

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO (UFPE)
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS (CTG)
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL (PPGEC)

ROBSON RIBEIRO LIMA

**CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO FRENTE A DESASTRES
NATURAIS E INDUZIDOS ELABORADA PARA O MUNICÍPIO DO IPOJUCA-PE
NA ESCALA DE PLANEJAMENTO (1:25.000)**

RECIFE

2016

ROBSON RIBEIRO LIMA

**CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO FRENTE AOS
DESASTRES NATURAIS E INDUZIDOS ELABORADA PARA O MUNICÍPIO DO
IPOJUCA-PE NA ESCALA DE PLANEJAMENTO (1:25.000)**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção de Título de Doutor em Engenharia Civil, tendo como orientador o Prof. Dr. Roberto Quental Coutinho.

Área de conhecimento: Geotecnia

RECIFE

2016

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4/1469

L732c Lima, Robson Ribeiro.
Carta geotécnica de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais e induzidos elaborada para o município do Ipojuca-PE na escala de planejamento (1:25.000) / Robson Ribeiro Lima. – 2016.
317 folhas, il.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Quental Coutinho.
Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2016.
Inclui Referências.

1. Engenharia civil. 2. Ipojuca-PE. 3. Mapeamento geológico-geotécnico.
4. Planejamento urbano. 5. SIG. I. Coutinho, Roberto Quental (Orientador). II. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG/2017-104



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

A comissão examinadora da Defesa de Tese de Doutorado

**CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO FRENTE AOS
DESASTRES NATURAIS E INDUZIDOS ELABORADA PARA O MUNICÍPIO DO
IPOJUCA-PE NA ESCALA DE PLANEJAMENTO (1:25.000)**

defendida por

Robson Ribeiro Lima

Considera o candidato APROVADO

Recife, 31 de março de 2016

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Roberto Quental Coutinho – UFPE
(orientador)

Prof. Dr. Juan Antonio Altamirano Flores – UFSC
(examinador externo)

Profa. Dra. Noris Costa Diniz – UNB
(examinadora externa)

Prof. Dr. Olavo Francisco dos Santos Junior – UFRN
(examinador externo)

Prof. Dr. Marcelo Reis Rodrigues da Silva – UFPE
(examinador externo)

Ao meu pai e minha avó (*in memoriam*),
pelos preciosos ensinamentos. A minha
mãe, a minha esposa e filho pelo
carinho. Aos meus irmãos, aos
sobrinhos e tios queridos.

AGRADECIMENTOS

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi fundamental o apoio de diversas pessoas, sem as quais esta pesquisa dificilmente teria sido concluída. Dessa forma, agradeço:

Primeiramente a DEUS, o dom da vida, saúde e estar sempre ao meu lado para ajudar-me em todos os momentos, dando-me força para continuar nos momentos difíceis.

A minha querida esposa, Lilian, e meu filho querido, Pedro Antônio, o apoio nesta etapa de formação, procurando sempre incentivar e ajudar no que foi possível.

Ao meu orientador e amigo, professor Roberto Quental Coutinho, a confiança e o estímulo, além dos desafios lançados, aos quais procuramos corresponder, visando ao enriquecimento do meu trabalho, trabalhando sempre em equipe, e a grande contribuição para meu crescimento científico, acadêmico e humano. Obrigado pela confiança e pelos ensinamentos repassados. Serei eternamente grato.

Agradeço à família Gegep a ajuda nos trabalhos de campo e na manipulação e tratamento das informações nos SIGs, sempre simpáticos e dispostos a auxiliar na elaboração desta tese.

A todos os professores/pesquisadores que participaram desta pesquisa, a valiosa contribuição com este trabalho.

Ao Ministério das Cidades, o financiamento do projeto que deu origem à presente tese.

À Prefeitura do município de Ipojuca-PE e a todos os órgãos públicos, a disponibilidade dos dados e a ajuda para o desenvolvimento deste trabalho, sem os quais, não teria sido possível realizar.

Aos técnicos da Prefeitura de Ipojuca, em especial à diretora de Controle Urbano e Meio Ambiente de Ipojuca, Terezinha Uchoa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da UFPE, a oportunidade de cursar o doutorado.

Agradeço aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFPE a valiosa contribuição na minha formação.

Aos funcionários do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da UFPE, sempre dispostos a ajudar.

Ao técnico do Laboratório de Solos e Instrumentação da UFPE, Francisco Carlos Moura, o auxílio na etapa de laboratório.

À bibliotecária Maria Alves de Albuquerque, a ajuda na revisão, correção ortográfica, gramatical e na formatação deste trabalho pela ABNT, sempre disposta a nos ajudar.

A todas as empresas de sondagem, a cessão dos relatórios técnicos de sondagens.

Aos membros da minha banca, professora Noris Costa Diniz e aos professores Juan Antonio Altamirano Flores, Olavo Francisco dos Santos Junior e Marcelo Reis Rodrigues da Silva, que aceitaram gentilmente o convite de participar deste processo e colaborar em prol de melhor resultado para o meu trabalho.

Por fim, agradeço a todos aqueles que, por acaso, deixei de citar, e de alguma forma, contribuíram com esta pesquisa. Meus sinceros agradecimentos a todos.

A Cidade

E a cidade se apresenta centro das ambições
Para mendigos ou ricos e outras armações
Coletivos, automóveis, motos e metrô
Trabalhadores, patrões,
Policiais, camelôs

A cidade não pára, a cidade só cresce
O de cima sobe e o de baixo desce
A cidade não pára, a cidade só cresce
O de cima sobe e o de baixo desce

A cidade se encontra prostituída
Por aqueles que a usaram em busca de uma
saída
Ilusora de pessoas de outros lugares,
A cidade e sua fama vai além dos mares

No meio da esperteza internacional
A cidade até que não está tão mal
E a situação sempre mais ou menos
Sempre uns com mais e outros com menos

A cidade não para, a cidade só cresce
O de cima sobe e o de baixo desce
A cidade não para, a cidade só cresce
O de cima sobe e o de baixo desce.

(Chico Science)

RESUMO

Esta pesquisa faz parte do Projeto Elaboração de Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização no município do Ipojuca-PE, desenvolvido em parceria com a Universidade Federal de Pernambuco, por meio do Grupo de Engenharia Geotécnica de Encostas, Planícies e Desastres (Gegep), e o Ministério das Cidades. Os desastres naturais ocorridos nos últimos anos no Brasil alarmaram a sociedade e o poder público para seu devido enfrentamento, levando à busca de mecanismos de prevenção e mitigação. Em 2012, o governo federal criou a Lei n.º 12.608/2012, que instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, que abrange ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação voltada à proteção e defesa civil, cujo objetivo, dentre outros, consiste na definição de diretrizes para a ocupação urbana de forma adequada, tanto na escala de planejamento urbano quanto dos projetos de parcelamento do solo. Nos últimos anos, o município do Ipojuca vem passando por transformações espaciais bastante expressivas, apresentando um grande crescimento populacional de forma acelerada e desorganizada, decorrente da expansão do Complexo Industrial e Portuário de Suape. O resultado desse crescimento desorganizado é a ocupação de áreas de risco impróprias para moradia em planícies de inundação, fundo de vales e encostas de morros. Para ordenar o correto uso e ocupação do solo, faz-se necessário o adequado conhecimento dos atributos do meio físico. Este trabalho teve como objetivo elaborar a Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização frente aos Desastres Naturais para todo o município na escala de 1:25.000 para os processos de movimentos gravitacionais de massa, erosão, processos hidrológicos (alagamentos, enchentes e inundações) e processos geológicos correlatos (deformação de solos), de modo a gerar subsídios ao planejamento do uso e ocupação do meio físico urbano por meio da caracterização e delimitação de unidades geotécnicas. O desenvolvimento desta pesquisa de mapeamento seguiu basicamente a proposta metodológica do Gegep. A metodologia empregada fundamentou-se em Unidades de Terreno por meio da abordagem multitemática com sobreposição e cruzamentos de mapas temáticos de forma a se obter uma compartimentação. Além de analisar os parâmetros do meio físico, antrópico, uso e ocupação da terra e legislações vigentes, essa metodologia contou com reuniões técnicas com a participação de uma equipe de pesquisadores multidisciplinares e interdisciplinares (Gegep), alunos de graduação e pós-graduação e de gestores da prefeitura do município no fornecimento de informações e de materiais, no acompanhamento da elaboração integral dos estudos para elaboração da carta, no debate dos resultados obtidos e na validação das decisões. Todos os dados foram processados e armazenados no SIG, utilizando técnicas e ferramentas de Geoprocessamento por meio do software ArcGIS 10.1. Dessa forma, obteve-se uma carta geotécnica de aptidão à urbanização, em escala de planejamento, um quadro-legenda com a descrição sucinta das unidades geotécnicas de aptidão delimitadas no mapa com as seguintes classes: baixa, média e alta aptidão à urbanização e diretrizes/recomendações diferenciadas em cada unidade em função dos principais processos geodinâmicos. Esse documento constitui uma importante ferramenta para contribuir nas diversas ações de planejamento municipal. Contudo, por se tratar de uma escala de planejamento, sempre serão necessários estudos complementares que incluam sondagens diretas e outras investigações geotécnicas antes de sua ocupação, elaboração de para Parcelamento do Solo, em escala 1:10.000 ou maior, e Cartas de Risco em escala 1:5.000 ou maior.

Palavras-chave: Ipojuca-PE. Mapeamento geológico-geotécnico. Planejamento urbano. SIG.

