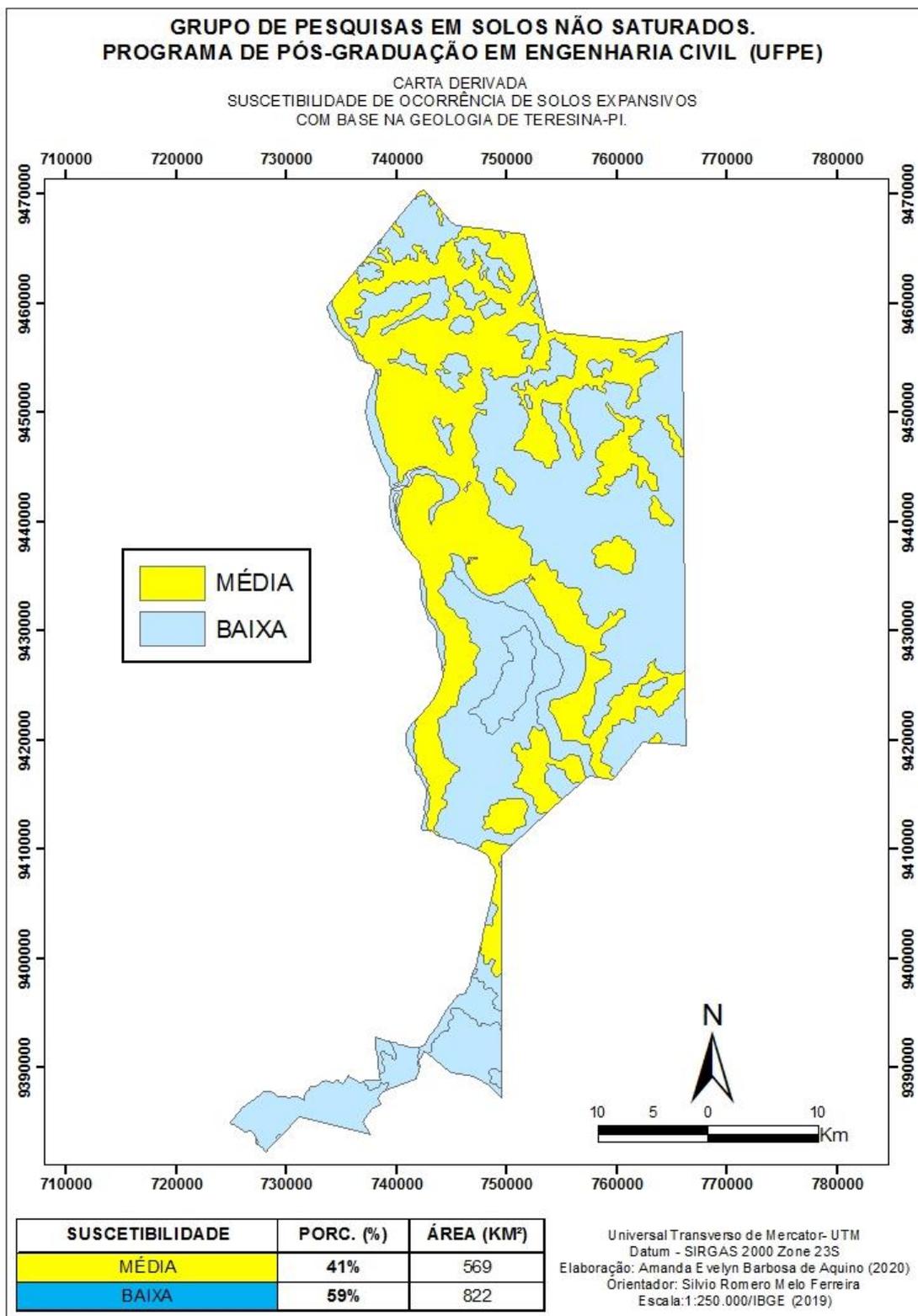
Tabela 31 - Critérios de suscetibilidade a expansão e ao colapso das unidades geológicas.

UNIDADE GEOLÓGICA	HIDROGEOLOGIA (CPRM 2000)	PARTE SUPERIOR LITOLOGIA COMPOSTA	SOLO EXPANSIVO			SOLO COLAPSÍVEL				
			GRAU	PESO	SUSCETIBILIDADE FINAL	GRAU	PESO	SUSCETIBILIDADE FINAL		
Pedra De Fogo	SOLO NÃO SATURADO	ARENITO CAULÍNICO DE PLANÍCIE DE MARÉ	BAIXO	1	1,00	BAIXA	MÉDIO	2	2,00	MÉDIA
		LENTE DE SILEXITO ¹	BAIXO	1			MÉDIO	2		
Piauí	TOPO DE SOLO NÃO SATURADO E EM PROFUNDIDADE (24 METROS EM MÉDIA) DE SOLO SATURADO	SILTITO	MÉDIO	2	2,00	MÉDIA	MÉDIO	2	2,00	MÉDIA
		ARENITO FINO ARGILOSO DE DEPÓSITO DE DUNAS ÉOLICAS	BAIXO	1			ALTO	3		
		FOLHELHO	ALTO	3			BAIXO	1		
Corda	SEM INFORMAÇÃO	ARENITO FINOS QUARTZOSOS	BAIXO	1	1,00	BAIXA	ALTO	3	3	ALTA
Depósitos Aluvionares Holocênicos	CAMADA SUPERFICIAL ATÉ 4 METROS DE SOLO NÃO SATURADO E AS DEMAIS COM SOLO SATURADO	AREIA QUARTZOSA	BAIXO	1	1,00	BAIXA	ALTO	3	2,5	ALTA
		SILEXITO	BAIXO	1			MÉDIO	2		

Fonte: A autora (2020)

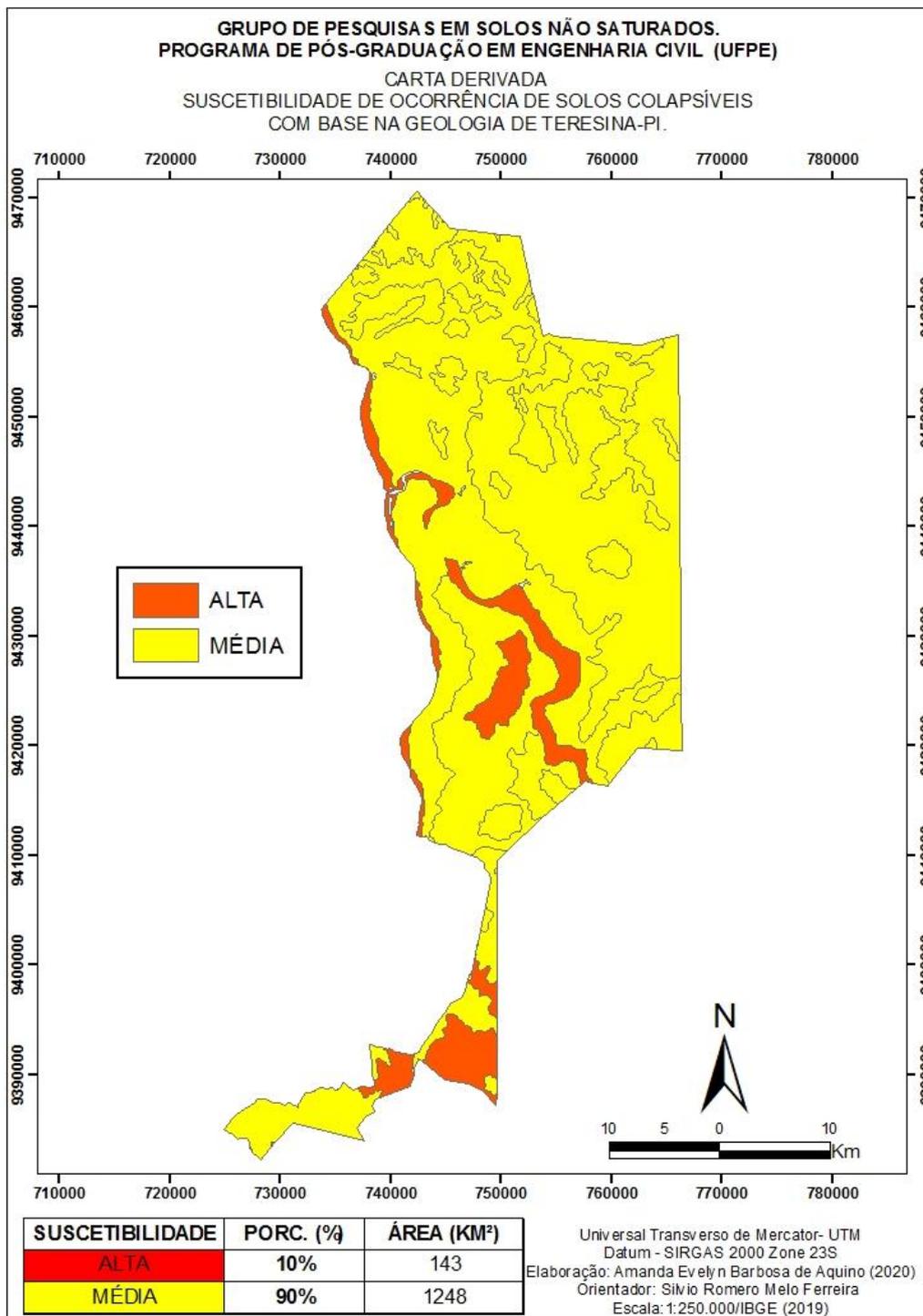
Notas: ¹ As Litologias em forma de “lentes” ocorrem em finas camadas.

Figura 63 - Carta derivada: Suscetibilidade de ocorrência de solos Expansivos com base na Geologia de Teresina-PI



Fonte: A autora (2020)

Figura 64 - Carta derivada: Suscetibilidade de ocorrência de solos colapsíveis com base na Geologia de Teresina-PI.



Fonte: A autora (2020)

5.3.2 Pedologia.

➤ Expansão

O resultado dos critérios atribuídos aos solos componentes composto pode ser verificado na Tabela 32, permitindo assim, uma avaliação final de sua potencialidade á expansão para cada unidade de mapeamento.

Tabela 32 - Critérios de Suscetibilidade a Expansão

CLASSES DE SOLOS COMPONENTE NO MUNICÍPIO DE TERESINA, PIAUÍ.					
ATRIBUTOS AVALIADOS	ARGISSOLOS VERMELHO- AMARELO	CHERNOSSOLOS ARGILÚVICO	LATOSSOLO AMARELO	NEOSSOLO FLÚVICO	NEOSSOLO LITÓLICO
Atividade da Argila	Baixa/Média	Alta	Sem atividade*	Média	Sem atividade*
Drenagem	Bem Drenado	Moderadamente Drenado	Bem Drenado	Moderadamente Drenado	Bem Drenado
Suscetibilidade	MÉDIA	ALTA	BAIXA	MÉDIA	BAIXA

Fonte: Adaptada de Moraes (2004) e IBGE (2019).

O município de Teresina dependendo do tipo de solo apresenta argilas de baixa, média e alta atividade, conforme pode ser confirmado pela correlação do valor do CTC com o argilomineral (Tabela 33)

Tabela 33 - Identificação dos argilominerais com base no valor dos cátions trocáveis.

CTC (meg/100g)	ARGISSOLOS	CHERNOSSOLOS	LATOSSOLO	NEOSSOLO FLÚVICO	NEOSSOLO LITÓLICO
	4,6	24,8	4,4	9,6	4,75
Provável Argilomineral	Caulinita	Ilita ou montmorilonita	Caulinita	Caulinita ou Ilita	Caulinita

Fonte: A autora (2020)

➤ Colapso

A tabela 34 apresenta os critérios atribuídos aos solos componentes composto, permitindo assim, uma avaliação final de sua potencialidade ao colapso para cada unidade de mapeamento.

Tabela 34 - Critérios de Suscetibilidade ao Colapso.

ATRIBUTOS AVALIADOS	CLASSES DE SOLOS NO MUNICÍPIO DE TERESINA, PIAUÍ.				
	ARGISSOLOS VERMELHO- AMARELO	CHERNOSSOLOS ARGILÚVICO	LATOSSOLO AMARELO	NEOSSOLO FLÚVICO	NEOSSOLO LITÓLICO
Estrutura	média/pouco pedregoso	média/ argiloso e pedregoso	Média/ Franco Arenoso	média/argiloso/siltoso e não apresenta pedregosidade	média/argil osa com aflorent os de rochas
Drenagem	Bem Drenado	Moderadamente Drenado	Bem Drenado	Moderadamente Drenado	Bem Drenado
Profundidade	Profundo (1,0 a 2,0 metros)	Profundo (1,0 a 2,0 metros)	Muito Profundo (mais de 2 metros)	Profundo (1,0 a 2,0 metros)	Raso (0,25 a 0,50 metro)
Suscetibilidade	BAIXA	BAIXA	MÉDIA	MÉDIA	BAIXA

Fonte: Adaptado do estudo de Moraes (2004) e IBGE (2019).

➤ Erosão

Na tabela 35 encontra-se os critérios atribuídos aos solos componentes composto, permitindo assim, uma avaliação final de sua potencialidade a erosão para cada unidade de mapeamento.

Tabela 35 - Critérios de Suscetibilidade a Erosão. Fonte: Adaptado do estudo de Moraes (2004) e IBGE (2019).

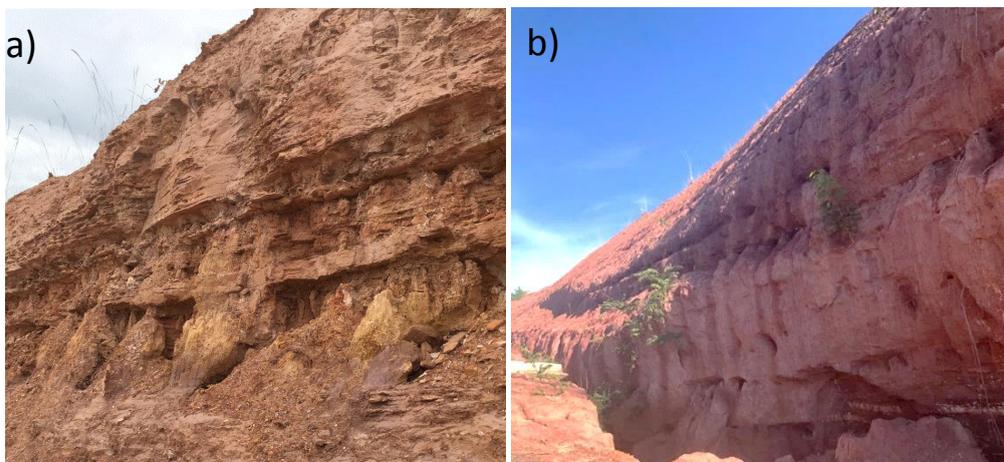
ATRIBUTO AVALIADO	CLASSES DE SOLOS NO MUNICÍPIO DE TERESINA, PIAUÍ.				
	ARGISSOLOS VERMELHO- AMARELO	CHERNOSSOLOS ARGILÚVICO	LATOSSOLO AMARELO	NEOSSOLO FLÚVICO	NEOSSOLO LITÓLICO
Erosão Laminar	Moderada	Moderada	Laminar Ligeira	Moderada	Severa
Suscetibilidade	Média	Alta	Baixa	Média	Alta

Fonte: A autora (2020)

Segundo Torres (2014), os Chernossolos apresentam argila com atividade alta o que limita sua drenagem natural, tornando-o suscetível aos processos erosivos. Os Latossolos Amarelo são solos estáveis e uniformes no conjunto de suas propriedades, e com boa permeabilidade tornando-os com baixa suscetibilidade aos processos erosivos. O Neossolo Litólico é um solo raso (menos de 50 cm de profundidade) que facilmente fica saturado com água, favorecendo uma erosão intensa nas principalmente nas encostas. JACOMINE et al. (1986a), LIMA (1987) e MORAES (2004) afirmam estar o Município de Teresina em grande parte assentado numa região na qual se destacam áreas quase planas - marginais aos rios Parnaíba e Poti, flanqueadas por vales estreitos, morros, outeiros e serras de relevo ondulado e forte ondulado, assim conferindo aos terrenos, um elevado potencial de erosão hídrica. A presença marcante de argila assegura uma textura fina ao solo, que nem sempre representa alta suscetibilidade à erosão, tendo em vista que, em muitos casos, ela pode atuar de forma estabilizadora de perfil do solo por sua facilidade de manter-se agregada. Por outro lado, em caso de diferenciação textural entre os horizontes do solo, a camada mais argilosa pode apresentar mudanças na condutividade hidráulica do perfil.

Foram fotografados dois taludes com feições erosivas de média intensidade e georreferenciados na carta de Suscetibilidade de ocorrência de solos Erodíveis com base na Pedologia de Teresina-PI (Apêndice C). Esta verificação corrobora com a metodologia da pesquisa, pois ficam localizados em áreas de média suscetibilidade. Lima (2011) considera a erosão hídrica o principal agente desencadeador da dinâmica natural dos solos e também do relevo do município de Teresina.

Figura 65 - Pontos de Erosão encontrados em levantamento de campo em Teresina-PI. a) Erosão no talude de um Argissolo Vermelho-Amarelo no Residencial Parque Sul b) Feição erosiva na base do talude no Bairro Morros



Fonte: Autora (2020).

➤ Dispersão

Na Tabela 36 encontra-se os critérios atribuídos aos solos componentes composto, permitindo assim, uma avaliação final de sua potencialidade á solos dispersíveis para cada unidade de mapeamento.

Tabela 36 - Critérios de Suscetibilidade a Dispersão.

CLASSES DE SOLOS NO MUNICÍPIO DE TERESINA, PIAUÍ.					
ATRIBUTO	ARGISSOLOS	CHERNOSSOLOS	LATOSSOLO	NEOSSOLO	NEOSSOLO
AVALIADO	VERMELHO-AMARELO	ARGILÚVICO	AMARELO	FLÚVICO	LITÓLICO
Sódio Trocável	Não apresenta	Não apresenta	Não apresenta	Não apresenta	Não apresenta
Suscetibilidade	BAIXA	BAIXA	BAIXA	BAIXA	BAIXA

Fonte: Adaptado do estudo de Moraes (2004) e IBGE (2019).

Foi constatado pelo mapeamento pedológico de Moraes (2004) a presença de solos Alícos em Teresina, ou seja, solos que segundo LEPSCH (2016) apresentam alta concentração de alumínio (acima de 15%). Nos Argissolos Vermelho-Amarelo essa porcentagem chega aos 83%, e nos Latossolos Amarelo apresentaram 20% em superfície e 67% em profundidade (Tabela 37).

Tabela 37 - Porcentagem de Alumínio trocável nas classes de solos.

ATRIBUTOS AVALIADOS	CLASSES DE SOLOS NO MUNICÍPIO DE TERESINA, PIAUÍ.				
	ARGISSOLOS VERMELHO- AMARELO	CHERNOSSOLOS ARGILÚVICO	LATOSSOLO AMARELO	NEOSSOLO FLÚVICO	NEOSSOLO LITÓLICO
Porcentagem de AL Trocável (%)	83%	Níveis irrelevantes	20% a 67%	Níveis irrelevantes	61%

Fonte: adaptado do estudo de Moraes (2004).