ABSTRACT

This research is part of the Project Elaboration of Geotechnical Charts of Aptitude for Urbanization in the Municipality of Ipojuca-PE, developed in partnership with the Federal University of Pernambuco, through the Geotechnical Engineering Group of Slopes, Plains and Disasters – GEGEP, and the Ministry of the Cities. The natural disasters that occurred in recent years in Brazil alarmed the society and the public power for their proper confrontation, leading them to seek for mechanisms of prevention and mitigation. In 2012, the federal government created the law n.º 12.608/2012, that instituted the National Policy of Protection and Civil Defense, that covers actions to prevent, mitigate, prepare, respond and recover, focusing on protecting and civil defense, whose objective, among others, consists in defining guidelines for urban occupation in the proper way, in the scale of urban planning as well as projects of land subdivision. In recent years, the municipality of Ipojuca has been going through very expressive spatial transformations, presenting a large population growth in an accelerated and disorganized way, due to the installation of the Suape Port and Industrial Complex. The result of this disorganized growth is the occupation of risk areas unfit for housing in floodplains, valley bottoms and hillsides. To order the correct use and occupation of the land, it is necessary the appropriate knowledge of the physical environment attributes. The goal of this study is to elaborate the Geotechnical Charts of Aptitude for Urbanization based on Natural Disasters for the whole municipality in the scale of 1:25.000 in the municipality of Ipojuca for the processes of mass gravitational movements, mass transport (erosion), hydrological processes (floods) and related geological processes (soil deformation) in order to generate subsidies for planning the use and occupation of the physical-urban environment through the characterization and delimitation of geotechnical units. The development of this mapping research follows the Gegep methodological proposal. The methodology used was based on Terrain Units (TU's) from the multi-thematic approach with overlapping and intersections of thematic maps in order to obtain a compartmentalization. In addition to analyzing the parameters of the physical and anthropic means, land use and occupation and current legislation, this methodology included technical meetings with the participation of a team of multidisciplinary and interdisciplinary researchers (Gegep), undergraduate and graduate students and Managers of the municipality's city hall in the provision of information and materials, in the monitoring of the preparation of the studies for the preparation of the chart, in the discussion of the results obtained and in the validation of the decisions. All the data was processed and stored in a Geographic Information System (GIS) using Geoprocessing techniques and tools through ArcGIS 10.1 software. Thereby, a geotechnical chart of suitability for urbanization was made on a planning scale, a brief description of the geotechnical units of aptitude in the map legend display with the geotechnical units delimited in the map with the following classes: low, average and high aptitude for urbanization and different guidelines/recommendations in each unit due to the main geodynamic processes. This document constitutes an important tool to contribute to the various municipal planning actions. However, since this is a planning scale, complementary studies that include direct drilling and other geotechnical investigations before its occupation, the elaboration of a Geotechnical Chart of Urban Aptitude for Land Subdivision in a scale of 1:10,000 or greater, and Risk Cards in the scale of 1:5000 or greater will always be necessary.

Keywords: Ipojuca-PE. Geological-geotechnical mapping. Urban planning. GIS.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 3.1 – Desastres naturais do Brasil	67
Gráfico 3.2 – Percentual de ocorrências de inundações nas regiões brasileiras.....	68
Gráfico 3.3 – Distribuição dos alagamentos por região brasileira	69
Gráfico 3.4 – Distribuição das enxurradas por região brasileira	70
Gráfico 3.5 – Porcentagem de ocorrência do processo de erosão por região do Brasil no período 1991-2012.....	70
Gráfico 3.6 – Porcentagem de ocorrência de movimento de massa por região do Brasil no período 1991-2012.....	71
Gráfico 5.1 – Precipitações pluviométricas no município do Ipojuca de 1941 a 2013 e médias mensais dos últimos setenta e dois anos.....	98
Gráfico 5.2 – Crescimento anual da população entre 1991 e 2010 do município do Ipojuca	105
Gráfico 7.1 – (A) Curva de tensão cisalhante x deformação horizontal; (B) Envoltória de resistência – amostra na condição de umidade natural – UT 5 – Umidade natural.....	228
Gráfico 7.2 – (A) Curva de tensão cisalhante x deformação horizontal; (B) Envoltória de resistência – amostra na condição inundada – UT 5 – Inundado	229
Gráfico 7.3 – (A) Curva de tensão cisalhante x deformação horizontal; (B) Envoltória de resistência – amostra na condição inundada – Bloco 1 – Umidade Natural.....	239
Gráfico 7.4 – (A) Curva de tensão cisalhante x deformação horizontal; (B) Envoltória de resistência – amostra na condição inundada – Bloco 1 - Inundado.....	240
Gráfico 7.5 – (A) Curva de tensão cisalhante x deformação horizontal; (B) Envoltória de resistência – amostra na condição inundada – Bloco 2 – Umidade Natural.....	241
Gráfico 7.6 – (A) Curva de tensão cisalhante x deformação horizontal; (B) Envoltória de resistência – amostra na condição inundada – Bloco 1 - Inundado.....	242
Gráfico 7.7 – (A) Curva de tensão cisalhante x deformação horizontal; (B) Envoltória de resistência – amostra na condição de umidade natural.....	254
Gráfico 7.8 – (A) Curva de tensão cisalhante x deformação horizontal; (B) Envoltória de resistência – amostra na condição inundada.....	255

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Classificação dos tipos de movimentos gravitacionais de massa	38
Quadro 2.2 – Inventário de causas de movimentos de massa	51
Quadro 2.3 – Fatores deflagradores dos movimentos de massa.....	52
Quadro 4.1 – Tipos e níveis recomendados de zoneamento e escalas de mapas relacionados com o zoneamento de deslizamentos	80
Quadro 4.2 – Principais metodologias nacionais e internacionais de mapeamento geotécnico voltadas ao planejamento urbano	83
Quadro 4.3 – Aspectos gerais para elaboração da Carta Geotécnica de Planejamento.....	92
Quadro 5.1 – Correlação entre a classificação nova e antiga dos solos	100
Quadro 5.2 – Unidades litoestratigráficas da área de estudo.....	102
Quadro 6.1 – Locais visitados pela equipe e documentos adquiridos no levantamento de dados existentes	121
Quadro 6.2 – Matriz dos índices de dissecação do relevo.....	164
Quadro 6.3 – Relação das unidades de mapeamento de solos e os solos componentes por unidade que ocorrem no município do Ipojuca	181
Quadro 6.4 – Relação das classes de uso da terra para a escala de planejamento, 1:25.000..	196
Quadro 6.5 – Limiares dos indicadores para geração de mapa de perigo	212
Quadro 7.1 – Classificação Rock Quality Designation (RQD).....	258
Quadro 7.2 – Permeabilidade de solos da Formação Barreiras.....	263
Quadro 7.3 – Parâmetros de resistência de pico de solos provenientes da Formação Barreiras na RMR e outras.....	264
Quadro 7.4 – Descrição e quantificação das principais classes de aptidão à urbanização	273

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Queda de blocos rochosos	39
Figura 2.2 – Rolamento de blocos rochosos	40
Figura 2.3 – Desplacamento rochoso	41
Figura 2.4 – Tombamento de blocos rochosos	42
Figura 2.5 – Deslizamentos translacionais ou planares	44
Figura 2.6 – Deslizamentos rotacionais ou circulares	45
Figura 2.7 – Deslizamentos em cunha	46
Figura 2.8 – Expansão lateral	47
Figura 2.9 – Rastejo	48
Figura 2.10 – Corridas	49
Figura 2.11 – Erosão hídrica pluvial	54
Figura 2.12 – Esquema para distinguir tipos de escoamento e acúmulo superficial de água (enchente, inundação e alagamento)	56
Figura 2.13 – Saturação de solo suscetível a colapso causado	59
Figura 2.14 – Fundações superficiais (rasas) construídas em terrenos constituídos por solos argilosos moles	61
Figura 2.15 – Modelo interpretativo dos fenômenos ocorridos em Cajamar	63
Figura 4.1 – Modelagem da Cartografia Geotécnica a partir da dinâmica do meio ambiente e o papel do meio físico, e sua relação com a cartografia geotécnica	78
Figura 4.2 – Tipos de Cartas Geotécnicas	81
Figura 4.3 – Fluxograma da equipe do Gegep composta por profissionais de diversas áreas de atuação	94
Figura 4.4 – Esquema da metodologia do Gegep	95
Figura 5.1 – Localização do município do Ipojuca-PE	97
Figura 5.2 – Mapa pedológico do município de Ipojuca	99
Figura 5.3 – Diagrama da modelagem espacial do zoneamento	107
Figura 5.4 Mapa de zoneamento do município do Ipojuca	108
Figura 5.5 – Previsão de novos zoneamentos do Complexo Industrial Portuário de Suape ..	115
Figura 6.1 – Fluxograma do método de trabalho	119
Figura 6.2 – Mosaico com as 8 cartas topográficas 1:25.000 no formato matricial	127
Figura 6.3 – Esquema do Fluxograma da Etapa de Vetorização	129

Figura 6.4 – Carta da Base Planialtimétrica na escala 1:25.000, mostrando a articulação que será utilizada para os mapas nesta escala	130
Figura 6.5 – Mapa Síntese do Acervo de Ortofoto cartas 1:10.000, equivalente a 365,27 km ² , restando 160,94 km ² de vazio cartográfico na escala 1:10.000.	132
Figura 6.6 – Distribuição dos 22 pontos plotados no Google Earth.....	133
Figura 6.7 – Exemplo de monografia dos pontos.....	134
Figura 6.8 – Apresentação do modelo digital de elevação elaborado para escala 1:25.000...	135
Figura 6.9 – Mapa de inventário de processo do meio físico (deslizamento, ravinamento e voçorocamento), escala de planejamento município do Ipojuca-PE.....	139
Figura 6.10 – Arcabouço tectono-estratigráfico da Província Borborema e seus limites	142
Figura 6.11 – Compartimentação da Província Borborema em domínios e terrenos tectono-estratigráficos.....	143
Figura 6.12 – Limites da Bacia Pernambuco de acordo com Feijó 1994.....	144
Figura 6.13 – Carta estratigráfica da Bacia Pernambuco	146
Figura 6.14 – Caracterização dos ambientes geológicos da área mapeada	147
Figura 6.15 – Mapa geológico do município do Ipojuca na escala de planejamento.....	162
Figura 6.16 – Fluxograma da rotina para obtenção de dados morfométricos	165
Figura 6.17 – Mapa geomorfológico do município do Ipojuca-PE, escala de planejamento.	177
Figura 6.18 – Modelo da ficha de descrição dos perfis dos solos utilizadas no reconhecimento das classes de solos mais representativos da área de estudo	179
Figura 6.19 – Mapa da distribuição dos pontos de reconhecimento morfológico de solos do município do Ipojuca.....	186
Figura 6.20 – Boletim de Sondagem Pertencente a UT 12, Formação Cabo.....	187
Figura 6.21 – Furos de sondagens disponibilizados no ArcGIS.....	188
Figura 6.22 – Contextos geológicos distintos, a oeste o Embasamento Cristalino e a leste a Bacia Pernambuco	190
Figura 6.23 – Mapa de uso e ocupação da terra escala de planejamento do município do Ipojuca-PE.....	194
Figura 6.24 – Mapa apresentando as zonas de proteção ambiental identificadas no município do Ipojuca-PE	199
Figura 6.25 – Tela representa o plano de informação do SIG, que mostra todos os processos DNPM em forma de polígono	202
Figura 6.26 – Mapa de zoneamento para o aproveitamento de agregados para a construção civil em escala de planejamento	207

Figura 6.27 – Carta de Suscetibilidade a Movimento de Massa do município do Ipojuca na escala de planejamento	210
Figura 6.28 – Mapa de perigo decorrente de enchente para o tempo de retorno de 100 anos: combinação da profundidade e velocidade da água	212
Figura 6.29 – Carta de Suscetibilidade a Inundação, rio Ipojuca, escala de planejamento	213
Figura 7.1 – Mapa de unidades de terreno do município do Ipojuca	216
Figura 7.2 – Perfil longitudinal sentido noroeste-sudeste da Unidade de Terreno 1.....	217
Figura 7.3 – Perfil geotécnico – UT 1	219
Figura 7.4 – Perfil longitudinal sentido noroeste-sudeste da Unidade de Terreno 2.....	220
Figura 7.5 – Perfil longitudinal sentido noroeste-sudeste da Unidade de Terreno 3.....	221
Figura 7.6 – Perfil longitudinal sentido noroeste-sudeste da Unidade de Terreno 5.....	224
Figura 7.7 – Perfil longitudinal sentido noroeste-sudeste da Unidade de Terreno 6.....	230
Figura 7.8 – Perfil geotécnico UT 6	231
Figura 7.9 – Perfil longitudinal sentido noroeste-sudeste da Unidade de Terreno 7.....	232
Figura 7.10 – Perfil longitudinal sentido noroeste-sudeste da Unidade de Terreno 8.....	233
Figura 7.11 – Perfil longitudinal sentido noroeste-sudeste da Unidade de Terreno 9.....	234
Figura 7.12 – Perfil longitudinal sentido noroeste-sudeste da Unidade de Terreno 10.....	243
Figura 7.13 – Perfil longitudinal sentido noroeste-sudeste da Unidade de Terreno 11.....	244
Figura 7.14 – Perfil longitudinal sentido noroeste-sudeste da Unidade de Terreno 12.....	247
Figura 7.15 – DRX da fração argila saturada com K+, dos horizontes diagnósticos	251
Figura 7.16 – Perfil longitudinal sentido noroeste-sudeste da Unidade de Terreno 13.....	256
Figura 7.17 – Perfil geotécnico UT 13	257
Figura 7.18 – Perfil geotécnico UT14	260
Figura 7.19 – Perfil longitudinal sentido noroeste-sudeste da Unidade de Terreno 16.....	261
Figura 7.20 – Perfil geotécnico UT 17	266
Figura 7.21 – Perfil geotécnico UT 18	267
Figura 7.22 – Perfil geotécnico UT19	269
Figura 7.23 – Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização Frente aos Desastres Naturais, Escala de Planejamento, Ipojuca-PE.....	271
Figura 7.24 – Quadro-legenda apresentando as classes e tipos, as principais características da UA, os tipos de processos e recomendações que são descritos na seção 7.2.1	272

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 2.1 – Exemplo de queda de blocos rochosos (Costa Verde-RJ)	39
Fotografia 2.2 – Exemplo de rolamento de blocos rochosos (Angra dos Reis-RJ).....	40
Fotografia 2.3 – Exemplo de deslocamento rochoso (Laginha, município	41
Fotografia 2.4 – Exemplo de tombamento de blocos rochosos	42
Fotografia 2.5 – Exemplo de deslizamentos translacionais ou planares (Praia do Bananal, Ilha Grande - RJ, em 2010).....	44
Fotografia 2.6 – Exemplo de deslizamentos rotacionais ou circulares (Cabo de Santo Agostinho-PE)	45
Fotografia 2.7 – Exemplo de deslizamento em cunha (Ouro Preto-MG).....	46
Fotografia 2.8 – Exemplo de expansão lateral	47
Fotografia 2.9 – Exemplo de área afetada por rastejo (acesso ao Distrito de Camela, Ipojuca-PE, maio 2014)	49
Fotografia 2.10 – Exemplo de área afetada por corridas (Região Serrana do Rio).....	50
Fotografia 2.11 – Exemplo de erosão linear (sulcos) em Ipojuca-PE	54
Fotografia 2.12 – Exemplos de processos hidrológicos em Ipojuca-PE	57
Fotografia 2.13 – Fissuras ou fendas características nas estações secas	58
Fotografia 2.14 – Exemplos de processos geológicos correlatos	58
Fotografia 2.15 – Exemplo de deformação na construção (trincas e fissuras)	60
Fotografia 2.16 – Exemplo de deformação na construção (trincas e fissuras)	60
Fotografia 2.17 – Exemplo de edificação sofre um rebaixamento causado por adensamento do solo.....	62
Fotografia 2.18 – Exemplo de uma das dezenas de casas que foram destruídas na cidade de Cajamar-SP em 1986.....	64
Fotografia 2.19 – Exemplo de uma das dezenas de casas que foram destruídas na cidade de Cajamar-SP em 1986.....	64
Fotografia 5.1 – Rio Ipojuca à direita e córrego à esquerda bastante assoreado na área de expansão do distrito de Camela, Ipojuca-PE	101
Fotografia 5.2 – Lavra manual de areia no rio Ipojuca	103
Fotografia 5.3 – Lavra de areia em leito de rio (alto e baixo do rio Ipojuca) por dragagem..	104
Fotografia 5.4 – Construções irregulares, Ipojuca-PE.....	112
Fotografia 5.5 – Área destinada à produção agroindustrial, Ipojuca - PE.....	113

Fotografia 5.6 – Ocupações espontâneas em áreas antes destinadas à produção agroindustrial apresentando área de risco de deslizamentos, Ipojuca-PE	113
Fotografia 5.7 – Ocupações espontâneas em áreas planícies de inundação e encostas de morros, Ipojuca-PE	114
Fotografia 6.1 – Reunião técnica da equipe do Gegep com gestores e técnicos da prefeitura do Ipojuca	120
Fotografia 6.2 – Identificação dos processos do meio físico na área urbana de Ipojuca, Equipe Gegep e Prefeitura	124
Fotografia 6.3 – Descrição de perfis de alteração, coletas de amostras para ensaios de caracterização, acompanhamento de sondagens, Ipojuca-PE.....	124
Fotografia 6.4 – Processos de erosão, deslizamento e queda de bloco, Ipojuca-PE	136
Fotografia 6.5 – Da esquerda para a direita: marca d’água de inundação, processos induzidos pela ocupação e argila mole.....	137
Fotografia 6.6 – Trabalho de campo integrado equipe Gegep, Ipojuca-PE	140
Fotografia 6.7 – Grandes matacões	148
Fotografia 6.8 – Foliação subvertical	148
Fotografia 6.9 – Migmatito apresentando dobras pitgmáticas	149
Fotografia 6.10 – Matacões da Unidade Ny3	150
Fotografia 6.11 – Horizonte C do solo, mostrando blocos da rocha mãe, parcialmente intemperizada (Unidade Ny3).....	150
Fotografia 6.12 – Esfoliação esferoidal do granito (Unidade Ny2)	151
Fotografia 6.13 – Veio com textura pegmatóide, cortando a Unidade Ny5	152
Fotografia 6.14 – Corte de estrada exibindo a Formação Cabo	153
Fotografia 6.15 – Blocos de gnaisses, migmatitos e granitoides compondo o conglomerado da Formação Cabo.....	153
Fotografia 6.16 – Variação dos tamanhos dos blocos maiores suportados por blocos	154
Fotografia 6.17 – Conglomerado da Formação Cabo com blocos menores e suportados pela matriz no pacote entre as linhas de marcação.....	154
Fotografia 6.18 – Esfoliação esferoidal em rocha basáltica	155
Fotografia 6.19 – Soleiras de basalto alterado, indicado pelas setas	155
Fotografia 6.20 – Disjunções verticais	156
Fotografia 6.21 – Disjunções horizontais	156
Fotografia 6.22 – Disjunções colunares preenchidas por material silicoso em uma estrutura que lembra um <i>stockwork</i> (afloramento em vista de topo)	157

Fotografia 6.23 – Vista do Ignimbrito na pedreira do Grupo João Santos	158
Fotografia 6.24 – Vesículas e fragmentos de rocha.....	158
Fotografia 6.25 – Clástos de vulcânicas, destacando-se basaltos (cor preta)	159
Fotografia 6.26 – Soleiras de basalto e/ou vulcânicas ácidas (traquitos/riolitos).....	160
Fotografia 6.27 – Afloramento do Grupo Barreiras evidenciando os níveis de argila estratificados.....	160
Fotografia 6.28 – Interflúvios estreitos e “encaixados” entre as colinas, demonstrando grau de entalhamento forte	166
Fotografia 6.29 – Afloramentos de rocha nos topos mais aguçados das colinas no setor oeste do município do Ipojuca	167
Fotografia 6.30 – Colinas com topos arredondados e vales encaixados	168
Fotografia 6.31 – Matacões aflorando no topo das colinas e no destaque um dos matacões bastante próximo das edificações	168
Fotografia 6.32 – Colinas representando os setores com vales côncavos e topos convexos..	169
Fotografia 6.33 – Colinas com topos arredondados e vales abertos. Detalhe para o comportamento extenso dos vales entre as colinas	170
Fotografia 6.34 – Exemplo de rampa de colúvio próximo ao distrito de Camela, município do Ipojuca	171
Fotografia 6.35 – Limite inferior da rampa de colúvio próximo ao distrito de Camela.....	172
Fotografia 6.36 – Planície fluvial do rio Ipojuca nas proximidades do distrito sede do município do Ipojuca	173
Fotografia 6.37 – Exemplo de fundos de vale em áreas de colinas com topos arredondados e vales em côncavos	174
Fotografia 6.38 – Depósitos coluviais e colinas bem marcados por uma superfície erosiva .	175
Fotografia 6.39 – Exemplo de perfil de solo, Ipojuca-PE	180
Fotografia 6.40 – Coleta de amostras amolgadas de solos em diferentes horizontes.....	180
Fotografia 7.1 – Padrão de planície extensa que pode ser observado na UT 1	218
Fotografia 7.2 – Feições típicas da UT 2, fundo de vales estreitos e confinados.....	220
Fotografia 7.3 – Rampa de colúvio formada sobre rochas graníticas no distrito de Camela .	222
Fotografia 7.4 – Colúvio formado por material inconsolidado com fragmentos de rocha na massa do solo, colúvio formado por depósito de tálus.....	224
Fotografia 7.5 – 1 Perfil de solo residual maduro representativo da unidade, 2 visão geral das formas de relevo da unidade e 3 processos erosivos (ravinamentos) da unidade.....	225
Fotografia 7.6 – Perfil de solo com exposição de blocos na matriz do solo	225