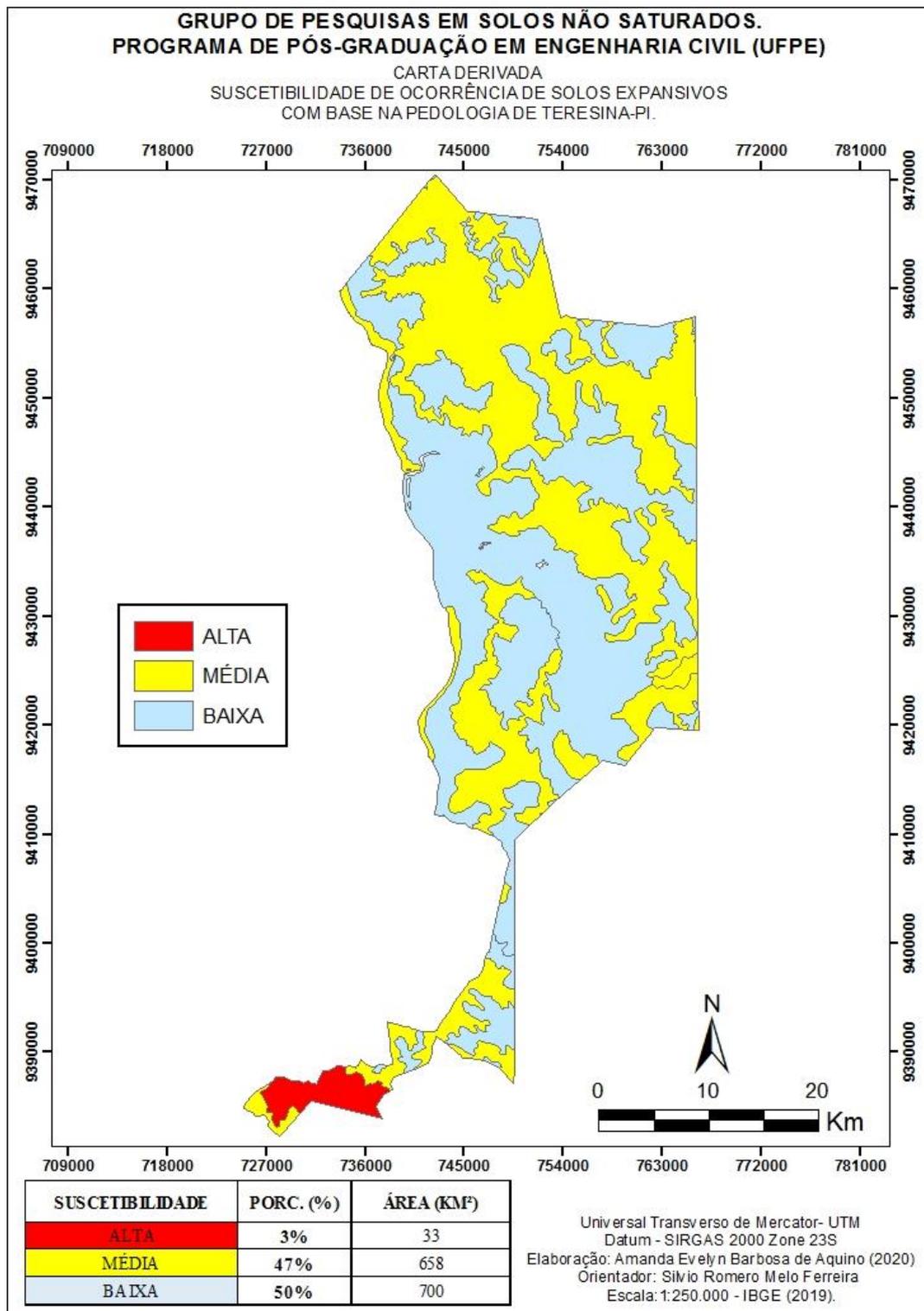
O mapeamento das suscetibilidades de ocorrência de solos problemáticos se torna importante para reger decisões e critérios a serem tomados em fases de anteprojetos. Dessa forma, do mapa fundamental Pedológico de Teresina resultaram-se quatro cartas derivadas: suscetibilidade a expansão, colapso, erosão e dispersão. Portanto, Teresina-PI apresenta 3% da superfície com suscetibilidade alta de ocorrência de solos expansivos, 52% com suscetibilidade média ao colapso, 47% com suscetibilidade média a erosão e 100% com suscetibilidade baixa a dispersão. As Cartas Derivadas são apresentadas nas Figuras 66 á 68.

Tabela 38 - Classificação dos tipos de solo quanto a sua suscetibilidade a solos problemáticos.

Classe Pedológica	EXPANSIVO	COLAPSÍVEL	EROSIVO	DISPERSIVO
FFc- Argissolos Vermelho-Amarelo	Média	Baixa	Média	Baixa
MTo- Chernossolos Argilúvico	Alta	Baixa	Alta	Baixa
LAd - Latossolos Amarelo	Baixa	Média	Baixa	Baixa
RYve - Neossolo Flúvico	Média	Média	Média	Baixa
RLd - Neossolo Litólico	Baixa	Baixa	Alta	Baixa

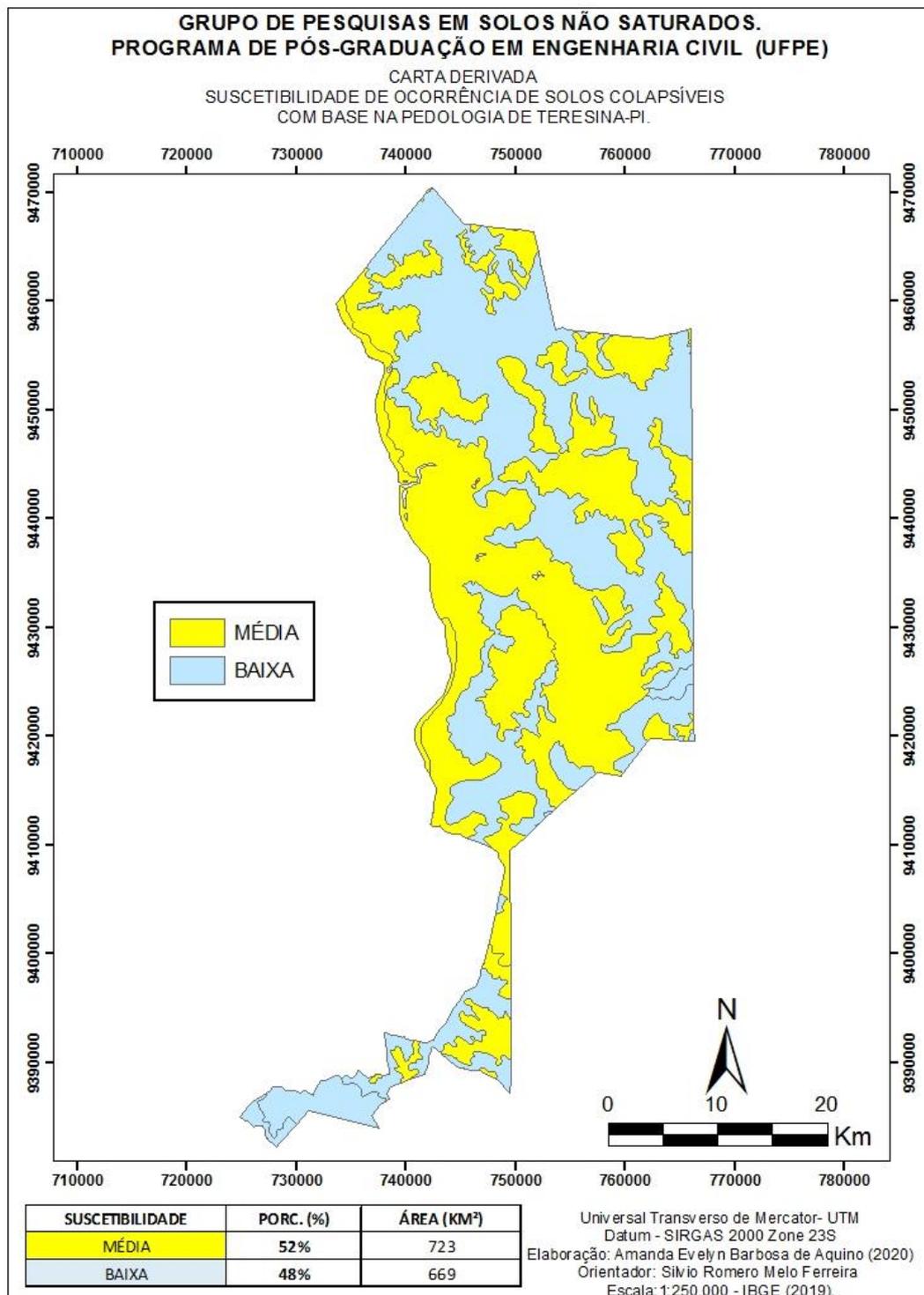
Fonte: Autora (2020).

Figura 66 - Carta derivada: Suscetibilidade de ocorrência de solos Expansivos com base na Pedologia de Teresina-PI.



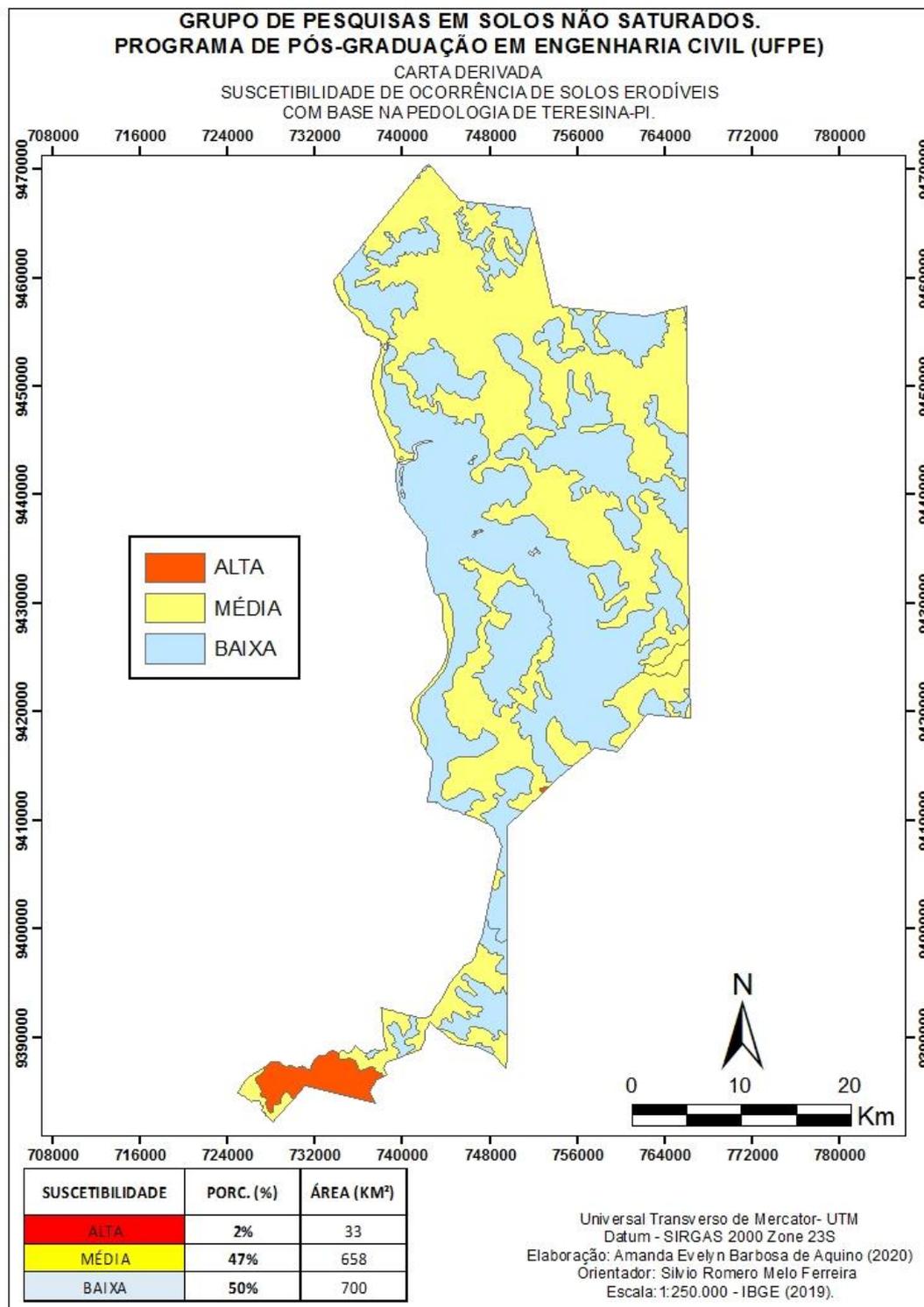
Fonte: A autora (2020)

Figura 67 - Carta derivada: Suscetibilidade de ocorrência de solos Colapsíveis com base na Pedologia de Teresina-PI.



Fonte: A autora (2020)

Figura 68 - Carta derivada: Suscetibilidade de ocorrência de solos Erodíveis com base na Pedologia de Teresina-PI.



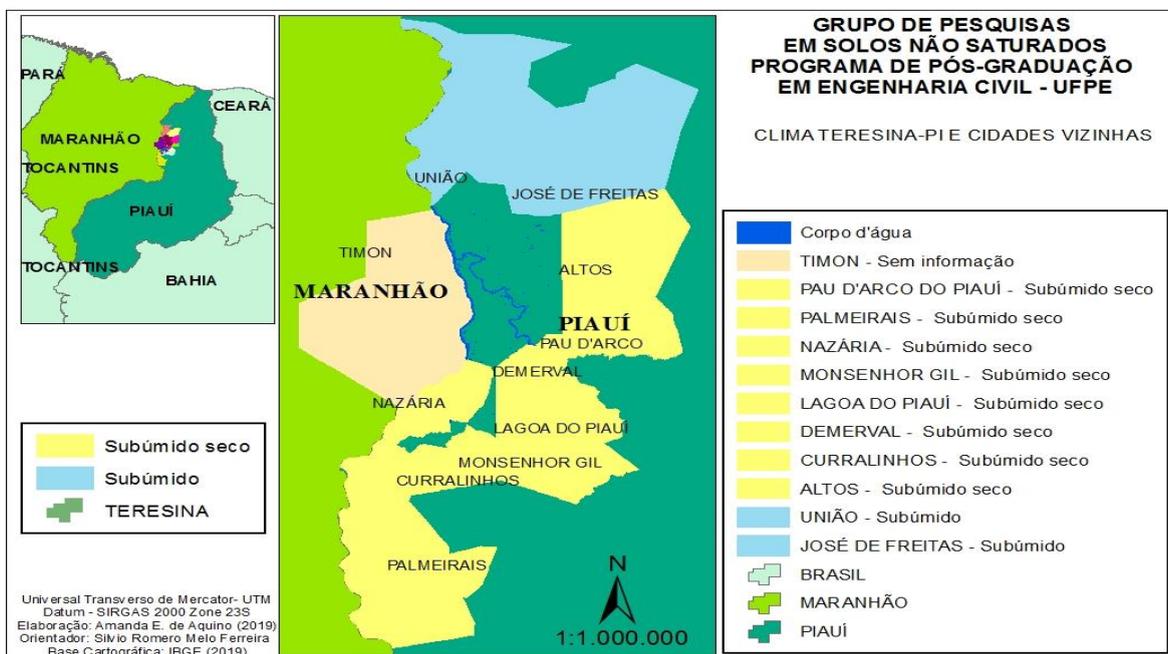
Fonte: A autora (2020)

5.3.3 Clima

MORAES (2004), MELO FILHO et al. (1980) e JACOMINE et al. (1986a) concordam com o balanço hídrico dos solos em Teresina, onde de janeiro a maio de um excesso de água no solo de Teresina, seguindo-se até julho um período de retirada de umidade, após o que se sucede uma longa estação seca, com deficiência de água que se estende até dezembro. Dessa forma, pelo índice de umidade de THORNTON & MATHER (1955), o clima de Teresina é o Sub-úmido seco, apresentando assim suscetibilidade média ao desencadeamento dos processos de colapso e expansão.

Foi observado ocorrência de transição de clima entre as cidades que fazem fronteiras com Teresina. No mapa da Figura 69 é apresentado a tipologia climática das cidades que contornam o município. Percebe-se que ao norte da Cidade ocorre transição do clima sub-úmido seco para o subúmido, condição que se passa de uma suscetibilidade média para baixa.

Figura 69 - Clima de Teresina-PI e cidades vizinhas.



Fonte: A autora (2020)

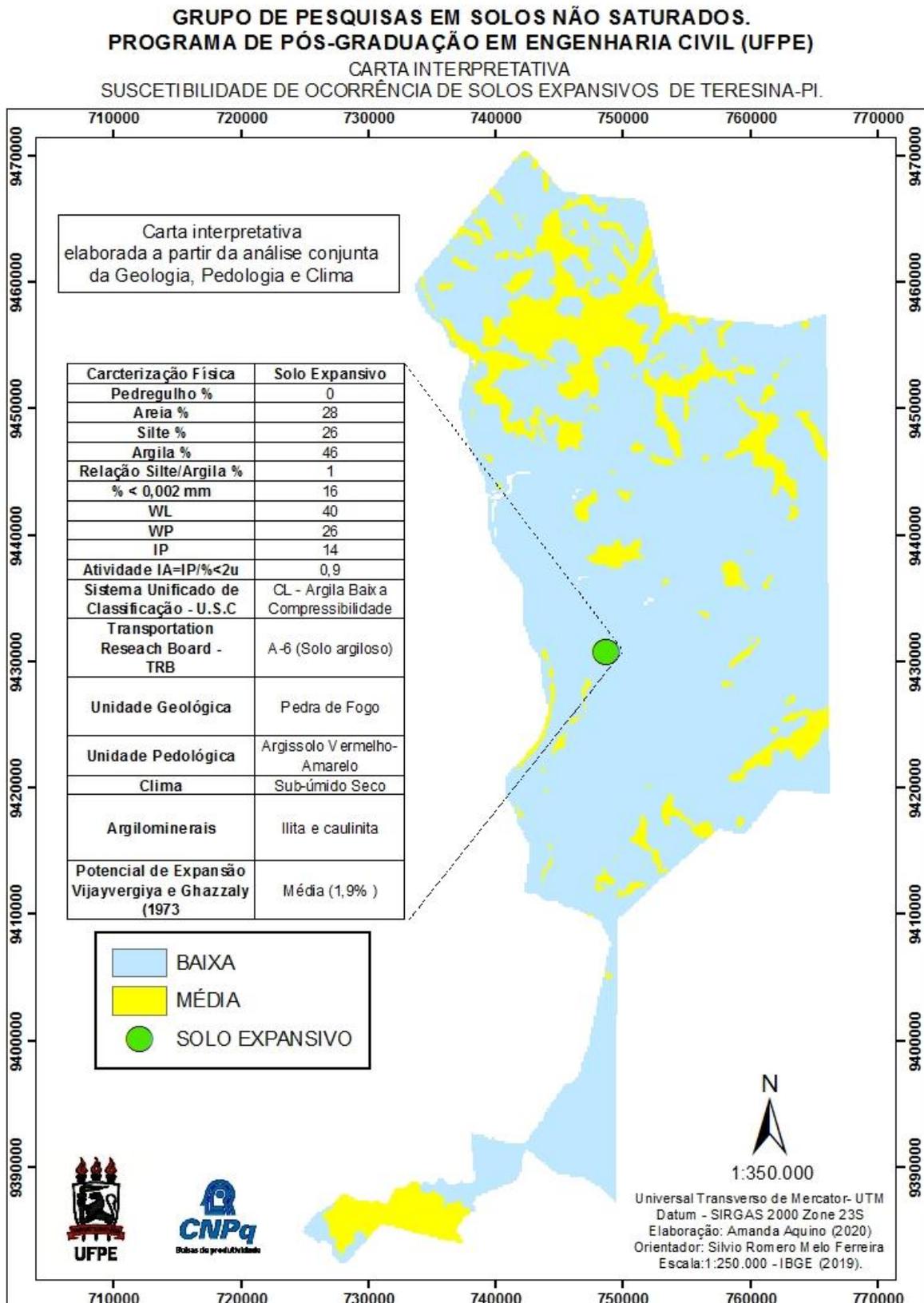
5.4 COMPARTIMENTAÇÃO FINAL

Embora os métodos de classificação empregados não identifiquem com exatidão o comportamento expansivo e colapsível dos solos, este trabalho permite identificar os locais que merecem atenção para a realização de uma investigação geotécnica para caracterização dos solos colapsíveis e expansivos, constituindo uma referência preliminar de identificação e orientação nas regiões de alta e média suscetibilidade.