Fotografia 7.7 – 1. Perfil de solo residual maduro representativo da unidade, 2. Visão geral das formas de relevo da unidade e 3. Processos erosivos (ravinamentos e pequenos deslizamentos) que ocorrem na unidade.....	232
Fotografia 7.8 – Visão geral das formas de relevo da unidade, detalhe para a ocorrência de pequenos afloramentos de rocha.....	235
Fotografia 7.9 – Perfil utilizado para a coleta de amostras amolgadas UT 9	236
Fotografia 7.10 – Blocos rochosos de dimensão decamétricas que	245
Fotografia 7.11 – Processo erosivo (voçoroca) observado na unidade	245
Fotografia 7.12 – Corte de estrada expondo perfil de solo residual jovem que ocorre na unidade, detalhe para a ocorrência de blocos na matriz do solo	246
Fotografia 7.13 – Cicatriz de erosão encontrada na unidade.....	246
Fotografia 7.14 – Corte de estrada expondo o conglomerado da Formação Cabo.....	247
Fotografia 7.15 – Processo de deslizamento na Formação Cabo	248
Fotografia 7.16 – Perfil de solo residual maduro observado na Formação Cabo classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo plúntico	248
Fotografia 7.17 – Perfil utilizado para a coleta de amostras amolgadas e indeformada (bloco) UT 12.....	249
Fotografia 7.18 – Corte de estrada expondo as camadas formadas por riolito e basalto.....	258
Fotografia 7.19 – Seixos de basalto que compoem o	259
Fotografia 7.20 – 1) Perfil de solo residual maduro encontrado na unidade; 2) Cicatriz de erosão encontrada na unidade; 3) Perfil de solo residual jovem formado por depósitos da unidade	262
Fotografia 7.21 – Planície sujeita a alagamentos ao longo da rede de drenagem que ocorrem na unidade.....	265
Fotografia 7.22 – Exemplo de blocos isolados (matacões), áreas com potencial de rolamento de blocos de rocha.....	275
Fotografia 7.23 – Exemplo de cicatrizes de inundação	276
Fotografia 7.24 – Exemplo de área suscetível ao processo de inundação	278
Fotografia 7.25 – Exemplos de processo de deslizamento circular sobre litologia da Formação Cabo próximo da PE-60	283
Fotografia 7.26 – Início de processo de erosão após a retirada da camada de solo para aterro – Formação Cabo.....	283
Fotografia 7.27 – Exemplo de processos erosivos: Formação Algoduais.....	284
Fotografia 7.28 – Início de um processo de erosão depois da retirada da camada superior do solo para aterros.....	287

Fotografia 7.29 – Exemplo de inundação, casa “ilhada”.....	288
Fotografia 7.30 – Exemplo de inundação.....	289
Fotografia 7.31 – Formas de ocupação desordenada: processos induzidos de deslizamento e erosão.....	293
Fotografia 7.32 – Formas de ocupação desordenada.....	295

LISTA DE TABELAS

Tabela 7.1 – Composição granulométrica e limites de atterberg UT 1	219
Tabela 7.2 – Composição granulométrica UT 5	226
Tabela 7.3 – Limites atterberg, razão de dispersão, classificação dos solos e índice de atividade UT 5	227
Tabela 7.4 – Parâmetros de resistência ao cisalhamento	230
Tabela 7.5 – Composição granulométrica UT 9	236
Tabela 7.6 – Composição granulométrica Bloco 1 e Bloco 2	237
Tabela 7.7 – Limites atterberg, razão de dispersão, classificação dos solos e índice de atividade UT 9	237
Tabela 7.8 – Limites atterberg, razão de dispersão, classificação dos solos e índice de atividade Bloco 1 e Bloco 2	238
Tabela 7.9 – Composição granulométrica UT 12	250
Tabela 7.10 – Limites atterberg, razão de dispersão, classificação dos solos e índice de atividade UT 12	250
Tabela 7.11 – Parâmetros de resistência ao cisalhamento	256
Tabela 7.12 – Alguns valores típicos de coeficiente de permeabilidade	263

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
AHP	Analytic Hierarchy Process
AM	Neossolos Quartzarênicos Marinheiros
AP	Autorização de Pesquisa
APA	Área de Proteção Ambiental
APP	Área de Proteção Permanente
AQ1	Neossolos Quartzarênicos
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Bt	B textural
(c)	Colúvios
CACI	Cadastro de Áreas Comprometidas com Intervenções
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
CL	Concessão de Lavra
COBRADE	Codificação Brasileira de Desastres
CONCAR	Comissão Nacional de Cartografia
CONDEPE/FIDEM	Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco
CONPDEC	Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil
CPRH	Agência Estadual de Meio Ambiente
CRED	Centro de Pesquisas de Epidemiologia em Desastres
Ct	Caulinita
Dgv	Colinas com topos aguçados e vales encaixados
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
Dra	Vales abertos
Dru	Vales côncavos
Drv	Colinas com topos arredondados e vales encaixados
DRX	Difração de raios-X
EDE	Eixo de Dinamização Econômica
EIA	Estudos de Impacto Ambiental
Em	Esmectita
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EM-DAT	Banco de Dados Internacional de Desastres

ESo	Espodossolos
ESEC	Estação Ecológica
ET-ADGV	Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais
(fl)	Acumulação fluvial
(fm)	Fluviomarinha
Fp	Feldspato
FS	Fator de Segurança
(fv)	Fundo de vale
FUNTEP	Fundo de Terras do Estado de Pernambuco
G	Gleissolos
Gb	Gibbsita
GEGEP	Grupo de Engenharia Geotécnica de Encostas, Planícies e Desastres
GL	Grupos Litorâneos
GPS	Global Position System
Gt	Goethita
HAND	Height Above the Nearest Drainage
hd	Hidrografia
HEC	Hydrologic Engineering Center
Hm	Hematita
hp	Hipsográfica
IAEG	International Association of Engineering Geology
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDW	Inverse Distance Weighting
Im	Ilmenita
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INDE	Infraestrutura Nacional dos Dados Espaciais
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
Ka	Formação Algoduais
Kc	Formação Cabo
Ke	Formação Estiva

L	Licenciamento
LA	Latossolos
LABRRID	Laboratório para Redução de Risco de Desastres
lc	Localidade
lm	Limite
(m)	Marinho
MCIDADES	Ministério das Cidades
MDT	Modelo Digital de Terreno
MEUA	Macrozona de Equilíbrio Urbano-Ambiental
MGM	Movimento Gravitacional de Massa
MI	Ministério da Integração Nacional
Mic	Mica
MME	Ministério das Minas e Energia
MSR	Macrozona de Sustentabilidade Rural
NBR	Norma Brasileira
NVdf	Nitossolos
oc	Obra e edificação
OMS	Organização Mundial da Saúde
PA	Argissolo
(pf)	Planície fluvial
PMRR	Plano Municipal de Redução de Risco
PNPDEC	Política Nacional de Proteção e Defesa Civil
PPA	Plano Plurianual
pr	Ponto de referência
PUCE	Pattern Unit Component Evaluation
Qal	Areias aluviais
Qdf1	Sedimentos fluviolacustres
Qm	Sedimentos Silicoargilosos de Mangue
Qp	Sedimentos de Praia
Qth	Terraços Marinhos Holocênicos
Qtp	Terraços Marinhos Pleistocênicos
Qz	Quartzo
(r)	Restinga

RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
RL	Requerimento de Lavra
RLi	Requerimento de Licenciamento
RMR	Região Metropolitana do Recife
RP	Requerimento de Pesquisa
RPPN	Reserva Particular do Patrimônio Natural
RQo	Neossolos
SEA	Setor Especial Ambiental
SEHIS	Setor Especial de Habitação de Interesse Social
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SIGMINE	Sistema de Informações Geográficas da Mineração
SINGRE	Sistema de Informações para Gestão Territorial da Região Metropolitana do Recife
SINPDEC	Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil
SM	Solos de Mangues
SNAPU	Secretaria Nacional de Acessibilidade e Programas Urbanos
SPC	Setor de Proteção Cultural
SPT	Standard Penetration Test
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
SUCS	Sistema Unificado de Classificação de Solos
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
sv	Sistema viário
(tf)	Terraço fluvial
TIN	Triangulated Irregular Network
(tm)	Terraço marinho
(tms)	Terraço marinho superior
TPA	Terreno Pernambuco-Alagoas
UA	Unidade de Aptidão à Urbanização
UFABC	Universidade Federal do ABC
UFOP	Universidade Federal de Ouro Preto
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina

UNESP	Universidade Estadual Paulista
UT	Unidade de Terreno
vg	Vegetação
ZAIL	Zona de Atividades Industriais e Logísticas
ZAP	Zona de Atividade Portuária
ZAPE	Zoneamento Agroecológico de Pernambuco
ZCS	Zona Central de Serviços
ZEA	Zona de Equilíbrio Ambiental
ZEDRS	Zona Especial de Desenvolvimento Rural Sustentável
ZEEC	Zoneamento Ecológico Econômico Costeiro
ZEIA	Zona Especial de Atividades Industriais e Agroindustriais
ZEII	Zona Especial de Interesse Institucional
ZEIS	Zona Especial de Interesse Social
ZEMO	Zona Especial de Manutenção da Morfologia Original
ZEPI	Zona Especial de Proteção Integral
ZERMOS	Zonas Expostas a Riscos de Movimentos de Solos
ZI	Zona Industrial
ZIL	Zona de Atividade Industrial e Logística
ZIP	Zona Industrial Portuária
ZIT	Zona de Interesse Turístico
ZPC	Zona de Preservação Cultural
ZPE	Zona de Processamento de Exportação
ZPEC	Zona de Preservação Ecológica
ZRU	Zona de Requalificação Urbana
ZSO	Zona de Sustentabilidade da Orla
ZUP	Zona de Urbanização Preferencial

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	29
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS E IMPORTÂNCIA DO TEMA.....	29
1.2 OBJETIVOS	34
1.2.1 Objetivo geral	34
1.2.2 Objetivos específicos.....	34
1.3 ESTRUTURA DA TESE	35
2 PRINCIPAIS PROCESSOS DA DINÂMICA SUPERFICIAL E PROCESSOS GEOLÓGICOS E HIDROLÓGICOS CORRELATOS.....	36
2.1 MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA.....	37
2.1.1 Definições.....	37
2.1.2 Classificações de movimentos gravitacionais de massa.....	37
2.1.3 Tipos de movimentos gravitacionais de massa.....	38
2.1.3.1 <i>Queda de blocos</i>	38
2.1.3.2 <i>Tombamento de blocos</i>	41
2.1.3.3 <i>Deslizamentos</i>	43
2.1.3.4 <i>Expansão lateral</i>	47
2.1.3.5 <i>Fluxo: corrida e rastejo</i>	48
2.1.4 Causas e condicionantes dos movimentos gravitacionais de massa.....	50
2.2 PROCESSOS DE TRANSPORTE DE MASSA: EROSÃO	52
2.2.1 Fatores condicionantes	55
2.3 PROCESSOS HIDROLÓGICOS – INUNDAÇÃO, ENCHENTES, CHEIAS, ALAGAMENTOS E ENXURRADAS	55
2.4 PROCESSOS GEOLÓGICOS CORRELATOS	57
2.4.1 Expansão e contração de solos	57
2.4.2 Colapso de solos	59
2.4.3 Adensamento do solo.....	61