Como resultado do cruzamento dos temas, por meio do critério ponderado, foram geradas as cartas interpretativas de suscetibilidade a ocorrência de Solos Expansivos (Figura 70) e Colapsíveis (Figura 71) de Teresina. Dessa forma, a capital do estado do Piauí apresenta 16 % da área total do município com média suscetibilidade a solos expansivos e 84 % baixa. Georreferenciando o solo expansivo estudado nesta pesquisa, a Carta de Suscetibilidade de ocorrência de Solos Expansivos, é possível constatar que fica em uma área de baixa suscetibilidade. Devido a interpretação das informações pelos mapas fundamentais serem em pequenas escalas é indispensável a investigação adequada de campo e laboratório local.

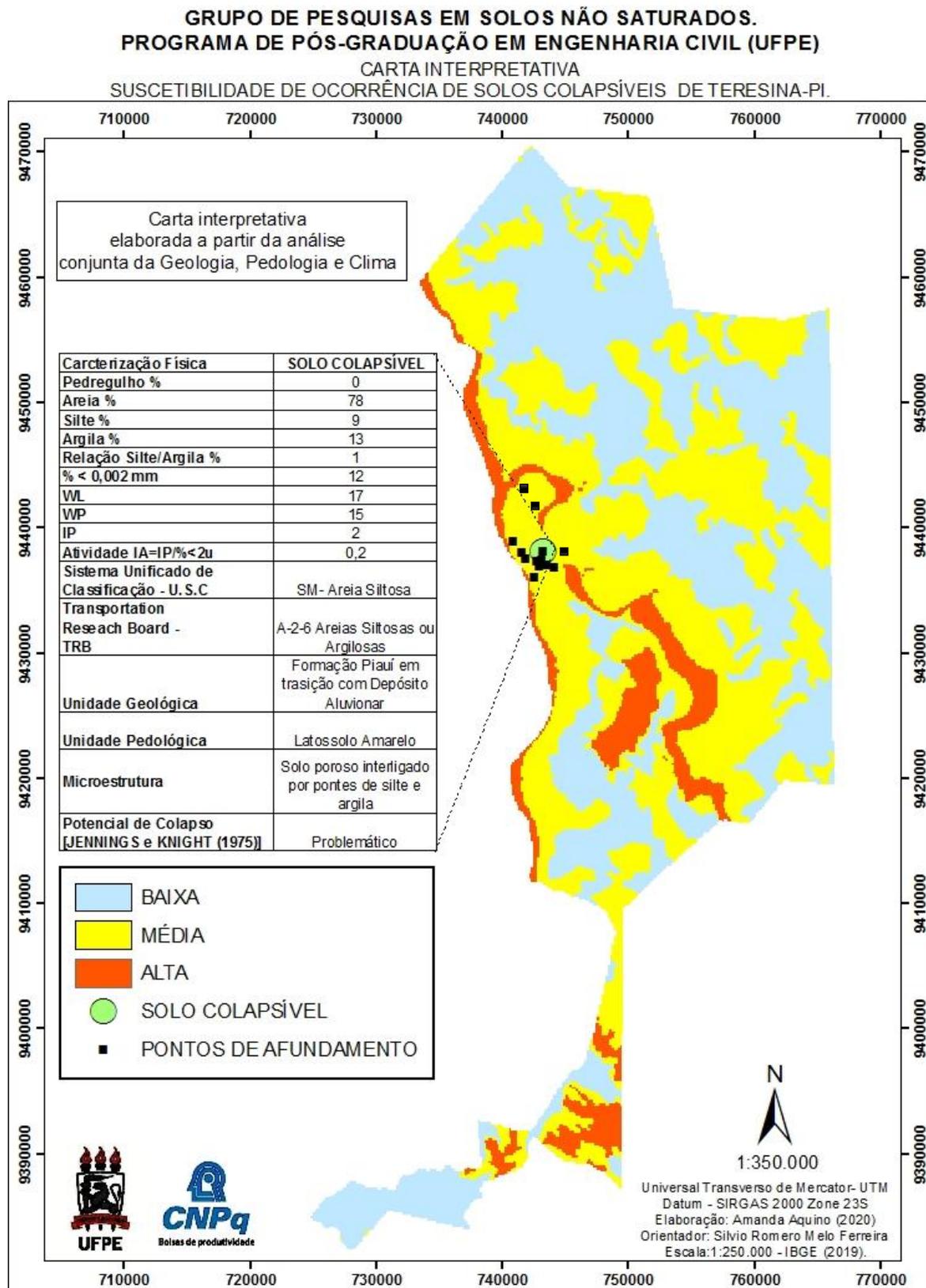
Quanto ao colapso, Teresina apresentou uma suscetibilidade de ocorrência alta em 9 % do seu território, média em 45 % e baixa em 46 %. Avaliando de forma conjunta a suscetibilidade alta e média, soma-se 54 % de área que precisam de investigação geotécnica direcionada ao entendimento do processo. É possível observar no Apêndice D, o georreferenciamento dos pontos de afundamentos e o solo colapsível apresentados neste trabalho, na Carta de Suscetibilidade de ocorrência de Solos Colapsíveis. Estes eventos ficam em uma área de média suscetibilidade, contudo, em transição com uma região de alta, o que pode ser explicada pela interpretação das informações dos mapas fundamentais serem em pequenas escalas.

Figura 70 - Suscetibilidade de ocorrência de Solos Expansivos de Teresina-PI.



Fonte: Autora (2020)

Figura 71 - Suscetibilidade de ocorrência de Solos Colapsíveis de Teresina-PI



Fonte: Autora (2020)

Não existe uma metodologia única a ser seguida em projetos de fundações em solos expansivos e colapsíveis, o que depende de vários parâmetros (tipo de edificação, cargas atuantes, técnica de melhoramento, tipo de fundação, etc). Contudo será apresentado os ensaios de campo e laboratório indicados por nível de suscetibilidade. As áreas com média e alta suscetibilidade indicam que qualquer tipo de obra a ser realizada nestes solos, ou com estes solos, devem ser levados em conta o grau de colapsibilidade e expansividade.

Suscetibilidade Baixa: Sondagens¹⁵, caracterização física do solo (granulometria, peso específico real dos grãos, sedimentação com e sem defloculante, limites de liquidez e plasticidade). Se o solo apresentar alta capacidade de suporte nas camadas superficiais: para edificações de pequenas cargas verificar a carta de suscetibilidade da Pedologia para solo expansivo, para edificações de altas cargas verificar a carta de suscetibilidade da pedologia para solo colapsíveis.

Suscetibilidade Média: Sondagens, caracterização física, microestrutural (Microscopia eletrônica de Varredura), mineralógico (difração de Raios X), ensaios edométricos simples e duplo, verificar o potencial de expansão e colapso, determinar a tensão de expansão e colapso pela representação da umidade de campo.

Suscetibilidade Alta: Sondagens, caracterização física, química, microestrutural (Microscopia eletrônica de Varredura), mineralógico (difração de Raios X), ensaios edométricos simples e duplo, determinar a profundidade e espessura da camada ativa do solo suscetível à expansão ou colapso

• **Para solo Expansivo:** ensaiar em laboratório a expansão por diferentes métodos, obter a sucção mátrica pelo método do papel filtro, avaliar qual o melhor tratamento para o solo expansivo (por exemplo estabilização com cal, aplicação de geogrelha em rodovias) ensaiar o solo no estado de tensão causada pela inundação, no estado natural e no solo tratado), ensaio de análise da formação e propagação de fissuras com ciclos de secagem e molhagem com o equipamento e metodologia por ARAÚJO (2019).

¹⁵ O índice de resistência à penetração (Nspt) não indica se o solo é ou não potencialmente colapsível ou expansivo.

- **Para solo Colapsível:** Investigar a colapsibilidade do solo em campo e em laboratório, determinar a resistência ao cisalhamento por meio do ensaio de cisalhamento direto na umidade natural e condição saturada (determina-se dados importantes para o dimensionamento do projeto de fundações, como a coesão e o ângulo de atrito efetivo do solo, parâmetros esses que são usados no cálculo da capacidade). Cintra (2004) explica que no Brasil o procedimento de melhoria do solo colapsível, tem sido a compactação do solo, reduzindo substancialmente o recalque de colapso e viabilizando o emprego de fundações por sapatas. Souza Neto (2004) ressalta a eficiência da compactação na redução da colapsibilidade, contudo, concorda com Cintra (2004), que essa técnica não se aplica para todos os casos. Por exemplo, em sapatas com grandes dimensões pode-se tornar caro e inviável remover uma camada muito espessa de solo para compactá-lo. E para solos arenosos com baixo teor de finos, é possível que ocorra algum dano à obra mesmo utilizando a técnica de remoção e compactação do solo.

5.5 CONCLUSÕES PARCIAIS

- O aprimoramento realizado na metodologia dos trabalhos do Grupo de Pesquisas em Solos Não-Saturados do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da UFPE, pela inexistência de mapas geológicos em escala mais detalhada mostra-se importante, pois confirma que alguns perfis estratigráficos afloram especificamente em Teresina-PI.
- A maior dificuldade do mapeamento geológico foi separar as litologias superiores, por conta da considerável variedade de rochas das unidades, principalmente da Formação Pedra de Fogo.
- Com base na análise dos perfis dos poços localizados em Teresina-PI, algumas litologias foram acrescentadas, como os Argilito e Basalto presentes em profundidade na unidade Piauí, os Siltitos em profundidade na formação Pedra de Fogo e os Silexitos dos Depósitos Aluvionares. Alguns perfis pertencentes a unidade Depósitos Aluvionares apresentou profundidade de 63 metros, diferindo da descrição geral desta unidade, que é em média 15 metros de profundidade.

- A Formação Corda foi a única que não teve nenhum poço cadastrado, o que dificultou a análise da litologia local dessa unidade, e conseqüentemente pode ter interferido nos resultados finais.
- Foi encontrado lentes de calcário na litologia (superior) em perfil estratigráfico da formação Piauí na região central e na Zona Leste de Teresina. A literatura correlaciona aos processos de subsidência e colapso a dissolução das rochas calcária.
- Os solos de Teresina apresentam comportamento laterítico, o que é confirmado pela alta concentração de alumínio (acima de 15%) nas classes pedológicas. Nos Argissolos Vermelho-Amarelo essa porcentagem chega aos 83% e nos Latossolos Amarelo apresentaram 20% em superfície e 67% em profundidade.
- O município de Teresina é composto predominantemente de argilas de baixa e média atividade, contudo no limite sudeste da Cidade, em uma área rural de baixa densidade populacional, confrontando com os Municípios de Palmeirais, São Pedro do Piauí e Curralinho, encontra-se solos argilosos associados com vertissolos, apresentando alta atividade.
- As classes pedológicas de solos de Teresina não apresentam suscetibilidade a argilas dispersivas, o que é constatado tanto pela baixa concentração de sódio nas classes de solos como pelas argilominerais de baixa e média atividade.
- Teresina apresenta 47% da área total com média suscetibilidade a erosão com base na Pedologia. Foi constatado por visitas de campo duas feições erosivas de médias intensidade. Esta verificação corrobora com a metodologia da pesquisa, pois ficam localizados em áreas de média suscetibilidade.
- Quanto a solos colapsíveis, Teresina apresentou uma suscetibilidade de ocorrência alta em 9 % do seu território, média em 45 % e baixa em 46 %. Avaliando de forma conjunta a suscetibilidade alta e média, soma-se 54 % de área que precisam de investigação geotécnica direcionada ao entendimento do processo
- Quanto a solos expansivos, as classes de solos em Teresina apresentam 16 % da área total do município com média expansividade e 84 % baixa. Corroborando com os dados

encontrados na carta interpretativa de suscetibilidade a ocorrência de solos expansivos, no decorrer desta pesquisa foi possível constatar a predominância de argilominerais como a caulinita e ilita, possivelmente derivadas do intemperismo químico dos feldspatos presentes nas unidades Formação Pedra de Fogo e Piauí.

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA CONTINUAÇÃO DO TRABALHO

São apresentadas as principais conclusões e sugestões resultantes do trabalho desenvolvido nesta dissertação e que podem ser aplicadas em estudos futuros do solo de Teresina-PI.

6.1 CONCLUSÕES FINAIS

Num cenário onde não existem trabalhos discorrendo sobre a geotecnia dos solos de Teresina-PI, este trabalho reúne e discute tópicos com o intuito de contribuir a este entendimento. Deve-se ressaltar que as cartas apresentadas não devem ser utilizadas para substituir as investigações geotécnicas, que são indispensáveis para quaisquer obras de engenharia. Ao contrário, as cartas têm o intuito de orientar campanhas de ensaios racionais e efetivas, contribuindo para a elaboração de projetos concisos e coerentes com a realidade. Dessa forma, as principais conclusões são:

- Pelo índice de umidade de THORNTHWAITE & MATHER (1955), o clima de Teresina é Subúmido Seco, e pelo índice hídrico de THORNTHWAITE & MATHER (1955), é Subúmido Úmido.
- Nos últimos anos a população da Cidade sofreu perdas humanas e financeiras por conta de eventos naturais extremos: enchentes, inundações, alagamentos, processos de colapsos e subsidência. Todavia, são prejuízos potencializados por ocupações urbanas desordenadas, pela falta de estudos e principalmente de informação como o correto direcionamento de uso e ocupação solo pelos habitantes do município.
- A Sondagem Mista realizada na região central (em um trecho da Rua Simplício Mendes) permitiu constatar um subsolo com areia muito fina e arenitos silificados fraturados nas primeiras camadas, presença de lençol freático com 10 metros de profundidade e as camadas mais profundas composta de argila, areia muito fina e arenitos silificados pouco fraturado em toda a extensão da investigação. A presença de areias muito finas nessa região da Cidade é uma descrição típica da litologia da unidade geológica Depósitos Aluvionares, que apesar de apresentar alta resistência em profundidades relativamente pequenas, merece atenção dos projetistas por constituir camadas de solos não-saturados, suscetíveis a desencadear solos colapsíveis na região central.

- A Amostra 01, identificada como solo colapsível é uma Areia Siltosa (SM) e a Amostra 02 identificada como solo expansivo é uma Argila com baixa compressibilidade (CL) pelo Sistema Unificado de Classificação (U.S.C). Pela classificação Highway Research Board (HRB) ou TBR, a Amostra 01 é classificada como Areia Siltosa ou Argilosa (A-2-6) (Areia Siltosa ou Argilosa) e Amostra 02 é um Solo Argiloso (A-6). A Amostra 01 têm índice de atividade de Skempton (1953) igual a 0,2, o que classifica como inativa e Amostra 02 igual 0,9, o que a classifica com Atividade Normal.
- O Solo Colapsível apresentou para a tensão de inundação de 160 kPa um potencial de colapso de 9,44 %. Pela classificação de JENNINGS e KNIGHT (1975) o solo é problemático para obras de engenharia. A microestrutura do solo colapsível é porosa, os grãos da areia apresentam forma arredonda a subangulares e são revestidos por ligações instáveis de argila (argilomineral caulinita). Constitui material originário de um Latossolo Amarelo associado a um Neossolo Quartzarênico, proveniente de depósitos recentes transportados pelas águas que foram depositados nas planícies de inundações dos rios Poty e Parnaíba.
- O ensaio de expansão “Livre” e a MEV apontaram que Teresina apresenta Solo Expansivo de média expansividade pelo critério de Vijayvergiya e Ghazzaly (1973), com potencial de expansão de 1,9 %, originário de um Argissolo Vermelho-Amarelo e litologia composta por arenitos, lentes de silexito, folhelho e argilitos.
- Apesar de influentes, a Pedologia e Geologia não são fatores únicos e decisivos na escolha do tipo de fundação na área analisada de Teresina-PI. Há uma diversidade de métodos executivos e as edificações apresentam pequena esbeltez. Há predominância de soluções em fundações superficiais correspondente às sapatas sem melhoramento. Pela análise geotécnica fica evidente a influência que os arenitos silificados exercem na prática de fundações no município.
- Teresina apresenta 16% da área total do município com média suscetibilidade de ocorrência de solos expansivos e 84 % com baixa. Corroborando com os dados da carta, no decorrer desta pesquisa, foi possível constatar a predominância de argilas de baixa e média atividade, como a caulinita e illita, porém ao sul do município, em uma área rural e ainda não habitada é possível encontrar argilominerais como a montomorilonita e vermiculita que apresentam potencial de expansão alta.

- Quanto ao colapso, Teresina apresenta uma suscetibilidade de ocorrência alta em 9% do seu território, média em 45% e baixa em 46%.
- Os pontos de afundamentos apresentados neste trabalho foram georreferenciados na Carta de Suscetibilidade de ocorrência de Solos Colapsíveis. É possível observar no Apêndice D, que estes eventos ficam em uma área de média suscetibilidade, contudo, em transição com uma região de alta, o que pode ser explicada pela interpretação das informações dos mapas fundamentais serem em pequenas escalas. Deve-se frisar, que no mapeamento realizado por JACOMINE et al. (1986b) os Latossolos Amarelos, apenas na região central do município, apresentam associação com Neossolo Quartzarênico, o que não foi identificado no mapeamento de MORAES (2004) nem no do IBGE (2019) por ser área urbana.
- As cartas elaboradas nesta pesquisa constituem importantes ferramentas de referência preliminar de identificação e orientação, contudo, não substituem, em nenhuma hipótese a elaboração de campanhas de prospecção geotécnica.

6.2 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

- Atualizar o Mapa Geológico e aumentar o nível de detalhamento com os dados dos poços profundos cadastrados no SIAGAS da CPRM.
- Incrementar o banco de dados de sondagens da Cidade com o intuito de elaborar a carta de fundação do município.
- Estudar os solos nas áreas que apresentaram alta e média suscetibilidade nas Cartas Interpretativas de Suscetibilidade a ocorrência de solos Expansivos e Colapsíveis.
- Caracterizar solos expansivos e colapsíveis em outras localidades da Cidade.
- Realizar uma ampla e integrada campanha de ensaios de campo e laboratório nos endereços de ocorrência de pontos de afundamento, assim como atualizar o banco de dados estruturado neste trabalho.
- Realizar modelagem numérica para simular o comportamento dos solos na região central de Teresina.

- Calcular o índice de esbeltez de outras edificações, assim como verificar o desempenho por meio de um sistema de monitoramento de recalques.