2.4.4 Subsidiência cárstica.....	62
3 LEI N.º 12.608/12 E CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO: MEDIDA DE PREVENÇÃO DE DESASTRES NO BRASIL	65
3.1 A OCORRÊNCIA DE DESASTRES NO BRASIL.....	65
3.2 A POLÍTICA NACIONAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL (LEI N.º12.608/12) E A ADOÇÃO DE MEDIDAS DE PREVENÇÃO DOS DESASTRES NO BRASIL.....	71
3.3 A CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO COMO MEDIDA DE PREVENÇÃO DA OCORRÊNCIA DE DESASTRES NATURAIS NO BRASIL	74
4 CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO URBANÍSTICA APLICADA AO PLANEJAMENTO MUNICIPAL	77
4.1 CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA	77
4.2 PRINCIPAIS METODOLOGIAS DE MAPEAMENTO GEOTÉCNICO.....	82
4.3 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG).....	88
4.4 TÉCNICA DE AVALIAÇÃO DE TERRENO EM MAPEAMENTO GEOTÉCNICO ...	89
4.5 CARTA GEOTÉCNICA PARA O PLANEJAMENTO MUNICIPAL.....	90
5 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	96
5.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO	96
5.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	98
5.2.1 Clima	98
5.2.2 Vegetação	98
5.2.3 Solos	99
5.2.4 Hidrografia.....	100
5.2.5 Geomorfologia.....	101
5.2.6 Geologia.....	102
5.2.7 Extrativismo mineral	103
5.3 ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS E DEMOGRÁFICOS DO MUNICÍPIO DO IPOJUCA-PE.....	104
5.4 PROCESSO DE URBANIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DO IPOJUCA	105

5.5 REVISÃO DO PLANO DIRETOR ATUAL.....	116
6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E ETAPAS DA PESQUISA	117
6.1 REUNIÕES TÉCNICAS	120
6.2 LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES EXISTENTES	120
6.3 LEVANTAMENTO DE CAMPO.....	123
6.4 ELABORAÇÃO DO SISTEMA PARA DISPONIBILIZAÇÃO DOS DADOS	124
6.5 REESTRUTURAÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA ESCALA 1:25.000	125
6.5.1 Mapa altimétrico na escala 1:25.000 de todo o município de Ipojuca	126
6.5.2 Banco de dados geoespacial altimétrico e controle de qualidade dos dados de todo o município de Ipojuca 1:25.000	130
6.5.3 Mosaico com resolução 0,60 metros das imagens QuickBird.....	131
6.5.4 Mapa Planialtimétrico 1:25.000 de todo o município de Ipojuca.....	131
6.5.5 Pontos de controle e georreferenciamento para o mapeamento – escala 1:25.000	133
6.5.6 Modelo digital do terreno de todo o município de Ipojuca (1:25.000).....	135
6.6 ELABORAÇÃO DO INVENTÁRIO	136
6.6.1 Compilação de dados e análise em gabinete	137
6.6.2 Investigação e mapeamento em campo	138
6.7 ELABORAÇÃO DOS MAPAS BÁSICOS	139
6.7.1 Mapa geológico	140
6.7.2 Mapa geomorfológico.....	162
6.7.3 Caracterização pedológica.....	177
6.8 CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DA ÁREA DE ESTUDO	187
6.8.1 Sondagem SPT	187
6.8.2 Ensaio de caracterização geotécnica	189
6.9 MAPA DAS UNIDADES DE TERRENO (UT)	190
6.10 MAPAS TEMÁTICOS.....	192
6.10.1 Mapa de uso e ocupação da terra.....	192

6.10.2 Mapa de zonas de proteção ambiental.....	196
6.10.3 Mapa de zoneamento para o aproveitamento de agregados para a construção civil ...	200
6.11 CARTAS GEOTÉCNICAS DE SUSCETIBILIDADE	208
6.11.1 Metodologia para elaboração de carta de suscetibilidade a movimento de massa	208
6.11.2 Metodologia para elaboração de Carta de Suscetibilidade a Inundação do rio Ipojuca na escala de planejamento	211
6.12 CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO	214
7 RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO	215
7.1 O MAPA DE UNIDADES DE TERRENO	215
7.1.1 Descrição das unidades de terreno.....	216
7.2 A CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO	270
7.2.1 Descrição das unidades de aptidão urbana	273
7.2.1.1 <i>Baixa aptidão à urbanização (I)</i>	274
7.2.1.2 <i>Média aptidão à urbanização (II e III)</i>	279
7.2.1.3 <i>Alta aptidão à urbanização (IV)</i>	295
7.2.2 Quadro-legenda	296
7.2.3 Banco de dados.....	296
7.2.4 Relatório técnico.....	297
8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	298
8.1 CONCLUSÕES	298
8.2 RECOMENDAÇÕES.....	301
REFERÊNCIAS.....	302

1 INTRODUÇÃO

Nesta seção apresentam-se as considerações iniciais, a importância do tema, os objetivos gerais e específicos e a estrutura da tese descrita de forma sucinta.

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS E IMPORTÂNCIA DO TEMA

O intenso crescimento populacional acelerado das áreas urbanas, associado à emigração rural, resulta na expansão urbana descontrolada. A ocupação de áreas impróprias para moradia em planícies de inundação, fundo de vales ou encostas de morros pode constituir situações de risco. Para ordenar o correto uso e ocupação do solo, seja em áreas urbanas, seja rurais, faz-se necessário o adequado conhecimento dos atributos do meio físico (SANTOS, 2004). Tal situação agrava-se pelas ações antrópicas, seja pela execução de cortes e aterros inadequados, seja pelo acúmulo e lançamento de lixo em encostas e margens de rios, obstrução das drenagens naturais, desmatamentos e construções sem infraestrutura apropriada.

Todos os anos ocorrem no país inúmeros tipos de desastres naturais, muitas vezes ampliados e agravados pelas ações antrópicas. Entre os processos de dinâmica superficial causadores de acidentes, que podem afetar a população, estão inundações/alagamentos, as diversas formas de erosão, os movimentos de massa e as deformações dos solos. As consequências desses desastres: perda de vidas humanas, grandes investimentos de recursos públicos em ações emergências e de reconstrução.

Os desastres naturais ocorridos no país nos últimos anos, as inundações de Alagoas e Pernambuco em 2010, Santa Catarina em 2008 e 2011, as chuvas catastróficas ocorridas na região serrana nas cidades de Nova Friburgo e Teresópolis em janeiro de 2011 e os deslizamentos que atingiram a região serrana do Paraná em 2011, ultrapassaram todas as expectativas e previsões dos sistemas de alerta existentes, motivando o governo federal a mudar a direção das ações para a prevenção em vez da mitigação de desastres.

Dessa forma, em 2011, o governo federal iniciou uma ação coordenada pela Casa Civil da Presidência da República em consonância com os Ministérios da Integração Nacional, Ministério das Cidades, Ministério de Ciência e Tecnologia, Ministério da Defesa e o Ministério de Minas e Energia que firmaram convênios de colaboração mútua, para executar, em todo o

País, o diagnóstico e mapeamento qualitativo das áreas com potencial de risco alto a muito alto desses eventos naturais.

Em fevereiro de 2011, realizou-se em Brasília, Distrito Federal, uma oficina intitulada Mapeamento de Riscos Relacionados a Deslizamentos de Encostas, organizada pelo Ministério das Cidades (MCidades) e Ministério das Minas e Energia (MME), com o objetivo de apresentar os principais aspectos da atuação do governo federal no campo de prevenção de desastres e iniciar uma discussão com o meio técnico especializado a respeito dos instrumentos cartográficos necessários para a incorporação da prevenção dos desastres naturais ao planejamento e gestão da política urbana. O evento contou com a presença de especialistas de todo o Brasil, envolvendo institutos de pesquisa, universidades, membros de associações técnicas e profissionais liberais e consultores (BATISTA et al., 2015).

Verificou-se nessa reunião a necessidade de adequação da legislação federal e do desenvolvimento de programas federais de apoio aos estados e municípios, de modo a tornar efetiva a implantação de instrumentos de planejamento e gestão territorial municipal. Um desses instrumentos é a Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização, necessária para a definição de diretrizes para a aprovação de novos parcelamentos do solo e para a elaboração de planos de expansão urbana, de maneira a definir padrões de ocupação adequados em face das situações de perigo relacionadas com desastres (BATISTA et al., 2015).

Realizaram-se em 2011, no Recife-PE, reuniões técnicas, fruto da cooperação firmada entre o Ministério das Cidades (MCIDADES) e a Universidade Federal de Pernambuco/Grupo de Engenharia Geotécnica de Encostas, Planícies e Desastres (UFPE/Gegep), coordenadas pelo professor Roberto Quental Coutinho, com a finalidade de desenvolver um Documento Técnico que estabelecesse parâmetros para a cartografia geotécnica e diretrizes de intervenção de áreas sujeitas a desastres naturais. Esse documento contou com a participação de uma equipe multidisciplinar de profissionais especializados no tema de várias regiões do país, representando universidades e institutos de pesquisas, discutindo a investigação geotécnica, os processos geológicos e geotécnicos de dinâmica superficial (movimentos gravitacionais de massa, erosão), cartografia geotécnica, diretrizes para medidas de intervenção e diretrizes urbanísticas para prevenção e redução de desastres.

Ainda em 2011, a carta geotécnica de aptidão urbana e outros instrumentos voltados à gestão de riscos de desastres foram incorporados à Medida Provisória n.º 547/2011, posteriormente convertida na Lei n.º 12.608, publicada em 11 de abril de 2012, que institui a Política, o Sistema e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil. (BATISTA et al., 2015).

A Lei Federal n.º 12.608, de 10 de abril de 2012 (BRASIL, 2012a), que institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (Sinpdec) e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil (Conpdec), autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden) – e dá outras providências. Aponta caminhos para a incorporação do meio físico e suas ameaças ao planejamento territorial, parcelamento do uso do solo, intervenções estruturais e na prevenção de desastres, sobretudo com a obrigatoriedade dos municípios elaborarem seus mapeamentos de áreas de risco de desastres com base nas cartas geotécnicas. Segundo a lei, os estados e municípios deverão identificar e mapear áreas de risco e realizar estudos de identificação de ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidades. Assim, passou a ser obrigatória aos municípios com histórico de ocorrências a elaboração de carta geotécnica de aptidão à urbanização, voltada para a segurança de novos parcelamentos do solo e para o aproveitamento de agregados minerais, que será peça fundamental quando houver a expansão do perímetro urbano, devendo ser incorporadas aos Planos Diretores municipais.

Em agosto de 2012, lançou-se o Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais, criado pelo governo federal (BRASIL, 2012b), com o objetivo de prevenir tragédias em regiões atingidas por desastres naturais e fenômenos climáticos extremos, por meio de um conjunto de ações, compostas por quatro eixos de atuação, envolvendo: 1) prevenção; 2) mapeamento; 3) resposta; 4) Sistema de Monitoramento e Alerta (FERREIRA et al., 2015). A criação do Programa de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres no Plano Plurianual (PPA) 2012-2015 (Programa 2040) representou um marco na definição de políticas públicas relacionadas com a questão em evidência, a cargo de diversos órgãos e entidades do governo federal (BATISTA et al., 2015).

No eixo Mapeamento, o MCidades é responsável pelo apoio aos municípios para a elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização diante dos desastres naturais. Essas cartas têm como objetivo principal subsidiar o planejamento do crescimento das áreas urbanas dos municípios de modo a evitar o surgimento de novas áreas de risco de ocorrência de desastres naturais; ou seja, voltadas para a prevenção dos desastres naturais, especialmente aqueles associados a deslizamento de encostas, enxurradas, corridas de massa, inundações e processos hidrológicos e geológicos correlatos.

Cartas geotécnicas apresentam-se como ferramenta básica, essencial à prevenção e à correção de situações relacionadas com desastres naturais e tecnológicos. Com o objetivo de ações preventivas, as cartas geotécnicas subsidiam tecnicamente medidas de urbanização e de

parcelamento de terrenos, permitindo que o município ocupe adequadamente seus terrenos (DINIZ et al., 2013). Nesse sentido, têm como objeto principal a determinação da aptidão dos terrenos, comprometido com uma intervenção ou solução para o uso e ocupação do solo.

Como parte dessa ação preventiva e dando continuidade, o MCidades firmou parceria e cooperação com universidades e institutos de pesquisas por meio de descentralização de recursos orçamentários e financeiros para desenvolver um conjunto de cartas geotécnicas em diferentes condições do meio físico do país. Servirá de referência para subsidiar um termo de referência com orientações bem definidas para a elaboração desse instrumento em 106 municípios considerados críticos no âmbito do Programa Nacional de Gestão de Riscos e Resposta e Desastres.

Desse modo, o MCidades, por intermédio da Secretaria Nacional de Acessibilidade e Programas Urbanos (Snapu), firmou parceria com a UFPE, por meio do Gegep, com a finalidade de elaborar as Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização diante dos desastres naturais e induzidos. O primeiro projeto foi a elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização no município do Ipojuca, localizado na região metropolitana do Recife (RMR), estado de Pernambuco e demais produtos correlatos nas seguintes escalas: 1) escala de planejamento (1:25.000) aplicada ao plano diretor, para a totalidade ou locais representativos dos municípios; 2) escala de projeto aplicada ao parcelamento do solo (1:10.000 ou maior), em zonas de expansão urbana do município do Ipojuca ou locais representativos. O segundo projeto encontra-se, ainda, em desenvolvimento e tem como objetivo elaborar as Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização frente aos Desastres Naturais e induzidos e demais produtos correlatos em áreas pertencentes ao perímetro urbano e de expansão urbana nos municípios de Camaragibe, Abreu e Lima, Cabo de Santo Agostinho e Jaboatão dos Guararapes, localizados na região metropolitana do Recife, estado de Pernambuco, na escala 1:10.000.

Todos os projetos estão coordenados pelo Professor Roberto Quental Coutinho, que conta com a participação de uma equipe multidisciplinar dividida em eixos temáticos (Cartografia, Geologia, Geomorfologia, Recursos Hídricos, Geoprocessamento, Pedologia e Geotecnia). Com relação ao segundo projeto, a coordenação decidiu também desenvolver as cartas de 1:25.000 em toda a área dos municípios.

Esta pesquisa é parte do primeiro projeto e teve como objeto principal contribuir na elaboração da Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização frente aos Desastres Naturais e Induzidos na escala de 1:25.000 em toda a área do município do Ipojuca para os processos de movimentos gravitacionais de massa, transporte de massa (erosão), processos hidrológicos (alagamentos, enchentes e inundações) e processos geológicos correlatos (deformação de

solos), locais onde são previstas dificuldades associadas às fundações das edificações, obras de infraestrutura e obras de terraplanagem, por exemplo, os locais de ocorrência de solos moles, solos expansivos ou colapsíveis. É parte integrante dessa ação preventiva fornecer informações para a tomada de decisão quanto ao planejamento urbano o processo de licenciamento de novos parcelamentos do uso do solo, que impeçam a formação de outras áreas de risco.

A escolha do município do Ipojuca justifica-se pelo fato de que o município passa por transformações espaciais bastante expressivas, tem experimentado um processo de crescimento acelerado, decorrente da instalação do Complexo Industrial Portuário de Suape, considerado um dos principais polos de investimentos do país, e situa-se em uma área estratégica em relação às principais rotas marítimas de navegação.

O processo de urbanização contribuiu para que Ipojuca tivesse um aumento em sua densidade populacional, sem que os investimentos em infraestrutura básica dessem sustentabilidade ao aumento da população. Apesar da extensa área territorial, a zona urbana é pequena e muitas famílias moram aglomeradas nos distritos e povoados, haja vista grande parte de terras pertencer às usinas canavieiras. Resultante desse processo, foi a ocupação de áreas de risco impróprias para moradia em planícies de inundação, fundo de vales e encostas de morros ou construção de habitações e obras de infraestrutura em áreas de ocorrência de solos que provocam danos estruturais quando assentadas sobre eles. Tal situação ainda se agrava, seja pela execução de cortes e aterros inadequados, seja pelo acúmulo e lançamento de lixo em encostas e margens de rios, obstrução das drenagens naturais, desmatamentos e construções sem a infraestrutura apropriada.

Apesar de projetos habitacionais e do Plano Diretor do município, o que se observa é a fragilidade institucional do município dado que não conseguem ter controle das ocupações irregulares, pela ausência de estrutura de fiscalização por parte das autoridades públicas. Também não conseguem implementar as diretrizes estabelecidas pelo seu plano diretor, uma vez que esse é o principal instrumento de planejamento urbano. Ao contrário, observa-se uma enorme defasagem entre as diretrizes estabelecidas no zoneamento do município e a realidade encontrada.

O município não obedece a nenhum critério de planejamento em relação ao meio físico, suas restrições geológico-geotécnicas que possam ser utilizadas como ferramenta de auxílio ao planejamento e controle do uso e ocupação do solo. Dessa forma, as normas e diretrizes de uso e ocupação do solo que compõem a lei do Plano Diretor elaboraram-se com base em critérios que não levaram em conta as características geotécnicas dos solos.

Com o intuito de contribuir para a elaboração das diretrizes para o planejamento da ocupação do município do Ipojuca, considerando-se os aspectos geológico-geotécnicos do meio físico, esta pesquisa realizou o zoneamento e a avaliação das unidades de aptidão à urbanização em toda a área do município. Definido em três classes de aptidão à urbanização: alta, média e baixa. Essas classes apresentam-se em um quadro legenda (quadro-síntese) com informações sobre as características geotécnicas de cada unidade, os processos geodinâmicos a que as unidades podem estar sujeitas e as recomendações necessárias para o uso e ocupação do solo urbano daqueles locais, e a Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização diante dos desastres naturais do município.

Dessa forma, espera-se que a cartografia geotécnica de aptidão à urbanização elaborada por esta pesquisa se constitua em uma importante ferramenta de gestão territorial. As informações geradas têm por propósito fornecer dados e contribuir para as diversas ações de planejamento municipal (Plano Diretor, Código de Obras, dentre outras), permitindo que o município ocupe adequadamente seus terrenos, minimizando a ocorrência de desastres.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Esta tese tem como objetivo principal elaborar a Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização frente aos Desastres Naturais e Induzidos na escala de 1:25.000 do município do Ipojuca, Pernambuco, fornecendo dados que contribuam para as diversas ações de planejamento municipal.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Abordar a normatização referente à gestão de riscos de desastres do Brasil destacando a adoção da Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização como instrumento preventivo a ocorrência de desastres.
- b) Realizar o mapeamento geotécnico em toda a área do município do Ipojuca na escala de 1:25.000 (planejamento municipal).

- c) Fazer a caracterização geotécnica das Unidades de Terreno com a utilização do banco de dados de sondagens e resultados dos ensaios de caracterização geotécnica com ênfase na Formação Cabo.
- d) Elaborar o mapa de zoneamento para o aproveitamento de agregados para a construção civil;
- e) Utilizar Sistemas de Informação Geográfica (SIG) como instrumento principal de coleta, armazenamento, análise dos dados de interesse para o cruzamento de informações georreferenciadas sobre a área de estudo.

1.3 ESTRUTURA DA TESE

O trabalho divide-se em oito seções, iniciadas pela introdução, em que se fazem alguns comentários ainda de forma bastante abrangente, tratando genericamente do tema da pesquisa, da sua importância, dos objetivos da pesquisa e estrutura da tese.

Na segunda, terceira e quarta seção, apresentam-se os fundamentos teóricos sobre os assuntos considerados essenciais para o tema da tese.

A quinta seção trata da caracterização da área de estudo. São apresentados localização e acesso da área, características físicas, aspectos socioeconômicos, processo de urbanização do município, plano diretor.

A metodologia, tema da sexta seção, aborda os procedimentos utilizados nas diferentes etapas do processo de mapeamento e da pesquisa em sua totalidade, os métodos, as técnicas e os processos adotados na pesquisa, principalmente no levantamento e processamento de dados quando na elaboração dos mapas.

A sétima seção aborda a apresentação dos resultados de forma objetiva. Esses dados são apresentados na forma de mapas. Realiza-se, também, uma análise e discussão das unidades de terreno e aptidão.

As conclusões e recomendações são apresentadas na seção 8, e posteriormente são apresentados os autores citados cujos trabalhos deram suporte à pesquisa.

2 PRINCIPAIS PROCESSOS DA DINÂMICA SUPERFICIAL E PROCESSOS GEOLÓGICOS E HIDROLÓGICOS CORRELATOS

A intervenção do homem no meio natural, sem a devida preocupação com os processos atuantes na superfície terrestre ocasiona intensificação e aceleração dos processos naturais de evolução do relevo. Esse problema se acentua por ocupações inadequadas em regiões e locais extremamente problemáticos, tais como áreas propícias ao desenvolvimento de deslizamentos ou erosões intensas; áreas sujeitas a inundações; terrenos suscetíveis a recalques entre outras (PRANDINI et al., 1995).

Nas últimas cinco décadas, pesquisas têm mostrado que houve um aumento considerável na frequência e na intensidade dos desastres naturais, o que resultou em sérios danos e prejuízos socioeconômicos em todo o globo. Dentre os principais fatores responsáveis pelo aumento do registro dos desastres naturais em todo o mundo, citam-se: o crescimento populacional, a segregação socioespacial (aumento das favelas e bolsões de pobreza), a ocupação da zona costeira e as mudanças climáticas globais (ALHEIROS, 1992; COUTINHO, 2010; GUSMÃO FILHO; MELO; GUSMÃO FILHO et al., 1993; MARCELINO et al., 2006; SCHUSTER; HIGHLAND, 2007).