REFERÊNCIAS

- ALINE, R. cidadeverde.com. Casa na Zona Norte que abriu cratera será demolida. Disponível em: <<https://cidadeverde.com/noticias/288899/casa-engolida-por-cratera-e-demolida-na-zona-norte-de-teresina>>. Acesso em: 10 jan. de 2020 (2018).
- ANDRADE JÚNIOR, A.S; BASTOS, E.A; BARROS, A.H.C; SILVA, C.O; GOMES, A.A.N. Classificação climática do Estado do Piauí. Teresina: Embrapa Meio-Norte Teresina, 86p. (2004).
- ARAÚJO, A.G.D - Análise do Processo de Fissuras e do Comportamento de Estacas Granulares Ancoradas Submetidas a Secagem e Umedecimento em Solo Expansivo. Qualificação de Doutorado - Universidade Federal de Pernambuco, Recife. (2019)
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, NBR 6459, (1984a). Solo - Determinação do limite de liquidez.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, NBR 7180, (1984b). Solo - Determinação do limite de plasticidade.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, NBR 6508, (1984c). Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR-07181 (1984d) Solo - análise granulométrica. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, NBR 9604 (1986a). Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. “ABNT/ NBR 7182: solo - ensaio de adensamento unidimensional”, Rio de Janeiro, 1990.
- AMORIM, S. F. Contribuição à cartografia geotécnica: sistema de informações geográficas dos solos expansivos e colapsíveis do Estado de Pernambuco. 263p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, (2004).
- AMORIM NETO, M. da S. Balanço hídrico segundo Thornthwaite & Mather (1955). Embrapa Semiárido-Comunicado Técnico (INFOTECA-E), 1989.
- AQUINO. A.E.B; BEZERRA. R.S; FERREIRA.S.R.M. Geotechnical mapping: susceptibility to Collapsible Soils, Expansive Soils, Erosive Soils, Dispersive Soils and Soft Soils, based on the Pedology of the city of Caruaru-Pernambuco/Brazil. Anais XVI CONFERÊNCIA PANAMERICANA DE MECÂNICA DO SOLO E ENGENHARIA GEOTÉCNICA. Technical Session S4 – Unsaturated Soils. p.691-699 (2019).

ALMEIDA, R. O. de. Estudo geotécnico e análise de estabilidade da encosta bela vista no município de Ipojuca-PE. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco (2016).

BANDEIRA, A. P. N. Mapa de risco de erosão e escorregamento das encostas com ocupações desordenadas no Município de Camaragibe-PE. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco (2003).

BARRADAS, M.T. Mapeamento dos colapsos e subsidências do solo em Teresina – PI. Trabalho de Conclusão de Curso em Geoprocessamento - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí-IFPI (2010).

BARBOSA. F.A.S. Análise do comportamento hidromecânico e da dinâmica de fissuração de um solo expansivo. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco (2019)

BASTOS, C.A. B. Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados. Tese de Doutorado, UFRS, Porto Alegre. (1999).

BASTOS, E. A.; ANDRADE JUNIOR, A. S. de; MEDEIROS, R. M. de. Boletim agrometeorológico do ano de 2004 para o Município de Teresina, PI. 37 p. Teresina: Embrapa Meio-Norte. Documentos, 111 (2005).

BASTOS, E. A.; ANDRADE JUNIOR, A. S. de. Boletim Agrometeorológico do Ano de 2005 para o Município de Teresina, PI. 31p. Teresina: Embrapa Meio-Norte. Documentos, 132 (2006).

BASTOS, E. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de. Boletim agrometeorológico de 2007 para o Município de Teresina, Piauí. 37 p. Teresina: Embrapa Meio-Norte. Documentos, 181 (2008).

BASTOS, E. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de. Boletim agrometeorológico de 2008 para o Município de Teresina, PI. 37 p. Teresina: Embrapa Meio-Norte. Documentos, 200 (2009).

BASTOS, E. A.; ANDRADE JUNIOR, A. S. de. Boletim agrometeorológico de 2009 para o Município de Teresina, PI. 37 p. Teresina: Embrapa Meio-Norte. Documentos, 206 (2010).

BASTOS, E. A.; ANDRADE JUNIOR, A. S. de. Boletim Agrometeorológico de 2010 para o Município de Teresina, Piauí. 37 p. Teresina: Embrapa Meio-Norte. Documentos, 210 (2010).

BASTOS, E. A.; ANDRADE JUNIOR, A. S. de. Boletim agrometeorológico de 2011 para o Município de Teresina, Piauí. 37 p. Teresina: Embrapa Meio-Norte. Documentos, 220 (2012).

BASTOS, E. A.; ANDRADE JUNIOR, A. S. de. Boletim agrometeorológico de 2012 para o Município de Teresina, Piauí. 38 p. Teresina: Embrapa Meio-Norte. Documentos, 225 (2013).

BASTOS, E. A.; ANDRADE JUNIOR, A. S. de. Boletim agrometeorológico de 2013 para o Município de Teresina, Piauí. 38 p. Teresina: Embrapa Meio-Norte. Documentos, 228 (2014).

BASTOS, E. A.; ANDRADE JUNIOR, A. S. de. Boletim agrometeorológico de 2014 para o município de Teresina, Piauí. 38 p. Teresina: Embrapa Meio-Norte. Documentos, 236 (2015).

BASTOS, E. A.; ANDRADE JUNIOR, A. S. de. Boletim agrometeorológico de 2017 para o município de Teresina, Piauí. 34 p. Teresina: Embrapa Meio-Norte. Documentos, 250 (2018).

BORGES, A. C. L. Metodologia para avaliação do comportamento estrutural de edifícios altos em concreto armado com consideração da interação solo-estrutura. Doutorado. UFPE, Recife (2009).

BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: texto, mapas & SIG. Brasília: CPRM (2003).

BUOL, S. W.; HOLE, F. D.; MCCracken, F. D.; SOUTHARD, R. J. Soil Genesis and Classification. 2.th.ed. Ames: Iowa State University, 527p. (1997).

BURGOS, P.C; CONCIANI, W. Índices físicos, textura, consistência e classificação de solos. Solos não-saturados no contexto geotécnico, Capítulo 8. (2015).

CASTRO, B. C. de. Uso de resistividade elétrica em investigação geotécnica: o caso de Palmas-TO. tese de doutorado em geotecnia departamento de engenharia civil e ambiental - FACULDADE DE TECNOLOGIA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA (2018).

CASTRO, P.T; SILVA, S.C; AMÂNICO, L.B. Mapeamento dos Tipos de Fundações de Edificações Executadas na Cidade de Teresina-PI. XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica/ COBRAMSEG 2016. 7p (2016).

COBRADE. Classificação e Codificação Brasileira de Desastres. Disponível em: <http://www.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosDefesaCivil/ArquivosPDF/publicacoes/Cobrade_com-simbologia.pdf> Acesso em 22/12/2019.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massas e enchentes: Teresina, PI. Maio (2012).

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação: município de Teresina - PI. Rio de Janeiro. Escala 1:170.000 (2014).

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. Estudos sobre a instabilidade do terreno nos bairros Pinheiro, Mutange e Bebedouro, MACEIÓ (AL). (2019).

CHAVES, S.V. V; LOPES, W. G. R. A vulnerabilidade socioambiental em Teresina, Piauí, Brasil. *Revista Geográfica de América Central*, v. 2, p. 1-17 (2011).

CHAVES, S. V. V; ANDRADE, C. S. A incidência dos desastres naturais em Teresina, Piauí e o perfil da população vulnerável às inundações. *Caderno de Geografia*, v. 27, n. 1, p. 159-188 (2017).

CINTRA, J.C.A. Aplicações da Mecânica dos Solos Não-Saturados - Fundações em Solos Colapsíveis. *Anais 5º Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados. Sessão 4* pp. 575-593 (2004).

CRUZ, S. I. C. da. Caracterização e utilização de solos dispersivos nos aterros compactados da barragem de Sobradinho. *Dissertação de Mestrado UFOP* (2008).

DA COSTA, J. N; DA SILVA JÚNIOR, J. B; DE ARAÚJO, S. M. S. Riscos e desastres relacionados a eventos extremos (climáticos e meteorológicos) no estado da Paraíba. *Revista de Geociências do Nordeste*, v. 4, p. 110-125, 2018.

DE ALBUQUERQUE, M. M.; LOPES, W. G. Reis. Influência da vegetação em variáveis climáticas: estudo em bairros da cidade de Teresina, Piauí. *Raega-O Espaço Geográfico em Análise*, v. 36, p. 38-68 (2016).

DESSOUKY, S. H.; OH, J.; ILIAS, M.; LEE, S. I.; PARK, D. Investigation of various pavement repairs in low-volume roads over expansive soil. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, v. 29, n. 6, p.1-9, (2015).

DOS REIS FILHO, A. A. Análise integrada por geoprocessamento da expansão urbana de Teresina como base no estatuto da cidade: estudo de potencialidades, restrições e conflitos de interesses. *Tese de Doutorado UFMG* (2012).

DOS SANTOS, F. D. A. Análise da normal climatológica (mensal e anual) do município de Teresina (Piauí). *Revista CC&T/UECE do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Ceará. Fortaleza/CE*, v. 1, n.3, p. 36-44 (2019).

DUARTE, C. C. Eventos extremos de chuva e análise da suscetibilidade a movimentos de massa no município do Ipojuca-PE. *Tese de Doutorado, UFPE* (2015).

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

_____. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos (2018).

ESPINDOLA, Giovana Mira et al. Três décadas de expansão urbana e concentração populacional em Teresina, Piauí, Brasil. Revista ESPACIOS| Vol. 37 (Nº 24) (2016).

FABRÍCIO, H. Cidadeverde.com. Casa engolida por Cratera é demolida na Zona Norte de Teresina. Disponível em: < <https://cidadeverde.com/noticias/288899/casa-engolida-por-cratera-e-demolida-na-zona-norte-de-teresina>>. Acesso em: 10 jan de 2020. (2018).

FARIA JUNIOR, L. E. do C. Estudo Sedimentológico da formação Pedra de Fogo-Permiano: Bacia do Maranhão (1979).

FAÇANHA, A.C. A evolução urbana de Teresina: agentes, processos e formas espaciais na cidade. 1998. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco. Recife (1998a)

FEITOSA, M. S. S. Enchentes do rio Poti e vulnerabilidades socioambientais na cidade de Teresina-PI. Tese de Doutorado – UFPE. (2014).

FERREIRA, S. R. M. Relatório de Pesquisa de solos especiais: Colapsíveis, Dispersivos e Expansivos. Relatório Anual do CNPq, Recife-PE. 144p (1989)

FERREIRA, S. R. M.; Teixeira, D. C. L. Collapsible Soil - A Practical Case in Construction (Pernambuco - Brazil). Proc. XII Inter. Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Rio de Janeiro. Vol.1, p.603-606 (1989).

FERREIRA, S. R. M. “Colapso e expansão de solos naturais não saturados devidos à Inundação”. 379p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro (1995).

FERREIRA.S.R.M – Solos Problemáticos: influência nas estruturas de fundações. Recife (2016).

FERREIRA, S.R.M. - Notas de Aulas – Disciplina: Comportamento de solos colapsíveis e expansivos. (2019)

FONTE. A.O.C; FONTE. F.L.F; CASTILLO. A.A.H.E; PEDROSA; A.V.A.C – Características e parâmetros estruturais de edifícios de múltiplos andares em concreto armado construídos na cidade do Recife. 47º Congresso do Concreto – IBRACON. Anais pp. 274-285. Olinda-PE (2005).

FREITAS, M. L. R. A. Comportamento geomecânico de um solo colapsível de Petrolina-PE avaliado por meio de ensaios de campo e laboratório. Tese de Doutorado UFPE (2017).

GLOBO – G1 <https://g1.globo.com/pi/piaui/noticia/2019/04/06/familias-deixam-residencias-em-teresina-apos-rios-poti-e-teresina-atingirem-cota-de-inundacao.ghtml>

FUTAI. M.M – Entrevista sobre o relatório da Vale acerca das causas do acidente em Brumadinho. <https://www.abms.com.br/marcos-massao-futai-explica-questoes-geotecnicas-em-entrevista-ao-sbt/>. Acesso em 21/12/2019.

- GÓES, A. M. Formação Poti (Carbonífero inferior) da Bacia do Parnaíba. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. (1995)
- GUSMÃO FILHO, J. De A. Desempenho de obras geotécnicas. Editora Universitária UFPE (2006).
- GUSMÃO FILHO, J. De A. Solos-Da Formação Geológica ao Uso na Engenharia. Editora Universitária UFPE (2016)
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Banco de Dados de Informações Ambientais. <<https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/home>> Acesso em janeiro de (2019).
- JACOMINE. P.K.T - A NOVA CLASSIFICAÇÃO BRASILEIRA DE SOLOS. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco. Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica, vols. 5 e 6, p.161-179, (2008-2009).
- JACOMINE, P. K. T (Coord.) Levantamento exploratório reconhecimento de solos do Estado do Piauí. Volume 2. Rio de Janeiro: EMBRAPASNLCS/ SUDENE-DRN (1986a).
- JACOMINE, P. K. T (Coord.). Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Piauí. Volume 1. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS/SUDENE-DRN (1986b).
- JACOMINE, P. K. T(Coord.). Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Piauí. Mapa, escala 1:1.000.000. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS/SUDENE-DRN (1986c).
- JENNINGS, J. E. & KNIGHT, K. A Guide to Construction on or with Materials Exhibiting Additional Settlement Due to a Collapse of Grain Structure. Proced. IV Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Durban, p. 99-105. (1975).
- KRISHNAN, A. Agroclimatic classification methods and their application to India. In: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics: Climatic classification: a consultants' meeting, pp. 59-88 (1980).
- LAGO, A.L; BORGES, W.R.; AMARAL, E.S. BARROS, J.S.- Determinação do padrão de reflexão do GPR em estruturas de colapso (sinkholes) na cidade de TERESINA-PI – Resumo 49º Congresso Brasileiro de Geologia – Rio de Janeiro (2018).
- LEPSCH, Igo F. 19 lições de pedologia. Oficina de textos (2016).
- LIMA, I.M.M.F. O relevo de Teresina, PI: compartimentação e dinâmica atual. ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM GEOGRAFIA, v. 9, (2011).

LINS, C. N., SILVA, L., GUIMARÃES, A., LIMA, I., GOMES, S.- Numerical and Experimental Analysis of Horizontal Stress Changes and Soil Collapse During Chemical Dissolution in a Modified Oedometer Cell. *Soils and Rocks*, São Paulo, 39(1): 19-27, January-April (2016).

LOPES, L. S. O.; SILVA, A. C.; SILVA, J. C. B. RISCOS GEOLÓGICOS: EVENTOS DE SUBSIDÊNCIAS NO MUNICÍPIO DE TERESINA-PI. *REVISTA GEONORTE*, v. 5, n. 19, p. 197-201 (2014).

MAHLER, C. F. Análise de obras assentes em solos colapsáveis e expansivos. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro (1994).

MARCELO, J.; COSTA, C. g1.globbo.com. Parte da avenida Raul Lopes é interditada. <<https://g1.globo.com/pi/piaui/noticia/2018/12/06/parte-da-av-raul-lobes-e-interditada-apos-buraco-se-abrir-na-zona-leste-de-teresina-gh.html>>. Acesso em 5 jan 2020. (2018)

MARAGON, M. – Notas de Aula – Unidade 01: Introdução a Geotecnia de Fundações – Universidade Federal de Juiz de Fora. 14p (2018).

MEDEIROS, S., MATOS, K., LOPES, W. (2018). ANÁLISE DOS TRAÇADOS DO PERÍMETRO URBANO DE TERESINA, PIAUÍ, BRASIL. *Cadernos Zygmunt Bauman*, - Editora EDUFMA - ISSN 2236-4099 - vol. 8, num. 18 (2018).

MEIRELES M. R. Estudo faciológico das formações Longá e Poti (Famenniano e Tournasiano), na região de Floriano, Oeste do Estado do Piauí. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco (2003).

MELO, F. de B.; DE ANDRADE JUNIOR, A. S.; PESSOA, BL de O. Levantamento, zoneamento e mapeamento pedológico detalhado da área experimental da Embrapa Meio-Norte em Teresina, PI. *Embrapa Meio-Norte-Documents (INFOTECA-E)* (2014)

MENDES, I. L. F; DOS REIS FILHO, A. A; DE ESPINDOLA, G. M. Uso do SIG na delimitação e mapeamento das áreas de preservação permanente do rio Poti (Teresina/PI). *Brazilian Journal of Development*, v. 5, n. 1, p. 864-875 (2018).

MORAES, A. M. de. Capacidade de uso da terra no município de Teresina: elementos para uma política de conservação dos recursos naturais. Dissertação (Mestrado) - Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Universidade Federal do Piauí (2004).

MORANDINI, A. L. L. On the Compatibility and Theoretical Equations for Mixtures of Tropical Soils and Bentonite for Barrier Purposes T.L.C *Soils and Rocks*, São Paulo, 41(3): 345-357, September-December (2018).

MIRANDA, E. E. de. **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>> Acesso em: 11 Set. 2019.

- NETO, J.B.L; SILVA FILHO, F.C; LOPES, C.P.A. Análise numérica de solos não saturados colapsíveis: aplicação em uma pequena barragem de terra experimental. Revista Geotecnia nº 144 – novembro – pp. 05-19 (2018).
- NOGUEIRA, L. L. F., ESPINDOLA, G., DA COSTA CARNEIRO, E. L. N. Análise da ocupação urbana na zona centro-norte de Teresina: Considerações sobre a região do Encontro dos Rios. Revista Equador, 5(3), 25-42. (2016)
- OLIVEIRA, S.J.C et.al. Solo expansivo de fundação: estudo de caso de uma moradia popular em Picos-PI. Anais XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 7p. (2018)
- OLIVEIRA. F.F E DE; ARAÚJO. R.C. Uso de parâmetros geotécnicos como indicadores da erodibilidade de solos. Geotecnia nº 142 – março pp. 63-75 Geotecnia Sociedade Portuguesa de Geotecnia (2018)
- OLIVEIRA JÚNIOR, A. I., MARTINS, E. S., DA COSTA, C. T. F., & CALDAS, H. F. M. Análise da precipitação e determinação de equações de chuvas intensas para o município de Crato-CE situado no semiárido do Brasil. Revista GEAMA – Ciências Ambientais e Biotecnologia Scientific Journal of Environmental Sciences and Biotechnology ISSN: 2447-0740 p. 56-65 (2019).
- PAIVA, S. C. de. Estudo do comportamento Geomecânico dos solos expansivos dos Municípios de Cabrobó, Paulista e Ipojuca-PE e de suas misturas com cal. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco (2016).
- PROJETO RADAM. Levantamento de recursos naturais- Geologia, geomorfologia, solos, vegetação, uso potencial da terra. SB.23. Teresina e parte da folha SB.24 Jaguaribe. Rio de Janeiro, Ministério de Minas e Energia (MME), Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), Rio de Janeiro. Conservação da Biodiversidade na Amazônia Brasileira (1973).
- PEREIRA, E. M. Estudo do comportamento à expansão de materiais sedimentares da Formação Guabirotuba em ensaios com sucção controlada. São Carlos. Tese de Doutorado em Engenharia Geotécnica – USP – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (2004).
- ROQUE.A. J - Ambiente e sustentabilidade: desafios e perspectivas para a Geotecnia – Revista Geotecnia nº 143, 2018 – pp. 55-83 - Sociedade Portuguesa de Geotecnia (2018).
- ROSS, J. L. S. Geografia do Brasil. 4a. edição. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo (2003).
- SANTOS, A. R. Geologia de Engenharia: conceitos, método e prática. São Paulo: ABGE, Publicação IPT, v. 2797, (2008).