Segundo Carvalho e Galvão (2006), os principais fenômenos relacionados com desastres naturais no Brasil são os deslizamentos de encostas e as inundações, fenômenos esses associados a eventos pluviométricos intensos e prolongados, que se repetem anualmente a cada período chuvoso mais severo. Ainda de acordo com esses autores, são os deslizamentos que causam o maior número de vítimas com morte no território brasileiro.

A avaliação da importância de cada processo do meio físico é dificultada pelos diferentes impactos (sociais, econômicos e ambientais) associados. A ocorrência de erosão, afundamentos cársticos, colapsos e adensamentos de solo, apesar de provocarem grandes perdas econômicas (danos em casas, prédios, estradas, tubulações, etc.), normalmente não são responsáveis por perda de vidas humanas. Nesse caso sua importância verifica-se pelo forte impacto econômico, quase sempre relacionado com o uso inadequado do solo em consequência do desconhecimento das características físicas dos terrenos.

Coutinho e Silva (2005) comentam que os movimentos de massa têm sido objeto de amplos estudos por sua importância como agentes atuantes na evolução das formas de relevo e de sua importância do ponto de vista econômico e social. Considerando essa linha de estudos, são desenvolvidas pesquisas atuando de forma a detalhar processos de movimento de massa em áreas da região metropolitana do Recife por meio do Gegep.

Esta seção tem como objetivo apresentar conceitos que auxiliarão para a compreensão dos movimentos gravitacionais de massa, processos de transporte de massa (erosão) e processos geológicos e hidrológicos correlatos. Esses processos geológicos e hidrológicos são os que ocorrem com mais frequência na área de estudo.

2.1 MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA

Os prejuízos causados por um movimento gravitacional de massa não se resumem a perdas econômicas, mas, principalmente, à perda de vidas humanas (GUZZETTI; TONELLI, 2004). Geralmente essas perdas são em números expressivos, como visto no maior desastre natural relacionado com deslizamento ocorrido no Brasil, registrado no mês de janeiro de 2011 na Região Serrana do Rio de Janeiro. O evento causou um número incalculável de cicatrizes de deslizamentos em encostas e danos materiais nos municípios atingidos, provocando oficialmente 912 mortes e mais de 45 mil desabrigados e desalojados.

2.1.1 Definições

Os movimentos gravitacionais de massa são definidos como o deslocamento dos materiais que formam as encostas, incluindo rocha, solo, preenchimento, ou quaisquer combinações desses, no sentido para baixo e para fora da encosta sob a influência da gravidade (VARNES, 1978). Os movimentos podem ser induzidos por meio de um agente deflagrador como a água, o gelo, a neve e o ar, tombando, deslizando, espalhando-se ou fluindo (CRUDEN; VARNES, 1996).

Segundo Hutchinson (1968), os movimentos gravitacionais de massa são movimentos induzidos pela ação da gravidade, por exemplo, os deslizamentos de encostas e as quedas e tombamentos de blocos rochosos. Os movimentos regidos por um agente de transporte como água, gelo, neve ou ar são denominados processos de transporte de massa.

2.1.2 Classificações de movimentos gravitacionais de massa

Existem inúmeros tipos de classificações de movimentos gravitacionais de massa envolvendo variados materiais, processos e fatores condicionantes como Cruden e Lan (2015), Cruden e Varnes (1996), Guthrie (2013), Hungr, Leroueil e Picarelli (2014), Hutchinson (1968) e Varnes (1978). A classificação de movimentos gravitacionais de massa proposta por Cruden

e Varnes (1996) ainda é uma das mais utilizadas em todo o mundo, sendo considerada a classificação oficial da International Association of Engineering Geology (IAEG). Essa classificação é bem simples e baseia-se no tipo de movimento e do material transportado. O Quadro 2.1 apresenta a classificação dos tipos de movimentos proposta por Cruden e Varnes (1996).

Quadro 2.1 – Classificação dos tipos de movimentos gravitacionais de massa

TIPOS DE MOVIMENTO	TIPO DE MATERIAL		
	ROCHA	SOLO	
		PREDOMINANTEMENTE GROSSO	PREDOMINANTEMENTE FINO
Queda	Queda de rocha	Queda de detritos	Queda de solo
Tombamento	Tombamento de rocha	Tombamento de detritos	Tombamento de solo
Deslizamento	Deslizamento de rocha	Deslizamento de detritos	Deslizamento de solo
Expansão Lateral	Expansões laterais de rocha	Expansões laterais de detritos	Expansões laterais de solo
Fluxo	Movimento lento/ Fluxo de rocha	Movimento lento/Fluxo de detritos	Movimento lento/Fluxo de solo-lama

Fonte: Coutinho e Silva (2006) adaptado de Cruden e Varnes (1996).

2.1.3 Tipos de movimentos gravitacionais de massa

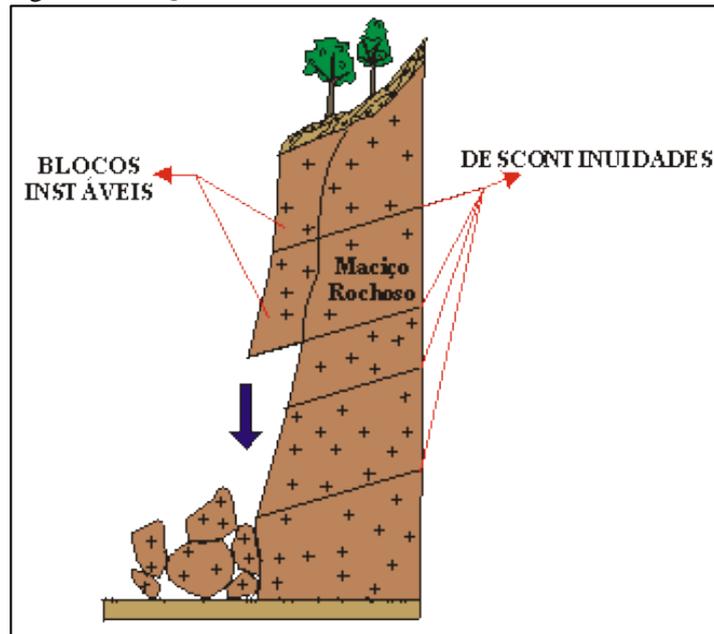
Nesta seção são descritos alguns dos principais tipos de movimento gravitacional de massa, com suas principais características. Esses movimentos são agrupados em cinco classes: conforme descrito no Quadro 2.1.

2.1.3.1 *Queda de blocos*

A queda, o rolamento e deslocamento de blocos ocorrem com velocidade rápida ou extremamente rápida, podendo atingir grandes distâncias, e os volumes são pequenos a médios.

- Queda de blocos – blocos de rocha de diferentes tamanhos e litologia que se destacam dos taludes ou encostas íngremes e se deslocam em movimentos de queda livre (Figura 2.1 e Fotografia 2.1).

Figura 2.1 – Queda de blocos rochosos



Fonte: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/riscos/risco11c.html>>. Acesso em: 8 jan. 2016.

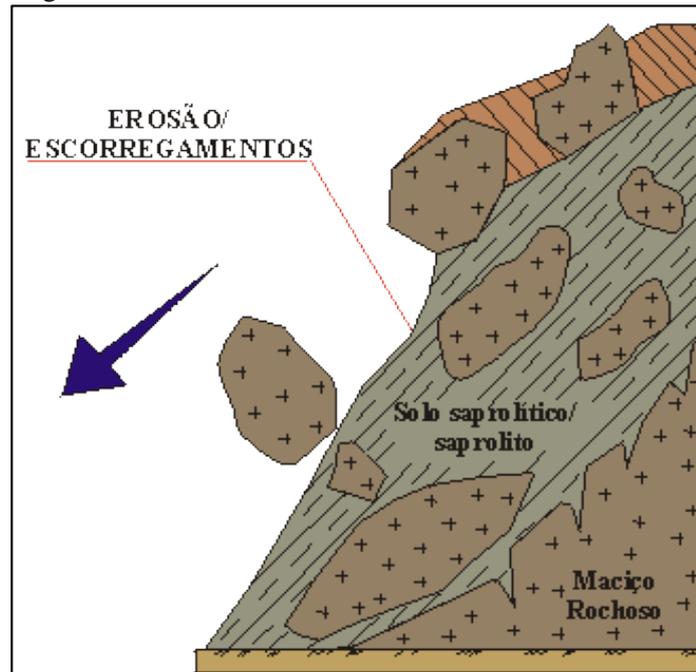
Fotografia 2.1 – Exemplo de queda de blocos rochosos (Costa Verde-RJ)



Fonte: <http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/T19990907/photos/alb_photos/069.jpg>. Acesso em: 21 jan. 2016.

- Rolamento de blocos – corresponde a movimento de blocos rochosos ao longo de superfícies inclinadas. Esses blocos normalmente se encontram parcialmente imersos em matriz terrosa e se desprendem dos taludes e encostas por perda de apoio (Figura 2.2 e Fotografia 2.2).

Figura 2.2 – Rolamento de blocos rochosos



Fonte: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/riscos/risco11c.html>>. Acesso em: 8 jan. 2016.

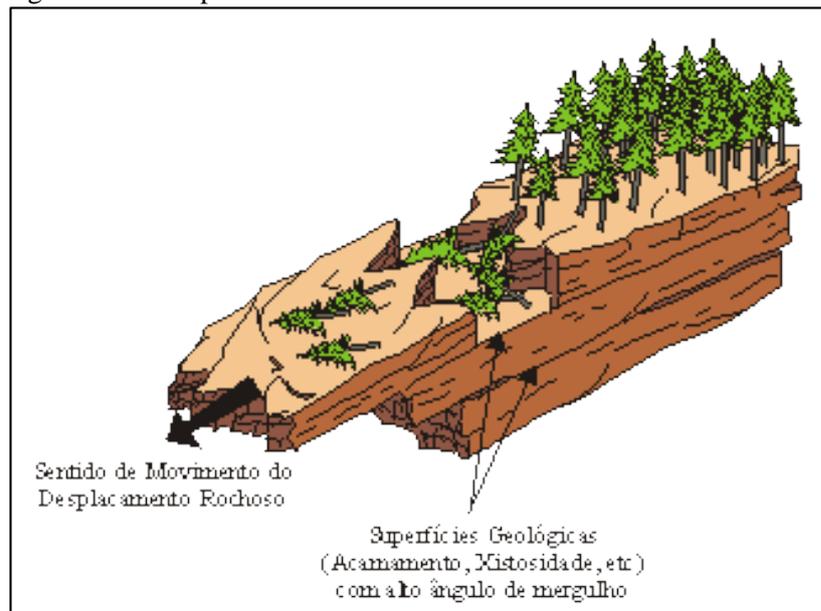
Fotografia 2.2 – Exemplo de rolamento de blocos rochosos (Angra dos Reis-RJ)



Fonte: http://www2.uol.com.br/sciam/reportagens/movimentos_gravitacionais_de_massa_tragedias_de_verao_imprimir.html>. Acesso em: 8 jan. 2016.