SANTOS, Mariana Rodrigues Oliveira dos et al. Técnicas de geoprocessamento na análise microclimática da cidade de Teresina-Piauí (2017).

SANTOS, F.A. dos. Análise da normal climatológica (mensal e anual) do município de teresina (Piauí). Revista CC&T/UECE do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Ceará. Fortaleza/CE, v. 1, n.3, p. 36-44 (2019).

SANTOS. D.S, C. M.de DRUMOND M. A., FERREIRA.S.RM. Avaliação de Suscetibilidade à Ocorrência de Solos Expansivos e Colapsíveis no estado de Sergipe com base na PEDOLOGIA. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 20., Campinas, 2020. Anais... Campinas: ABMS, 2020. No prelo. (2020)

SCHULZE, T. Análise da capacidade de carga de estaca escavada instrumentada de pequeno diâmetro por meio de métodos semi-empíricos. 136p.Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas. SP (2013).

SEAMPLAM. Secretária Municipal de Planejamento e Coordenação.

<<https://pmt.pi.gov.br/2019/10/09/teresina-sera-palco-de-meia-maratona-em-novembro/>> Acesso em dezembro de 2019.

_____ Panorama Municipal de Teresina.<<https://semplan.teresina.pi.gov.br/wp-content/uploads/sites/39/2019/08/Teresina-Panorama-Municipal-julho-2019.pdf>> Acesso em agosto de 2019.

SIAGAS. Sistema de Informações de Águas Subterrâneas/CPRM

<<http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>> Acesso em agosto de 2019.

SILVA, M. J. R. Comportamento Geomecânico de solos colapsíveis e expansivos em Petrolina-PE: Cartas de Suscetibilidade. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, 124p (2003).

SILVA, D. J. da. Mapa de risco de deslizamento e erosão em encostas com ocupações desordenadas no município de Abreu e Lima-PE. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco (2016).

SILVA, A. S., Neto, A. A. A., Oliveira, L. N. O estudo do processo de verticalização da Zona Leste de Teresina-PI. REVISTA EQUADOR, pg - 173-188 (2014).

SILVA, G. R. D. Expansão urbana na Rida da Grande Teresina: os efeitos territoriais da política habitacional do Programa Minha Casa, Minha Vida (Master's thesis, Brasil). Dissertação Mestrado UFRN (2019).

SILVA, A.C.; AQUINO, A.E.B.; ALVES, D.S.; FERREIRA, S.R.M. Avaliação do potencial expansivo e colapsível de solos do Nordeste brasileiro por meio de métodos diretos e indiretos. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 20., Campinas, Anais... Campinas: ABMS, 2020. No prelo. (2020)

SILVA, T. C. R. Avaliação do comportamento hidromecânico e do processo de propagação de fissura de solo expansivo do município de Bonito - PE. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco (2019).

SILVEIRA, A. L. R. C. Parâmetros bioclimáticos para avaliação de conjuntos habitacionais na região tropical subúmida do Brasil. Tese (doutorado)—Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (2007).

SOUZA, A. P., MOTA, L. L., ZAMADEI, T., MARTIN, C. C., ALMEIDA, F. T., & PAULINO, J. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso. Revista Nativa, Sinop, v. 01, n. 01, p.34-43, out./dez., Pesquisas Agrárias e Ambientais (2013).

SOUZA NETO, J. B. Comportamento de um solo colapsível avaliado a partir de ensaios de laboratório e campo, e previsão de recalques devidos à inundação (colapso). [Rio de Janeiro] 376p (2004).

TEIXEIRA, M. L. G; DE BARROS C. Teresina [PI]: A Capital Planejada e sua indústria (1850-1920). Labor E Engenho, v. 12, n. 3, p. 359-377 (2018).

TERESINA. Prefeitura Municipal de Teresina. Teresina: PANAROMA MUNICIPAL. Teresina: SEMPLAN. Julho, 2019. Disponível em: < <https://semplan.teresina.pi.gov.br/wp-content/uploads/sites/39/2019/08/Teresina-Panorama-Municipal-julho-2019.pdf>>. Acesso em: 22/09/2019.

TERESINA. Legislação urbana de Teresina. Lei N° 2.264, Lei N° 2.265, Lei N° 2.266, Diário Oficial do Município de Teresina (1993).

TORRES, F. S. de M. Carta de suscetibilidade a movimentos de massa e erosão do município de Ipojuca, PE. Dissertação de Mestrado Universidade Federal de Pernambuco, 106p (2014).

THOMÉ, A - Estudo do comportamento de um solo mole tratado com cal, visando seu uso em fundações superficiais. Dissertação de mestrado, Porto Alegre, 168p (1994).

VIANA, B.A. da S. - O sentido da cidade: entre a evolução urbana e o processo de verticalização. CARTA CEPRO. Teresina - PI p.8.

VIANA, B.A da S. Caracterização estratigráfica, química e mineralógica do massará e conflitos socioambientais associados à sua exploração em Teresina, PI, Brasil. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Geografia) -Programa de Pós-graduação em Geografia do Instituto de Geociências-Universidade Federal de Minas Gerais (2013).

VIJAYVERGIYA, V. N. e GHAZZALY, O. I. Prediction of Swelling Potencial for Natural Clays. Proceedings of the 3rd International Conference on Expansive Solis, Hayfa, Vol. 1, pp. 227-236 (1973).

VILAR, O. M.; FERREIRA, S. R. M. Solos colapsíveis e expansivos. Solos não saturados no contexto geotécnico, v. 1, Capítulo 15 (2015).

VILLALBA, N. M. K. Durabilidade, rigidez e análise do ciclo de vida de um solo dispersivo estabilizado com cal. Dissertação de Mestrado, UFRGS, 154p (2015).

ZUQUETTE, L. V. Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para condições brasileiras. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo (1987).

APÊNDICE A.1 - INFORMAÇÕES DAS 134 EDIFICAÇÕES

OBRA	X	Y	TIPO	FUNDAÇÃO	GEOLOGIA	PEDOLOGIA	ESBELTEZ
1	743534,66	9433813,01	SUPERFICIAIS	SAPATA C/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
2	744469,77	9430854,80	PROFUNDAS	PRÉ-MOLDADA DE CONCRETO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
3	744990,17	9438842,34	SUPERFICIAIS	RADIER	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
4	745205,96	9438872,33	SUPERFICIAIS	SAPATA ESTAQUEADA	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	MÉDIA
5	744248,59	9438969,07	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
6	744289,11	9438976,93	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
7	744259,38	9438919,17	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
8	744908,01	9438376,30	PROFUNDAS	HÉLICE CONTÍNUA	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	MÉDIA
9	744947,27	9438385,70	PROFUNDAS	HÉLICE CONTÍNUA	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	MÉDIA
10	744989,64	9438688,70	SUPERFICIAIS	SAPATA ESTAQUEADA	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	MÉDIA
11	744793,98	9438066,71	PROFUNDAS	PRÉ-MOLDADA DE CONCRETO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
12	744840,75	9438078,94	PROFUNDAS	PRÉ-MOLDADA DE CONCRETO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
13	745940,39	9437394,86	PROFUNDAS	ESTACA METÁLICA	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
14	744986,07	9437643,95	PROFUNDAS	HÉLICE CONTÍNUA	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	SEM INFORMAÇÃO
15	745878,45	9437302,89	PROFUNDAS	PRÉ-MOLDADA DE CONCRETO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	SEM INFORMAÇÃO

16	745948,13	9439753,64	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
17	746008,53	9439742,64	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
18	746657,30	9439789,22	PROFUNDAS	TUBULÃO A CÉU ABERTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
19	746626,80	9439881,51	PROFUNDAS	TUBULÃO A CÉU ABERTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
20	746541,78	9439815,03	PROFUNDAS	TUBULÃO A CÉU ABERTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
21	746561,42	9439855,76	PROFUNDAS	TUBULÃO A CÉU ABERTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
22	746564,86	9439789,53	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
23	745886,03	9439515,30	SUPERFICIAL E PROFUNDA	SAPATA E ESTACA RAIZ	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
24	746316,25	9439175,82	PROFUNDAS	HÉLICE CONTÍNUA	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
25	747306,06	9440278,65	PROFUNDAS	FRANKI	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
26	749030,12	9439842,50	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	SEM INFORMAÇÃO
27	746079,33	9438121,34	SUPERFICIAIS	SAPATA ESTAQUEADA	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
28	746131,38	9438422,96	PROFUNDAS	RAIZ	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
29	746184,64	9438435,17	PROFUNDAS	RAIZ	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
30	746375,56	9438499,59	PROFUNDAS	RAIZ	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
31	745883,09	9438654,92	PROFUNDAS	RAIZ	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
32	744373,30	9438660,07	PROFUNDAS	METÁLICA E RAIZ	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA

33	747932,44	9439440,49	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
34	747932,96	9439417,71	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
35	747934,24	9439392,70	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
36	747935,20	9439371,30	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
37	747936,25	9439348,98	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
38	747973,84	9439436,98	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
39	747973,93	9439414,89	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
40	747976,13	9439390,98	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
41	747977,05	9439367,44	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
42	747976,55	9439344,48	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
43	748006,30	9439438,62	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
44	748007,47	9439416,07	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
45	748008,81	9439390,36	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
46	748009,70	9439369,66	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
47	748009,65	9439345,01	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
48	748043,31	9439439,39	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
49	748043,83	9439419,84	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA

50	748045,75	9439391,96	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
51	748045,00	9439368,00	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
52	748046,77	9439342,77	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
53	747395,96	9439540,85	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
54	747965,67	9437554,68	PROFUNDAS	HÉLICE CONTÍNUA	PIAUÍ	ARGISSOLO VERMELHO- AMARELO	PEQUENA
55	747974,36	9437596,72	PROFUNDAS	HÉLICE CONTÍNUA	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
56	747964,98	9437628,83	PROFUNDAS	HÉLICE CONTÍNUA	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
57	747953,28	9437649,93	PROFUNDAS	HÉLICE CONTÍNUA	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
58	747961,48	9437669,65	PROFUNDAS	HÉLICE CONTÍNUA	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
59	749951,32	9438917,43	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	ARGISSOLO VERMELHO- AMARELO	PEQUENA
60	746871,51	9439358,28	SUPERFICIAL E PROFUNDA	SAPATA E TUBULÃO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
61	745854,48	9439300,31	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
62	746067,12	9438408,46	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
63	746222,23	9438715,21	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
64	745503,33	9435737,03	PROFUNDAS	TUBULÃO A CÉU ABERTO	DEPÓSITOS ALUVIONARES	LATOSSOLO AMARELO	SEM INFORMAÇÃO
65	751421,40	9436361,75	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA

66	751421,51	9436392,00	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
67	744355,22	9433374,90	PROFUNDAS	TUBULÃO A CÉU ABERTO	PEDRA DE FOGO	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
68	745875,19	9440129,91	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
69	746010,02	9439729,98	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
70	745886,77	9439730,40	SUPERFICIAIS	RADIER	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
71	747296,43	9437482,37	PROFUNDAS	TUBULÃO A CÉU ABERTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
72	745990,31	9440144,20	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
73	747519,05	9440092,01	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
74	747933,58	9443085,51	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
75	745252,22	9438719,94	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
76	749767,18	9439133,17	SUPERFICIAL E PROFUNDA	SAPATA E TUBULÃO	PIAUÍ	ARGISSOLO VERMELHO- AMARELO	PEQUENA
77	749628,92	9439134,48	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	ARGISSOLO VERMELHO- AMARELO	PEQUENA
78	746352,55	9437248,27	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
79	748592,14	9439368,35	SUPERFICIAIS	SAPATA C/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
80	745978,16	9439422,80	SUPERFICIAL E PROFUNDA	SAPATA E ESTACA MOLDADA IN LOCO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA

81	749486,70	9438666,13	SUPERFICIAIS	SAPATA C/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	ARGISSOLO VERMELHO- AMARELO	PEQUENA
82	749343,00	9438514,00	SUPERFICIAIS	SAPATA C/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	ARGISSOLO VERMELHO- AMARELO	PEQUENA
83	749300,88	9438717,59	SUPERFICIAIS	SAPATA C/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	ARGISSOLO VERMELHO- AMARELO	PEQUENA
84	74798521,00	9435881,19	SUPERFICIAIS	SAPATA C/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
85	748007,51	9435882,57	SUPERFICIAIS	SAPATA C/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
86	748030,37	9435882,98	SUPERFICIAIS	SAPATA C/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
87	748052,82	9435884,37	SUPERFICIAIS	SAPATA C/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
88	748076,41	9435881,41	SUPERFICIAIS	SAPATA C/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
89	748099,82	9435886,60	SUPERFICIAIS	SAPATA C/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
90	747989,28	9435850,45	SUPERFICIAIS	SAPATA C/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
91	748010,46	9435850,82	SUPERFICIAIS	SAPATA C/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
92	748036,12	9435849,93	SUPERFICIAIS	SAPATA C/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
93	748057,07	9435850,74	SUPERFICIAIS	SAPATA C/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
94	748079,81	9435851,17	SUPERFICIAIS	SAPATA C/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
95	748101,98	9435852,61	SUPERFICIAIS	SAPATA C/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
96	747993,54	9435817,00	SUPERFICIAIS	SAPATA C/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA

97	748014,66	9435817,51	SUPERFICIAIS	SAPATA C/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
98	748052,05	9435816,99	SUPERFICIAIS	SAPATA C/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
99	748073,97	9435818,12	SUPERFICIAIS	SAPATA C/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
100	747996,45	9435784,81	SUPERFICIAIS	SAPATA C/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
101	748019,87	9435785,14	SUPERFICIAIS	SAPATA C/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
102	748056,88	9435785,22	SUPERFICIAIS	SAPATA C/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
103	748077,91	9435785,72	SUPERFICIAIS	SAPATA C/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
104	748001,80	9435751,19	SUPERFICIAIS	SAPATA C/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
105	748024,75	9435751,78	SUPERFICIAIS	SAPATA C/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
106	748061,20	9435753,39	SUPERFICIAIS	SAPATA C/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
107	748082,35	9435753,35	SUPERFICIAIS	SAPATA C/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
108	748005,58	9435718,96	SUPERFICIAIS	SAPATA C/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
109	748028,64	9435719,08	SUPERFICIAIS	SAPATA C/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
110	748063,13	9435720,28	SUPERFICIAIS	SAPATA C/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
111	748084,37	9435720,60	SUPERFICIAIS	SAPATA C/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
112	744995,44	9439313,83	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
113	746323,71	9439587,36	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA

114	744302,01	9437409,70	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
115	748720,29	9439351,91	PROFUNDAS	TUBULÃO A CÉU ABERTO C/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
116	746671,04	9439685,42	SUPERFICIAIS	SAPATA C/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
117	745299,00	9439570,04	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
118	745559,37	9438820,69	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
119	745421,12	9439776,58	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
120	747487.36	9440338.76	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
121	747503.48	9440371.66	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
122	747501.57	9440414.78	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
123	747441.99	9440427.50	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
124	745406,90	9439828,39	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
125	745363,05	9437784,67	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
126	745391,44	9439468,43	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
127	745386,90	9439508,27	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUÍ	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
128	745194,38	9435492,26	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	DEPÓSITOS ALUVIONARES	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
129	745194,48	9435522,99	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	DEPÓSITOS ALUVIONARES	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
130	745194,59	9435553,72	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	DEPÓSITOS ALUVIONARES	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA

131	745194,69	9435584,45	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	DEPÓSITOS ALUVIONARES	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
132	744346,77	9439920,02	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUI	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
133	743694,08	9438262,00	SUPERFICIAIS	SAPATA S/ MELHORAMENTO	PIAUI	LATOSSOLO AMARELO	PEQUENA
134	743725,31	9438385,00	SUPERFICIAL E PROFUNDA	SAPATA E TUBULÃO	PIAUI	LATOSSOLO AMARELO	SEM INFORMAÇÃO

APÊNDICE A.2 - CÁLCULO DO ÍNDICE DE ESBLETEZ DAS 134 EDIFICAÇÕES

EDIFICAÇÃO	PAVIMENTOS	ALTURA TOTAL DA EDIFICAÇÃO (H)	LX (M)	LY (M)	LXY MÉDIO (M)	BXY	ESBELTEZ
1	1	3	70	52	61	0,0	PEQUENA
2	1	3	119	15	67	0,0	PEQUENA
3	20	60	31	26	28,5	2,1	PEQUENA
4	22	66	20	14	17	4	MÉDIA
5	10	30	24	21	22,5	1,3	PEQUENA
6	10	30	24	21	22,5	1,3	PEQUENA
7	10	30	24	21	22,5	1,3	PEQUENA
8	27	81	28	13	20,5	4,0	MÉDIA
9	27	81	30	15	22,5	4	MÉDIA
10	21	63	16	19	17,5	4	MÉDIA
11	14	42	24	26	25	1,7	PEQUENA
12	22	66	24	26	25	2,6	PEQUENA
13	18	54	25	26	25,5	2,1	PEQUENA
14	2	6	-	-	-	-	SEM INFORMAÇÃO
15	2	6	-	-	-	-	SEM INFORMAÇÃO
16	16	48	42	14	28	1,7	PEQUENA
17	16	48	42	14	28	1,7	PEQUENA
18	24	72	25	20	22,5	3,2	PEQUENA
19	23	69	25	19	22	3,1	PEQUENA
20	18	54	36	22	29	1,9	PEQUENA
21	18	54	36	22	29	1,9	PEQUENA
22	16	48	35	20	27,5	1,7	PEQUENA
23	18	54	18	42	30	1,8	PEQUENA
24	20	60	32	32	32	1,9	PEQUENA
25	15	45	36	20	28	1,6	PEQUENA
26	-	-	-	-	-	-	SEM INFORMAÇÃO
27	24	72	60	23	41,5	1,7	PEQUENA
28	21	63	35	27	31	2,0	PEQUENA
29	21	63	35	27	31	2,0	PEQUENA
30	28	84	55	25	40	2,1	PEQUENA
31	19	57	26	26	26	2,2	PEQUENA
32	18	54	72	40	56	1,0	PEQUENA
33	4	12	13	18	15,5	0,8	PEQUENA
34	4	12	13	18	15,5	0,8	PEQUENA
35	4	12	13	18	15,5	0,8	PEQUENA
36	4	12	13	18	15,5	0,8	PEQUENA

37	4	12	13	18	15,5	0,8	PEQUENA
38	4	12	13	18	15,5	0,8	PEQUENA
39	4	12	13	18	15,5	0,8	PEQUENA
40	4	12	13	18	15,5	0,8	PEQUENA
41	4	12	13	18	15,5	0,8	PEQUENA
42	4	12	13	18	15,5	0,8	PEQUENA
43	4	12	13	18	15,5	0,8	PEQUENA
44	4	12	13	18	15,5	0,8	PEQUENA
45	4	12	13	18	15,5	0,8	PEQUENA
46	4	12	13	18	15,5	0,8	PEQUENA
47	4	12	13	18	15,5	0,8	PEQUENA
48	4	12	13	18	15,5	0,8	PEQUENA
49	4	12	13	18	15,5	0,8	PEQUENA
50	4	12	13	18	15,5	0,8	PEQUENA
51	4	12	13	18	15,5	0,8	PEQUENA
52	4	12	13	18	15,5	0,8	PEQUENA
53	20	60	32	25	28,5	2,1	PEQUENA
54	12	36	19	38	28,5	1,3	PEQUENA
55	12	36	19	38	28,5	1,3	PEQUENA
56	12	36	19	38	28,5	1,3	PEQUENA
57	12	36	19	38	28,5	1,3	PEQUENA
58	12	36	19	38	28,5	1,3	PEQUENA
59	6	18	39	16	27,5	0,7	PEQUENA
60	16	48					SEM INFORMAÇÃO
61	18	54	22	27	24,5	2,2	PEQUENA
62	14	42	27	30	28,5	1,5	PEQUENA
63	15	45	25	26	25,5	1,8	PEQUENA
64	2	6	-	-	-	-	SEM INFORMAÇÃO
65	4	12	15	17	16	0,8	PEQUENA
66	4	12	15	17	16	0,8	PEQUENA
67	3	9	31	36	33,5	0,3	PEQUENA
68	5	15	22	18	20	0,8	PEQUENA
69	6	18	19	21	20	0,9	PEQUENA
70	4	12	23	16	19,5	0,6	PEQUENA
71	5	15	46	15	30,5	0,5	PEQUENA
72	5	15	28	11	19,5	0,8	PEQUENA
73	8	24	25	55	40	0,6	PEQUENA
74	10	30	37	18	27,5	1,1	PEQUENA
75	18	54	26	40	33	1,6	PEQUENA
76	16	48	35	18	26,5	1,8	PEQUENA
77	19	57	35	18	26,5	2,2	PEQUENA
78	8	24	18	10	14	1,7	PEQUENA
79	4	12	23	17	20	0,6	PEQUENA
80	17	51	30	20	25	2,0	PEQUENA

81	4	12	23	17	20	0,6	PEQUENA
82	4	12	19	15	17	0,7	PEQUENA
83	4	12	18	17	17,5	0,7	PEQUENA
84	4	12	17	10	13,5	0,9	PEQUENA
85	4	12	17	10	13,5	0,9	PEQUENA
86	4	12	17	10	13,5	0,9	PEQUENA
87	4	12	17	10	13,5	0,9	PEQUENA
88	4	12	17	10	13,5	0,9	PEQUENA
89	4	12	17	10	13,5	0,9	PEQUENA
90	4	12	17	10	13,5	0,9	PEQUENA
91	4	12	17	10	13,5	0,9	PEQUENA
92	4	12	17	10	13,5	0,9	PEQUENA
93	4	12	17	10	13,5	0,9	PEQUENA
94	4	12	17	10	13,5	0,9	PEQUENA
95	4	12	17	10	13,5	0,9	PEQUENA
96	4	12	17	10	13,5	0,9	PEQUENA
97	4	12	17	10	13,5	0,9	PEQUENA
98	4	12	17	10	13,5	0,9	PEQUENA
99	4	12	17	10	13,5	0,9	PEQUENA
100	4	12	17	10	13,5	0,9	PEQUENA
101	4	12	17	10	13,5	0,9	PEQUENA
102	4	12	17	10	13,5	0,9	PEQUENA
103	4	12	17	10	13,5	0,9	PEQUENA
104	4	12	17	10	13,5	0,9	PEQUENA
105	4	12	17	10	13,5	0,9	PEQUENA
106	4	12	17	10	13,5	0,9	PEQUENA
107	4	12	17	10	13,5	0,9	PEQUENA
108	4	12	17	10	13,5	0,9	PEQUENA
109	4	12	17	10	13,5	0,9	PEQUENA
110	4	12	17	10	13,5	0,9	PEQUENA
111	4	12	17	10	13,5	0,9	PEQUENA
112	21	63	20	26	23	2,7	PEQUENA
113	13	39	21	23	22	1,8	PEQUENA
114	17	51	21	29	25	2,0	PEQUENA
115	4	12	22	16	19	0,6	PEQUENA
116	4	12	25	16	20,5	0,6	PEQUENA
117	19	57	30	25	27,5	2,1	PEQUENA
118	15	45	24	23	23,5	1,9	PEQUENA
119	16	48	12	29	20,5	2,3	PEQUENA
120	6	18	42	19	30,5	0,6	PEQUENA
121	6	18	18	19	18,5	1,0	PEQUENA
122	6	18	42	19	30,5	0,6	PEQUENA
123	6	18	42	19	30,5	0,6	PEQUENA
124	14	42	10	35	22,5	1,9	PEQUENA
125	6	18	22	18	20	0,9	PEQUENA

126	17	51	32	16	24	2,1	PEQUENA
127	19	57	38	14	26	2,2	PEQUENA
128	4	12	37	18	27,5	0,4	PEQUENA
129	4	12	37	18	27,5	0,4	PEQUENA
130	4	12	37	18	27,5	0,4	PEQUENA
131	4	12	37	18	27,5	0,4	PEQUENA
132	20	60	57	28	42,5	1,4	PEQUENA
133	15	45	36	20	28	1,6	PEQUENA
134	6	18	-	-	-	-	SEM INFORMAÇÃO

APÊNDICE B.1 - SÍNTESE DAS AMOSTRAS E MINERAIS CARACTERIZADOS.

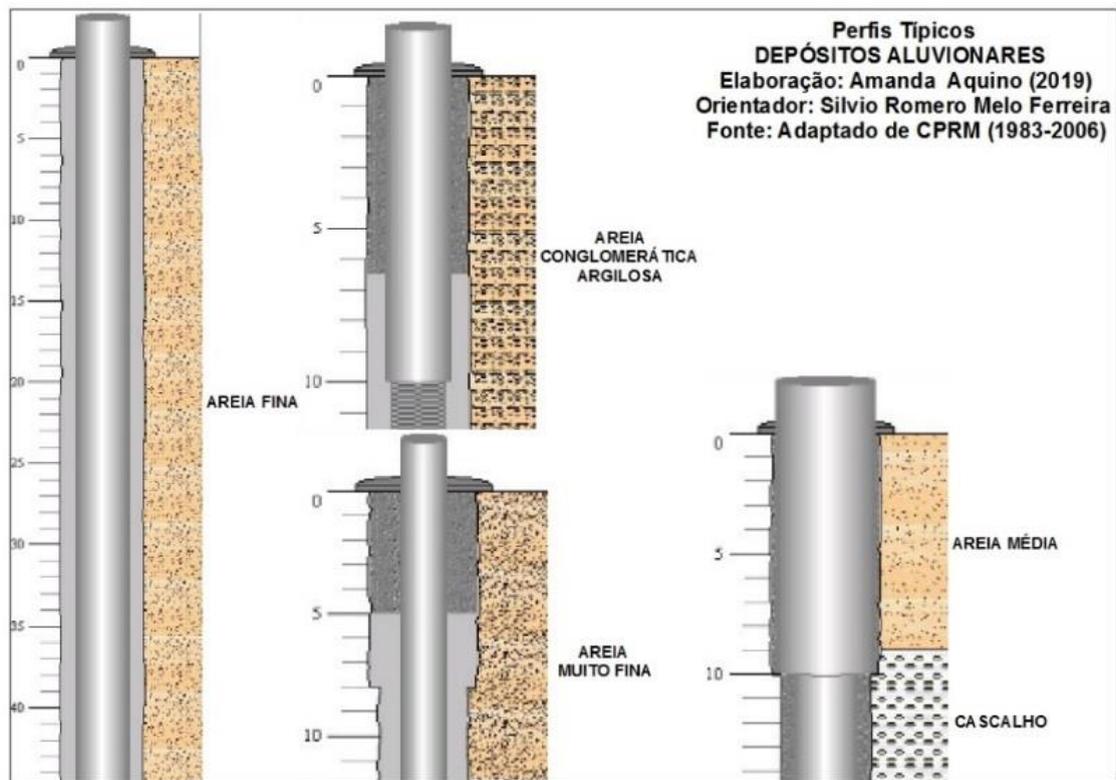
CARACTERIZAÇÃO DOS ARGILOMINERAIS DE TERESINA-PI					
COORDENADAS		ARGILOMINERAIS	MOTIVAÇÃO	ENSAIO	FONTE
UTM_E	UTM_N				
748755	9430775	ILITA	CARACTERIZAÇÃO SOLO EXPANSIVO	MEV	AQUINO (2020)
743269	9438157	CAULINITA	CARACTERIZAÇÃO SOLO COLAPSÍVEL	MEV	AQUINO (2020)
763449	9439054	CAULINITA	OPERAÇÃO DE CAMPO DA EQUIPE DE GEOLOGIA DA DIGEO/N.	sem informação*	IBGE(199?)
755600	9428675	ILITA	AVALIAÇÃO DE DEPÓSITO MINERAIS PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL TERESINA	ANÁLISE TERMODIFERENCIAL	CPRM (1996)
746700	9431050	ILITA, CAULINITA COM INTERSTÍCIO DE MONTMORILONITA			
749350	9420250	ILITA, CAULINITA COM INTERSTÍCIO DE MONTMORILONITA			
751675	9451175	CAULINITA			
758785	9415900	MONTMORILONITA E ILITA			
747324.43	9434001.03	CAULINITA	CARACTERIZAÇÃO DO MASSARÁ EM TERESINA	DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X	VIANA (2013)
741308.01	9448057.69	CAULINITA		DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X	

APÊNDICE B.2 - QUADRO DOS POÇOS: ENDEREÇO, COORDENADAS GEOGRÁFICAS E UNIDADE GEOLÓGICAS ESTUDADOS NA PESQUISA.

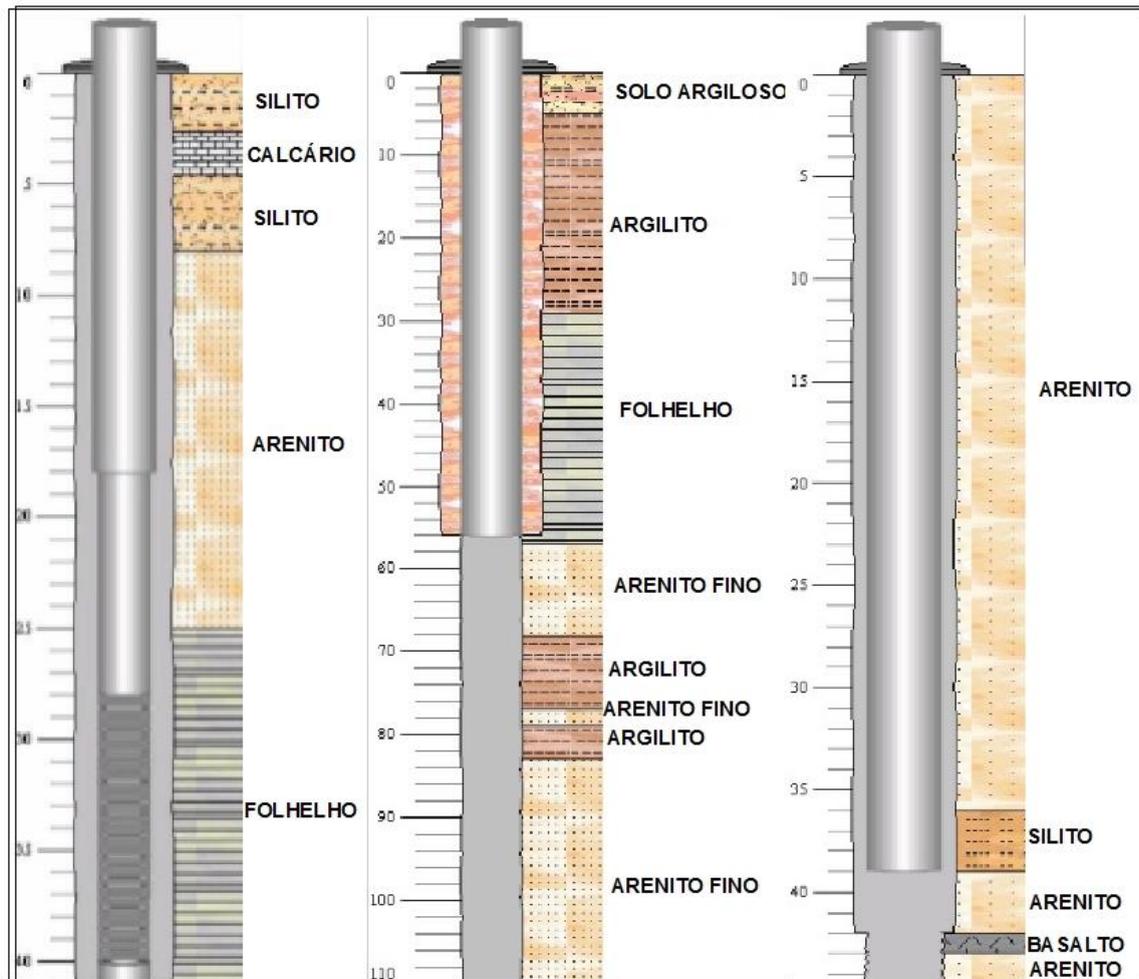
POÇO	UTM	UTM	UNIDADE GEOLÓGICA
SEDE - RUA DAVID CALDAS	743000,00	9437100,00	PIAUÍ
SEDE - CONDOMINIO BERVELY HILLS	743800,00	9438100,00	PIAUÍ
SEDE - PICARREIRA	747100,00	9440400,00	PIAUÍ
BAIRRO BUENOS AIRES	743050,00	9442120,00	PIAUÍ
RUA ALEXANDRE GOMES S/N-	744100,00	9443200,00	PIAUÍ
SANTA MARIA DA CODIPI	740220,00	9444220,00	PIAUÍ
BAIRRO BUENOS AIRES	743050,00	9442120,00	PIAUÍ
AVENIDA ZEQUINHA FREIRE	749741,00	9440115,00	PIAUÍ
Parque Brasil	740731,00	9445861,00	PIAUÍ
SEDE MUNICIPAL - ESTÁDIO ALBERTÃO	744636,00	9433956,00	PIAUÍ
ESTÁDIO ALBERTÃO	744666,00	9434048,00	PIAUÍ
RUA QUINTINO BOCAIUVA	742675,00	9437312,00	PIAUÍ
RUA ALVARO MENDES	742211,00	9436760,00	PIAUÍ
AVENIDA FREI SERAFIM	743599,00	9437423,00	PIAUÍ
AVENIDA MAR.CASTELO BRANCO 1271	744300,00	9437000,00	PIAUÍ
MERCADO DA PIÇARRA	744089,00	9436324,00	PIAUÍ
GRUPO ESCOLAR AV.HIGINO CUNHA	743627,00	9436356,00	PIAUÍ
RUA GABRIEL FERREIRA	742796,00	9436728,00	PIAUÍ
SEDE CAMPESTRE CLUBE DIARIOS	744744,00	9438657,00	PIAUÍ
DIOCESANO	742118,00	9436484,00	PIAUÍ
RUA RUI BARBOSA	742120,00	9437129,00	PIAUÍ
SANTA TERESA	761758,00	9448615,00	PIAUÍ
			PIAUÍ
POVOADO TABOCAS	755635,00	9451341,00	PIAUÍ
			PIAUÍ
SOINHO	751459,00	9447023,00	PIAUÍ
BOA HORA	738496,00	9450385,00	PIAUÍ

CHAPADINHA	738497,00	9450508,00	PIAUÍ
ESPERANÇA	740119,00	9456556,00	PIAUÍ
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUI	744658,00	9440501,00	PIAUÍ
FAZENDA SOARES	742890,00	9455717,00	PIAUÍ
FAZENDA NOVA	753580,00	9428120,00	PIAUÍ
PORTAL DO PARNAIBA	743277,00	9433407,00	PIAUÍ
4TE-0001-PI	746790	9438908	DEPÓSITOS ALUVIONARES
4TE-0002-PI	740675	9438333	DEPÓSITOS ALUVIONARES
4TE-0003-PI	746761	9438812	DEPÓSITOS ALUVIONARES
4TE-0004-PI	740675	9438302	DEPÓSITOS ALUVIONARES
4TE-0005-PI	740615	9438486	DEPÓSITOS ALUVIONARES
4TE-0006-PI	742331	9435961	DEPÓSITOS ALUVIONARES
4TE-0007-PI	740400	9438825	DEPÓSITOS ALUVIONARES
4TE-0008-PI	742270	9436023	DEPÓSITOS ALUVIONARES
4TE-0009-PI	751338	9438603	DEPÓSITOS ALUVIONARES
4TE-0011-PI	746770	9438900	DEPÓSITOS ALUVIONARES
4TE-0013-PI	740461	9438610	DEPÓSITOS ALUVIONARES
1TE-0002-PI	740694	9438780	DEPÓSITOS ALUVIONARES
1TE-0007-PI	740784	9438916	DEPÓSITOS ALUVIONARES
4TE-0032-PI	746899	9429339	DEPÓSITOS ALUVIONARES
SANTA TERESA	761758	9448615	PEDRA DE FOGO
POVOADO TABOCAS	755635	9451341	PEDRA DE FOGO

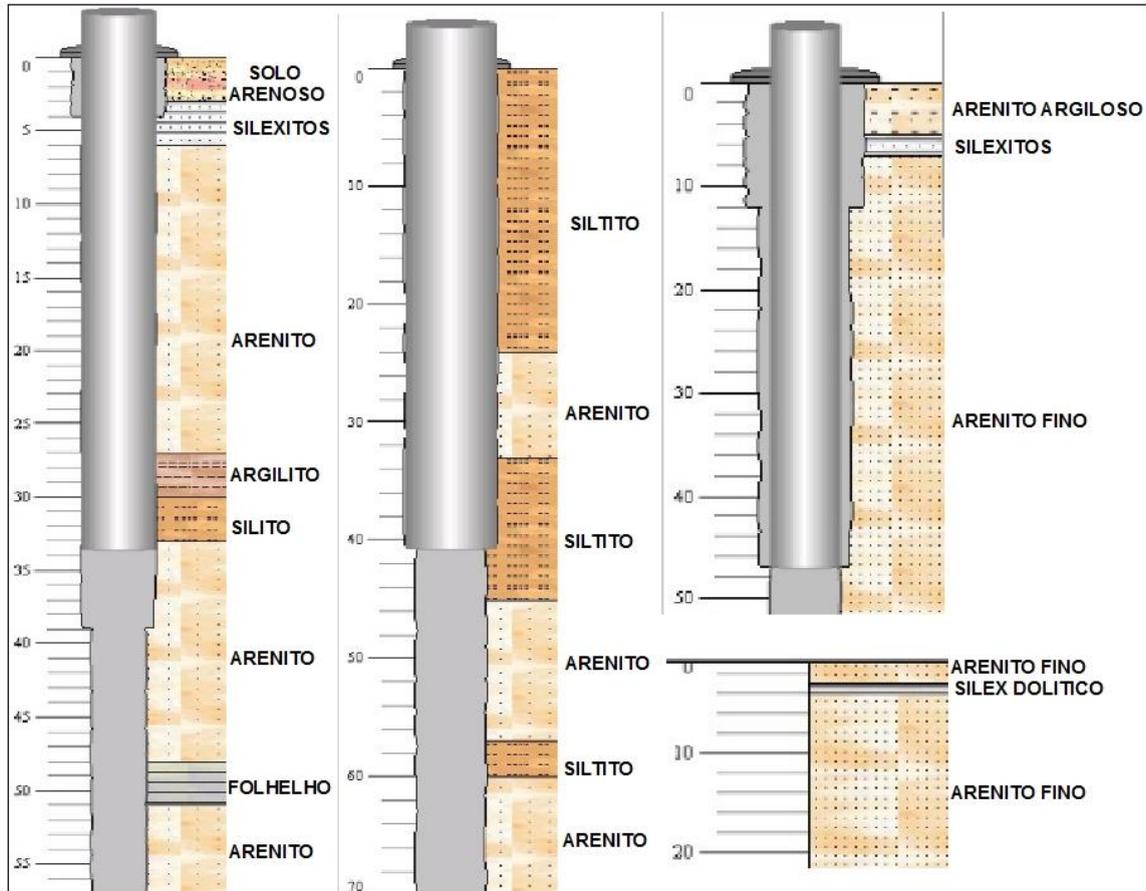
GURUPA	747313	9450970	PEDRA DE FOGO
SANTA LUZ	747726	9454841	PEDRA DE FOGO
SANTA MARIA DA CODIPI	741543	9449023	PEDRA DE FOGO
CHURRASCARIA RESIDENCIA I	746343	9437730	PEDRA DE FOGO
AVENIDA ZEQUINHA FREIRE	749741	9440115	PEDRA DE FOGO