- Deslocamento rochoso – lascas ou placas de rocha se desprendem condicionadas pelas feições geológicas presentes em razão de variações térmicas ou alívio de tensão. O deslocamento pode ser por queda livre ou por deslizamento ao longo de uma superfície inclinada (Figura 2.3 e Fotografia 2.3).

Figura 2.3 – Deslocamento rochoso



Fonte: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/riscos/risco11c.html>>. Acesso em: 8 jan. 2016.

Fotografia 2.3 – Exemplo de deslocamento rochoso (Laginha, município de Pancas-ES)

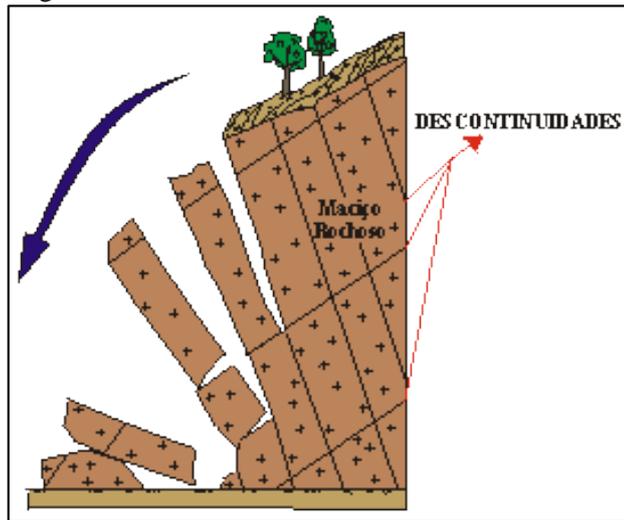


Fonte: <<http://jetibaonline.com/desplacamento-de-rochas-assusta-moradores-de-pancas/>>. Acesso em: 20 abr. 2016.

2.1.3.2 Tombamento de blocos

Movimento que ocorre pela rotação dos blocos rochosos (colunas ou placas), condicionado pela presença de estruturas geológicas no maciço rochoso, descontinuidades verticais e subverticais, ação da gravidade e poropressão em fraturas (Figura 2.4 e Fotografia 2.4).

Figura 2.4 – Tombamento de blocos rochosos



Fonte: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/riscos/risco11c.html>>. Acesso em: 8 jan. 2016.

Fotografia 2.4 – Exemplo de tombamento de blocos rochosos



Fonte: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/riscos/risco11c.html>>. Acesso em: 8 jan. 2016.

2.1.3.3 Deslizamentos

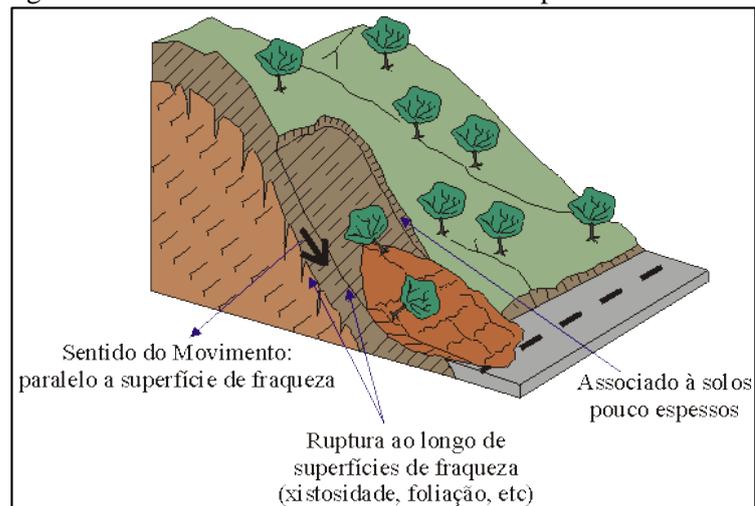
Os deslizamentos são movimentos rápidos de massas de solo ou rocha, de curta duração, com plano de ruptura bem definido, permitindo a distinção entre o material deslizado e aquele não movimentado, cujo centro de gravidade se desloca para baixo e para fora do talude (natural, de corte ou aterro) ao longo de uma superfície de deslizamento.

A movimentação nos deslizamentos propriamente dita ocorre por meio de deformação e deslocamento cisalhantes, ao longo de uma ou várias superfícies facilmente observáveis, ou ainda dentro de uma zona estreita que pode ser bem definida. Os deslizamentos dividem-se em translacionais, rotacionais e em cunha em razão de sua geometria e da natureza do material que instabilizam.

- Deslizamentos translacionais ou planares – os deslizamentos translacionais ou planares de solo envolvem solos superficiais pouco espessos e, frequentemente, atingem a rocha subjacente, alterada ou não (Figura 2.5 e Fotografia 2.5). São processos muito frequentes nas encostas serranas brasileiras. Ocorrem em taludes, com um plano de fraqueza, mobilizando solo saprolítico e rocha, condicionados por estruturas planares desfavoráveis à estabilidade, relacionadas com feições geológicas diversas. Podem ocorrer em taludes, mobilizando solo saprolítico, saprolitos e rochas, sendo condicionados por estruturas planares desfavoráveis à estabilidade, relacionados com feições geológicas diversas, tais como foliação, xistosidade, fraturas, falhas, etc. (COUTINHO; BANDEIRA, 2012).

Na região metropolitana do Recife, segundo Gusmão Filho (1997), tem sido observado que os deslizamentos de solos, na maioria, são rasos e a superfície de ruptura é translacional, paralela ao talude.

Figura 2.5 – Deslizamentos translacionais ou planares



Fonte: <<http://avaliacaoriscosbc.blogspot.com.br/2013/03/tipos-de-escorregamentos.html>>. Acesso em: 8 jan. 2016.

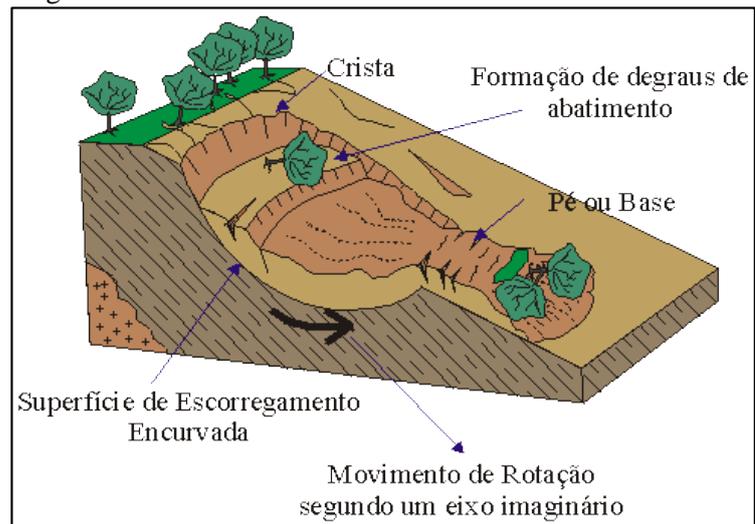
Fotografia 2.5 – Exemplo de deslizamentos translacionais ou planares (Praia do Bananal, Ilha Grande - RJ, em 2010)



Fonte: <<http://www.aquafluxus.com.br/quando-a-terra-vem-abaixo>> Acesso em: 10 jan. 2016.

- Deslizamentos rotacionais ou circulares – nesses deslizamentos a massa movimentada forma superfícies de deslizamento encurvadas e côncavas, que “rotacionam” segundo um eixo imaginário. Normalmente, estão associados a materiais homogêneos, aterros, depósitos mais espessos, rochas sedimentares ou cristalinas intensamente fraturadas (COUTINHO; SILVA, 2006). Segundo Varnes (1978), quando a superfície de ruptura desloca-se do topo (crista) até a base do talude, a massa instável tende a restaurar seu equilíbrio, porque a quantidade de movimento decresce e a massa deslizada cessa o movimento. Após o movimento, é possível perceber a formação de degraus de abatimento (Figura 2.6 e Fotografia 2.6).

Figura 2.6 – Deslizamentos rotacionais ou circulares



Fonte: <<http://avaliacaoriscosbc.blogspot.com.br/2013/03/tipos-de-escorregamentos.html>>. Acesso em: 8 jan. 2016.

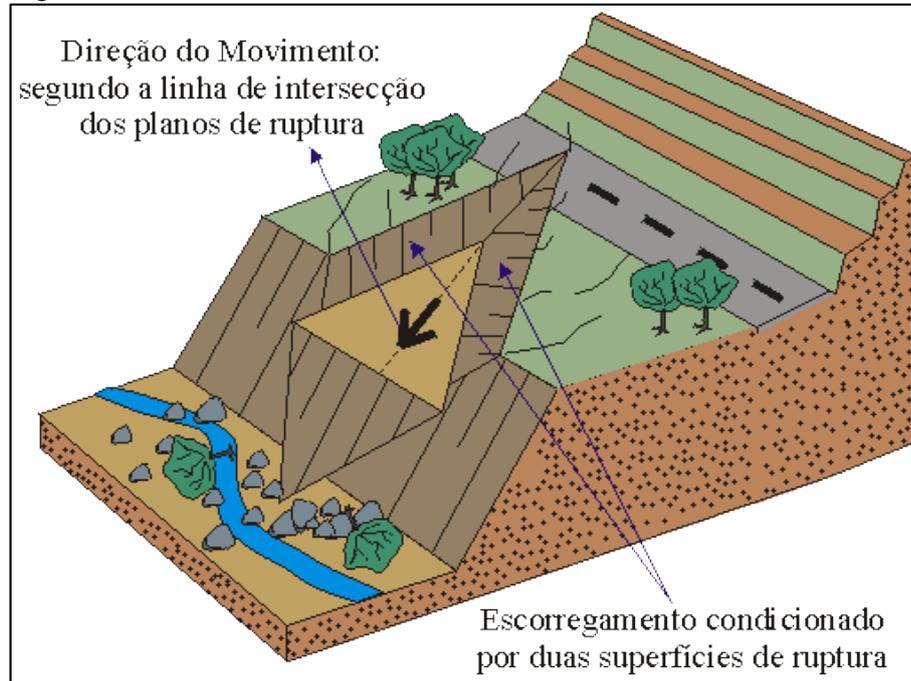
Fotografia 2.6 – Exemplo de deslizamentos rotacionais ou circulares (Cabo de Santo Agostinho-PE)



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015, 17 fev. 2015.

- Deslizamentos em cunha – esses deslizamentos estão associados a planos de fraqueza formados pelas discontinuidades que se interceptam formando um eixo ao longo da qual a cunha escorrega. Ocorre normalmente em maciços rochosos e saprólitos. Esses processos são mais comuns em taludes de corte ou em encostas que sofreram algum tipo de desconfinamento, natural ou antrópico (Figura 2.7 e