APÊNDICE B.3 - PERFIS TÍPICOS GEOLÓGICOS DOS POÇOS DE TERESINA-PI

Adaptado SIAGAS CPRM (1983-2006)

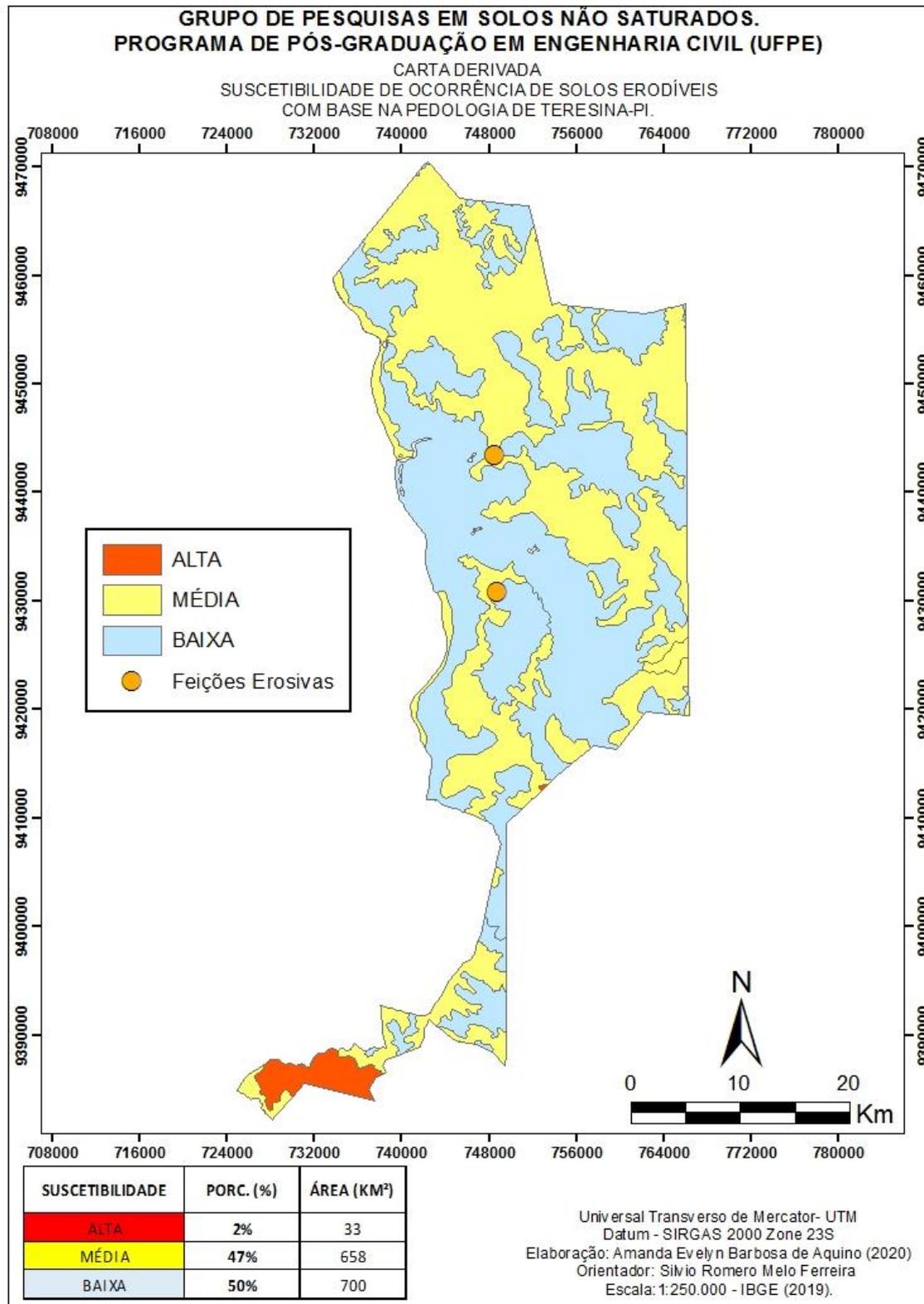


Perfis Típicos da Formação Piauí. Adaptado SIAGAS CPRM (1983-2006)

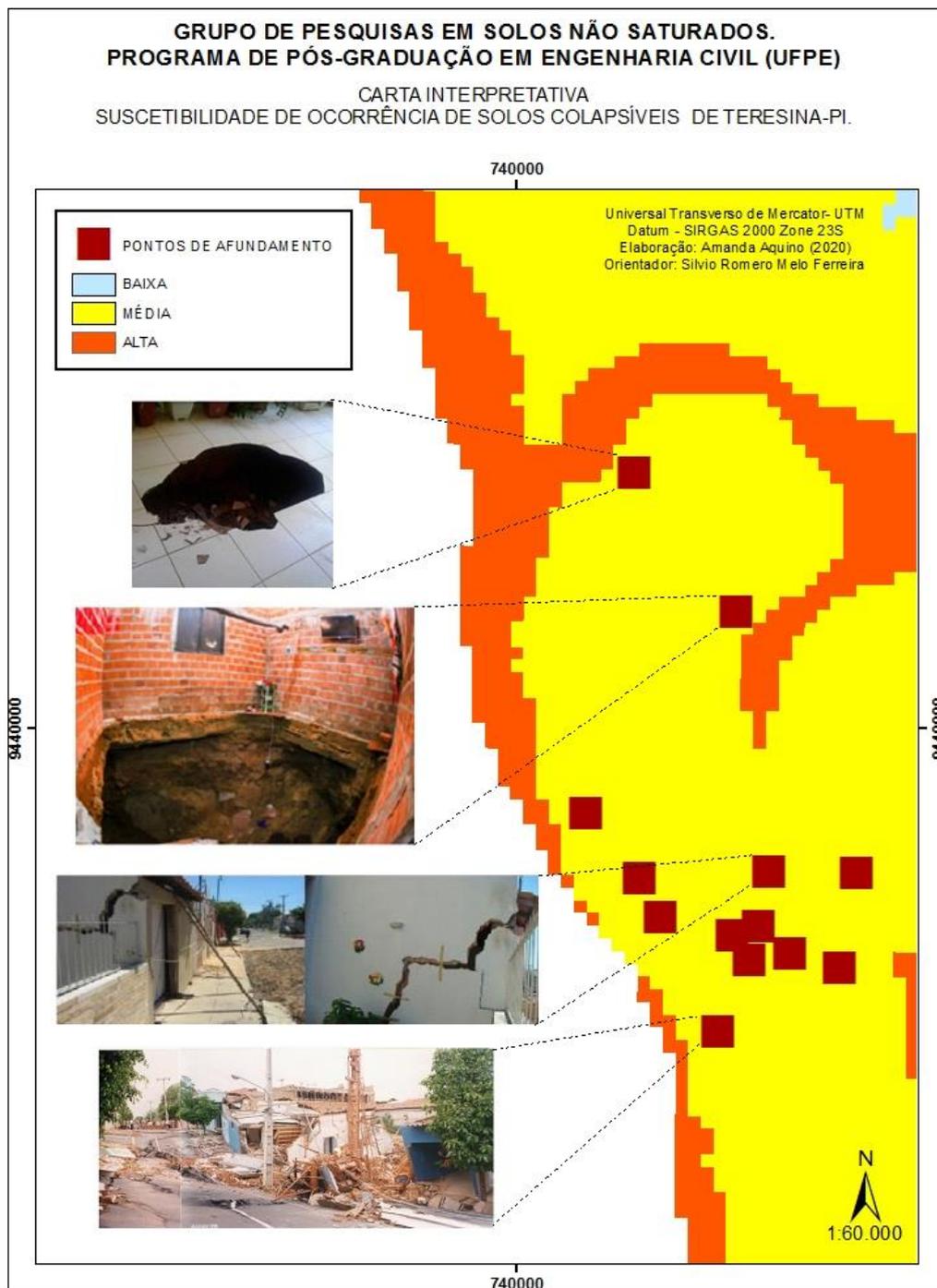


F Perfis Típicos da Formação Pedra de Fogo. Adaptado SIAGAS CPRM (1983-2006).

**APÊNDICE C – FEIÇÕES EROSIVAS GEORREFERENCIADAS NA CARTA DE
SUSCETIBILIDADE À OCORRÊNCIA DE SOLOS ERODÍVEIS**



APÊNDICE D - GEORREFERENCIAMENTO DOS PONTOS DE AFUNDAMENTO NA CARTA INTERPRETATIVA DE SUSCETIBILIDADE DE OCORRÊNCIA DE SOLOS COLAPSÍVEIS.



ANEXO A - CLASSIFICAÇÃO BRASILEIRA DE DESASTRES NATURAIS (COBRADE)

CATEGORIA	GRUPO	SUBGRUPO	TIPO	SUBTIPO	COBRADE	
1. NATURAL	1. GEOLÓGICO	1. Terremoto	1. Tremor de terra	0	1.1.1.1.0	
			2. Tsunami	0	1.1.1.2.0	
		2. Emissão vulcânica	0	0	1.1.2.0.0	
			3. Movimento de massa	1. Quedas, Tombamentos e rolamentos	1. Blocos	1.1.3.1.1
					2. Lascas	1.1.3.1.2
					3. Matacões	1.1.3.1.3
		4. Lajes			1.1.3.1.4	
		2. Deslizamentos	1. Deslizamentos de solo e ou rocha	1.1.3.2.1		
			3. Corridas de Massa	1. Solo/Lama	1.1.3.3.1	
				2. Rocha/Detrito	1.1.3.3.2	
		4. Subsidiências e colapsos	0	1.1.3.4.0		
		4. Erosão	1. Erosão Costeira/Marinha	0	1.1.4.1.0	
			2. Erosão de Margem Fluvial	0	1.1.4.2.0	
			3. Erosão Continental	1. Laminar	1.1.4.3.1	
				2. Ravinas	1.1.4.3.2	
				3. Boçorocas	1.1.4.3.3	
	2. HIDROLÓGICO	1. Inundações	0	0	1.2.1.0.0	
		2. Enxurradas	0	0	1.2.2.0.0	
		3. Alagamentos	0	0	1.2.3.0.0	
	1. Sistemas de Grande Escala/Escala Regional	1. Ciclones	1. Ventos Costeiros (Mobilidade de Dunas)	1.3.1.1.1		
			2. Marés de Tempestade (Ressacas)	1.3.1.1.2		

	3. METEOROLÓGICO		2. Frentes Frias/Zonas de Convergência	0	1.3.1.2.0
		2. Tempestades	1. Tempestade Local/Convectiva	1. Tornados	1.3.2.1.1
				2. Tempestade de Raios	1.3.2.1.2
				3. Granizo	1.3.2.1.3
				4. Chuvas Intensas	1.3.2.1.4
				5. Vendaval	1.3.2.1.5
		3. Temperaturas Extremas	1. Onda de Calor	0	1.3.3.1.0
			2. Onda de Frio	1. Friagem	1.3.3.2.1
				2. Geadas	1.3.3.2.2
	4. CLIMATOLÓGICO	1. Seca	1. Estiagem	0	1.4.1.1.0
			2. Seca	0	1.4.1.2.0
			3. Incêndio Florestal	1. Incêndios em Parques, Áreas de Proteção Ambiental e Áreas de Preservação Permanente Nacionais, Estaduais ou Municipais	1.4.1.3.1
				2. Incêndios em áreas não protegidas, com reflexos na qualidade do ar	1.4.1.3.2
			4. Baixa Humidade do Ar	0	1.4.1.4.0
			5. BIOLÓGICO	1. Epidemias	1. Doenças infecciosas virais
	2. Doenças infecciosas bacterianas	0			1.5.1.2.0
	3. Doenças infecciosas parasíticas	0			1.5.1.3.0
	4. Doenças infecciosas fúngicas	0			1.5.1.4.0
		1. Infestações de animais		0	1.5.2.1.0

		2. Infestações/Pragas	2. Infestações de algas	1. Marés vermelhas	1.5.2.2.1
				2. Ciano bactérias em reservatórios	1.5.2.2.2
			3. Outras Infestações	0	1.5.2.3.0

**ANEXO B.1 - DOCUMENTOS DOS ESTUDOS PRELIMINARES DO ACIDENTE DA RUA
SIMPLÍCIO MENDES (ACERVO DO CREA-PI)**

**COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINÉRAIS - CPRM
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL
RESIDÊNCIA ESPECIAL DE TERESINA - RESTE**

PROJETO BÁSICO

**CONTRIBUIÇÃO AO CONHECIMENTO DA GEOLOGIA DE
SUBSUPERFÍCIE DAS ÁREAS DE ABATIMENTOS NO MUNICÍPIO
DE TERESINA - PI**

JANEIRO

20000

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO
2. OBJETIVO
3. JUSTIFICATIVA DO PROGRAMA
4. ASPECTOS GEOLÓGICOS
5. HIDROGEOLOGIA
6. METAS
7. ATIVIDADES E METODOLOGIA
8. PLANILHA ESTIMATIVA DE CUSTOS
9. RECURSOS PARA OS SERVIÇOS
10. CRONOGRAMA FÍSICO FINANCEIRO
11. ANEXO : DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA

1. INTRODUÇÃO

Um problema altamente preocupante para as autoridades locais e a população em geral, é a recente sequência de afundamentos da superfície de terrenos na região metropolitana de Teresina, verificados quando da perfuração de poços tubulares, já tendo sido registradas cerca de uma dezena dessas ocorrências, colocando em risco as instalações civis localizadas nas áreas afetadas.

A última ocorrência, amplamente divulgada pela mídia local e nacional, foi verificada na região central da cidade (ver fotografias anexas), onde o incidente causou o desmoronamento e comprometimento de 14 casas na Rua Simplício Mendes, além da própria via pública com as infra estruturas instaladas de água e energia.

O programa proposto é no sentido de que a partir de estudos hidrogeológicos e geofísicos, possa se obter subsídios para uma interpretação das causas desses incidentes, sendo oportuno de se frisar que as soluções começam pela análise correta a partir da geociência.

2. OBJETIVO

O objetivo deste convênio é a execução pela CPRM, de estudos hidrogeológicos e geofísicos, a princípio realizados na maioria das áreas acidentadas, dirigidos principalmente para testar o método geofísico afim de ser definido um modelo a ser aplicado em toda área do município a longo prazo e a médio prazo na região situada entre os rios Poti e Parnaíba.

Este modelo deverá servir de base para o melhor conhecimento das características litológicas e estruturais desta Formação e prover os subsídios necessários para as providências no sentido de prevenção a futuros acidentes em todo o Estado.

3. JUSTIFICATIVA DO PROGRAMA

A cidade de Teresina está diretamente assentada, em toda sua extensão, sobre as rochas sedimentares da Formação Pedra de Fogo.

Nesta formação, de idade permiana, foi detectada a existência de grandes e médias cavernas entre as várias camadas dos sedimentos carbonatados, logo abaixo do lençol freático, que tem água de comunicação entre os rios Poti e Parnaíba, e, também a existência de pacotes de sedimentos inconsolidados.

Essas situações tornam instável a superfície dos terrenos, colocando em risco a execução de obras civis.

O que se propõe com este programa é justamente retratar o mapeamento das áreas de risco, com vistas à permitir a racionalização e a segurança da implantação de novas obras.

Constitui-se portanto, numa alternativa de se criar uma base lógica de planejamento e gestão que servirá não somente para embasar o atual quadro, mas principalmente para se constituir a principal ferramenta de planejamento, tanto das ações emergenciais, quanto para a elaboração de uma política urbana definitiva.

4. ASPECTOS GEOLÓGICOS

As unidades litológicas da Bacia do Parnaíba que ocorrem na área do município de Teresina correspondem às Formações Piauí (Carbonífero Superior) e Pedra de Fogo (Permiano), além dos depósitos quaternários, representados pelos aluviões dos rios Parnaíba e Poti.

A Formação Piauí, tal como foi observada em poços perfurados na, área objeto do estudo, consiste em sua parte inferior, de espessos bancos de arenito róseo, muito fino a médio, argiloso, as vezes siltoso, pouco caulínico.

Na parte superior predomina uma seqüência de folhelhos e siltitos, em geral roxos ou vermelhos, por vezes calcíferos, bancos de arenito róseos ou vermelho, fino a médio, argiloso, raramente caulínico e calcário vermelho.

As rochas dessa porção apresentam-se algumas vezes alteradas e/ou fendilhadas.

No topo da Formação Piauí, na região de Teresina ocorre um banco de arenito creme e/ou branco fino a médio, grãos subarredondados, pouco foscos, contendo matriz caulínica, em geral friável, mas podendo ser muito duro quando apresenta silicificação parcial, fendilhado, notadamente em sua porção basal. Esse pacote de arenito foi denominado por W. Kegel (1955) de Arenito Saraiva, visto está aflorando numa praça de mesmo nome, no centro da cidade de Teresina.

A Formação Pedra de Fogo (Permiano), apresenta a partir do contato com o Arenito Saraiva, folhelho marrom e/ou roxo, e intercalações de arenito creme, fino, em parte silicificado, siltitos, além de leitos estreitos (± 3 metros) de silexito.

Para cima, seguem-se bancos de arenitos avermelhado e róseo, fino, argiloso, caulínico.

Os aluviões quaternários, que ocorrem ao nível dos rios locais são de constituição detrítica e origem fluvial.

5. HIDROGEOLOGIA

5.1 – Aspectos Gerais

Na região do perímetro urbano de Teresina, nem todas as unidades geológicas funcionam como bons aquíferos. Essa diferenciação é condicionada pela constituição física e textural das diferentes unidades.

5.2 – Os Aquíferos

5.2.1 – Aquífero dos Aluviões.

Em Teresina, os aluviões do Rio Parnaíba formam uma camada com espessura média de 11 metros, disposta sobre a paleotopografia do Arenito Saraiva, modelada pela ação erosiva do citado rio.

A fonte de alimentação mais provável dessas aluviões é o próprio Rio Parnaíba, uma vez que os citados depósitos, mantêm, permanentemente, 2/3 de sua espessura em nível abaixo da superfície das águas.

5.2.2 – Aquífero Pedra de Fogo

Situando em geral acima dos níveis de base dos rios e com um meio aquífero de baixa permeabilidade (arenitos argilosos com leitos de silexito no topo e folhelho/silexito e arenito silicificado na base), esse aquífero, pelo menos localmente, não apresenta boas condições para a percolação e armazenamento de água subterrânea em larga escala.

5.2.3 – Aquífero Piauí

Com o seu topo aflorando pouco acima dos níveis dos talvegues e servindo de substrato para os leitos dos rios locais, o Arenito Saraiva, constitui uma camada aquífera com espessura média de 24 metros em atitude sub-horizontal no topo da Formação Piauí, caracterizada por :

- a) Comportar-se como um excelente aquífero em locais onde os seus sedimentos encontram-se silicificados e fendilhados;
- b) Apresentar baixas vazões específicas em poços situados em faixas do aquífero onde seu meio, por ser expressivamente caulínico, é pouco permeável.

A porção inferior da Formação Piauí na área de Teresina, constituída sobretudo por arenitos de granulação fina a média, em grande parte argilosos, tem mostrado que a quantidade e qualidade das águas, nem sempre são satisfatórias.

6. METAS

Os trabalhos constarão das seguintes etapas :

1ª Etapa – Recenseamento de poços existentes nas áreas em estudo, análise dos perfis e das amostras nas sondagens efetuadas – duração de 15 dias;

2ª Etapa – Realização de perfis de eletroresistividade e de GPR (Ground Penetrating Radar) nas ruas Simplicio Mendes e adjacências, e em outros locais de abatimento anteriores – duração de 30 dias;

3ª Etapa – Realização de interpretação final dos trabalhos geofísicos, integrando-se os métodos anunciados, em conjunto com os dados geológicos, hidrogeológicos e de sondagem das áreas levantadas, com respectivo relatório final – duração 15 dias.

7. ATIVIDADE E METODOLOGIA

Os critérios metodológicos para a execução deste estudo serão suficientemente simples, de modo a cobrir toda a região num curto espaço de tempo, para que se possa incrementar ações imediatas e concomitantes no decorrer do desenvolvimento das atividades.

Os resultados obtidos deverão ser disponibilizados num máximo de 60 (sessenta) dias, para todos os órgãos da Administração Estadual e Municipal que estejam direta ou indiretamente engajados nas ações de combate a esta calamidade pública.

A metodologia a ser empregada nos trabalhos de geofísica na área da Rua Simplicio Mendes e adjacências, bem como na maioria das áreas acidentadas, deverá considerar não só a estrutura urbana local, como também os fatores causadores de ruídos que possam contaminar os dados obtidos.

A eletroresistividade será executada em perfis paralelos à Rua Simplicio Mendes, no arranjo dipolo-dipolo, com espaçamento de 20 (vinte) metros entre os dipolos e medição até o sexto nível. A extensão de cada perfil será da ordem de 600 metros, totalizando 3.000 metros.

Nas demais localidades, os perfis elétricos poderão ter de 20 a 40 metros de distância entre os dipolos e extensão variada. Também com a eletroresistividade pretende-se determinar prováveis falhamentos e/ou fraturas mais profundas de direção possivelmente NE/SSW e NW/SE.

O método com o uso do GPR será realizada também na Rua Simplicio Mendes e adjacências, em perfis variando de 300 metros de extensão, usando-se bobinas de frequências de 25 a 200 MHz, visando uma penetração variada, possivelmente até 50 metros. A aplicação do GPR fornecerá um imageamento do subsolo, nos quais poderão ser determinadas diversas feições como : falhas, fraturas, cavidades, dutos e etc.

A integração dos dois métodos geofísicos deverão proporcionar dados altamente significativos para a elucidação das causas dos abatimentos e servirão de base para o planejamento de futuros trabalhos que envolvam sondagens e demais obras civis.

8. PLANILHA ESTIMATIVA DE CUSTOS

ITEM	DESCRIÇÃO	VALOR
1.0	Salários de pessoal + Encargos	44.784,24
2.0	Taxas de utilização de veículos	1.522,00
3.0	Diárias de pessoal	4.800,00
4.0	Hospedagem e locomoção	13.400,00
5.0	Aluguel de veículos	3.200,00
6.0	Materiais de uso e consumo	56.232,00
7.0	Serviços de terceiros (GPR)	50.000,00
TOTAL GLOBAL		174.028,24

9. RECURSOS PARA OS SERVICOS

Para a execução dos serviços descritos neste projeto básico, está orçado um valor total de **RS 174.028,24 (Cento e setenta e quatro mil, vinte e oito reais, vinte e quatro centavos)**, correspondendo ao **CONVENENTE** arcar com o custeio estimado em **RS 127.632,00 (Cento e vinte e sete mil, seiscentos e trinta e dois reais)**, cabendo à **CPRM** as despesas relacionadas com pessoal, encargos e taxas de utilização de veículos, estimadas no valor de **RS 46.396,24 (Quarenta e seis mil, trezentos e noventa e seis reais, vinte e quatro centavos)**.

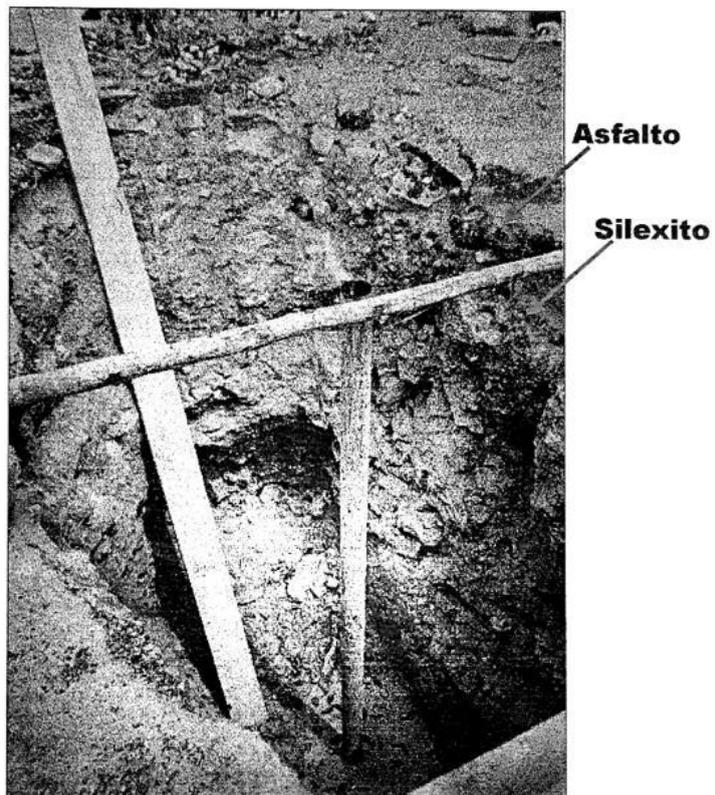
10. CRONOGRAMA FÍSICO FINANCEIRO

DIAS			
	0	30	60
CONVENENTE	127.632,00		
CPRM		23.198,12	23.198,12
ATIVIDADES			
Recenseamento de poços, coleta e análise de dados de sondagem	XXXXXX		
Realização de perfis geofísicos (GPR e (eletrorresistividade)	XXXXXX	XXXXXX	
Interpretação dos trabalhos e relatório final			XXXXXX

11. ANEXO : DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA



Perfuratriz que construía o poço na Rua Simpício Mendes.

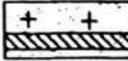


Silexito que serviu de base para o asfaltamento da Rua Simpício Mendes.



Aspectos dos imóveis da Rua Simpício Mendes com os abatimentos verificados.



- 
 ④ - ARGILA, POR VEZES MUITO PLÁSTICA, POUCO A MEDIANAMENTE SILTOSA, MUITO MOLE A RUA, DE COLORAÇÃO VARIADA COM PREDOMINÂNCIA DE CREME AMARELADO E CINZA CLARO ESVERDEADO
- 
 ⑤ - AREIA, FINA A MÉDIA, POUCO ARGILOSA, FOFA A MUITO COMPACTA, DE COLORAÇÃO VARIEGADA COM PREDOMINÂNCIA DE CREME AVERMELHADO E CREME AMARELADO, COM OCORRÊNCIAS DE CAMADA CENTIMÉTRICA DE ARGILA, MUITO PLÁSTICA, POUCO SILTOSA, DE COLORAÇÃO CINZA CLARO AVERMELHADO.
- 
 ⑥ - ARGILA, MUITO PLÁSTICA, POUCO SILTOSA, MUITO MOLE A DURA, DE COLORAÇÃO CINZA CLARO ESVERDEADO COM VEIOS VARIEGADOS.
- 
 ⑦ - ARENITO, SILICIFICADO, MEDIANAMENTE DECOMPOSTO, MEDIANAMENTE MUITO CONSISTENTE, MUITO FRATURADO, DE COLORAÇÃO VARIEGADA, COM INTERCALAÇÕES CENTIMÉTRICAS DE ARGILA, MUITO PLÁSTICA, POUCO SILTOSA, DE COLORAÇÃO VARIADA COM PREDOMINÂNCIA DE CINZA CLARO ESVERDEADO.
- 
 ⑧ - ARENITO, DE GRADUAÇÃO FINA, MEDIANAMENTE CONSISTENTE A CONSISTENTE, SÃO, MACIÇO, DE COLORAÇÃO VARIEGADA, COM INTERCALAÇÕES EVENTUAIS DE CAMADAS CENTIMÉTRICAS DE ARGILA, MEDIANAMENTE CONSISTENTE, SÃO, MACIÇO, DE COLORAÇÃO CINZA CLARO ESVERDEADO.
- 
 ⑨ - SILTITO, ARGILOSO, CONSISTENTE, SÃO, POUCO FRATURADO, ÀS VEZES MUITO FRAGMENTADO, DE COLORAÇÃO CINZA CLARO E RÔXO.

SERVIÇOS EXECUTADOS

FURO (Nº)	PERFURAÇÃO			TOTAL
	PERCUSSÃO	ROTATIVA (BX)	ROTATIVA (NX)	
SM-01	23,70	7,50	-	31,20
SM-02	18,50	13,50	3,00	35,00
SM-03	24,00	6,02	-	30,02
SM-04	18,80	9,03	2,70	30,53
SM-05	20,50	7,50	3,00	31,00
TOTAL	105,50	43,55	8,70	157,75

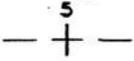
PREFEITURA MUNICIPAL DE TERESINA
**EMPRESA TERESINENSE DE DESENVOLVIMENTO URBANO
 ETURB**

ACIDENTE DA RUA SIMPLÍCIO MENDES
 TRECHO: RUA SANTA LUZIA / AV. JOAQUIM RIBEIRO - CENTRO DE TERESINA
ESTUDOS GEOTÉCNICOS DE SONDAGEM
 PLANTA DE LOCALIZAÇÃO DOS FUROS DE SONDAGEM
 E PERFIS GEOTÉCNICOS

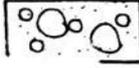
NOTAS GERAIS

1. DIMENSÕES E NÍVEIS EM METROS
2. OS FUROS FORAM LOCALIZADOS E MARCADOS PELA ETURB
3. A RUA SIMPLICIO MENDES É DOTADA DE PAVIMENTAÇÃO POLIÉDRICA (20,0cm) E REVESTIMENTO ASFÁLTICO (7,0cm)
4. DOS 5 (CINCO) FUROS EXECUTADOS, SOMENTE 2 (DOIS) ESTÃO LOCALIZADOS DENTRO DA ÁREA ATINGIDA PELO ACIDENTE

LEGENDA DA PLANTA

-  SM - FURO DE SONDADEGEM MISTA
-  - NORTE MAGNÉTICO
-  PT - POÇO TUBULAR
-  RN - REFERÊNCIA DE NÍVEL, ARBITRADA COM COTA 50,00m; TOPO DO MEIO FIO DA CALÇADA DA ESQUINA DA RUA SIMPLICIO MENDES COM SANTA LUZIA
-  - LINHAS POLIGONAIS ABERTAS; ESTAQUEADAS DE 20 EM 20m, PASSANDO PELOS FUROS DE SONDADEGEM
-  - LIMITE DA ÁREA ATINGIDA, AO LONGO DA RUA SIMPLICIO MENDES

LEGENDA DOS PERFIS

-  ① - AREIA, MUITO FINA, POUCA A MUITO ARGILOSA, POUCA A MEDIANAMENTE COMPACTA, DE COLORAÇÃO CREME ESCURO, COM PRESENÇA ACENTUADA DE FRAGMENTOS DE ARENITO SILICIFICADO E EVENTUALMENTE, FRAGMENTOS DE TIJOLO CERÂMICO.
-  ② - BLOCOS, PEDRAS E FRAGMENTOS DE ARENITO SILICIFICADO, COM INTERCALAÇÕES DE CAMADAS CENTIMÉTRICAS DE AREIA, FINA A MÉDIA, MEDIANAMENTE A MUITO ARGILOSA, DE COLORAÇÃO CREME AVERMELHADO COM VEIOS CREME AMARELADOS.
-  ③ - AREIA, MUITO FINA, POUCA A MEDIANAMENTE ARGILOSA, FOFA A MEDIANAMENTE COMPACTA, DE COLORAÇÃO CREME AVERMELHADO COM VEIOS CREME AMARELADO E ROXO.

**ANEXO B.2 - INFORMAÇÕES COM PONTOS DE AFUNDAMENTO DE TERESINA-PI:
ENDEREÇO, COORDENADAS GEOGRÁFICAS.**

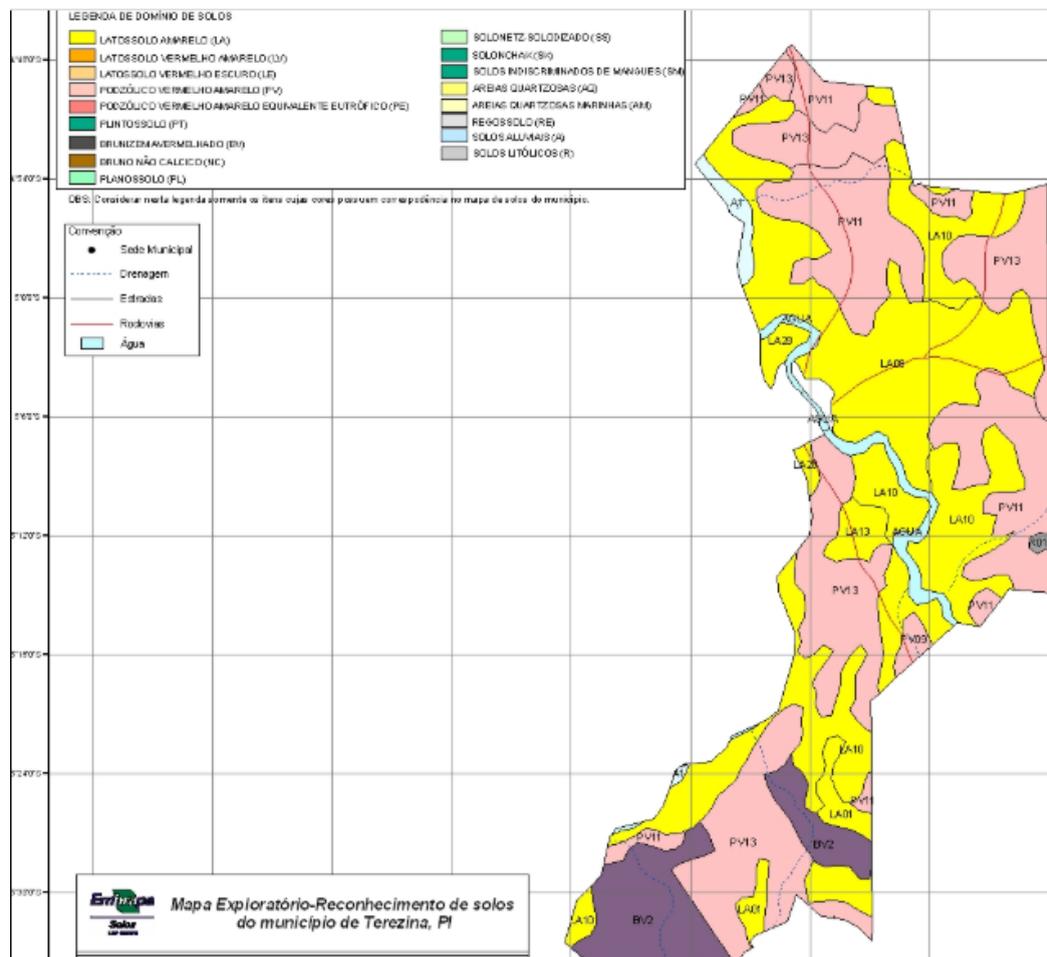
PONTO	ENDEREÇO	UTM_E	UTM_N	FONTE
P1	Rua Francisco Mendes	743269	9438157	BARRADAS (2010)
P2	Cemitério São José	741593	9438059	
P3	Rua João Cabral	740904	9438907	
P4	Rua Simplicio Mendes	741862	9437542	
P5	Praça do Fripisa	742802	9437305	
P6	Estacionamento UDI	743137	9437429	
P7	Rua Paisandu	743014	9436981	
P8	Ambulatório Lineu Araújo	743138	9437010	
P9	Rua Gov. Raimundo Arthur de Vasconcelos	743536	9437071	
P10	Hospital São Marcos - Rua Taumaturgo de Azevedo	743652	9436825	
P11	Rua Goiás	744188	9436885	
P12	Rua Amapá	744398	9437297	
P13	Av. Gil Martins	744549	9434278	
P14	Rua Odilon Araújo	744496	9435886	
P15	Rua Simplicio Mendes	742606	9436066	
P16	Avenida Raul Lopes	744406,9	9438115,3	G1 PI (2018)
P17	Rua José Bairro Água Mineral	742847,95	9441530,86	CIDADE VERDE (2018)
P18	Vila São Francisco Mendes	741531,38	9443338,58	CIDADE VERDE (2018)
P19	Rua Verdes Mares - 2967	741407	9443111	AQUINO (2019)

**ANEXO C – TIPOS DE EROÇÃO LAMINAR ADOTADAS PARA OS SOLOS DO MUNICÍPIO DE
TERESINA, PIAUÍ.**

Tipos de Erosão Laminar	Descrição Sumária
Ligeira	Já aparente, todavia, menos de 25% do horizonte A removido, ou quando não for possível identificar a profundidade normal do horizonte A de um solo virgem, com 5cm a 15 cm do horizonte A remanescente.
Moderada	Com 25% a 75% do horizonte A removido, ou quando não for possível identificar a profundidade normal do horizonte A de um solo virgem, com 5cm a 15 cm do horizonte A remanescente.
Severa	Com mais de 75% do horizonte A removido, ou quando não for possível identificar a profundidade normal do horizonte A de um solo virgem, com 5cm a 15 cm do horizonte A remanescente.
Muito Severa	Com todo o horizonte A removido e com o horizonte B já bastante afetado (erodido), em alguns casos a remoção alcançando entre 25% e 75% da profundidade original.
Extremamente Severa	Com o horizonte B, em sua maior parte, já removido, e com o C já atingido, encontrando-se o solo praticamente já destruído para fins agrícolas.
Áreas Desbarrancadas	Símbolo reservado para áreas desbarrancadas ou translocações de blocos de terra. A área erodida deve ser delimitada no mapa por linhas pontilhadas, tendo no seu interior o símbolo 6.

Fonte: Elaborado por Moraes (2004) a partir de LEPSCH et al. (1991)

ANEXO D – MAPA EXPLORATÓRIO DO RECONHECIMENTO DOS SOLOS DE TERESINA (EMBRAPA,1983)



LEGENDA DE DOMÍNIO DE SOLOS



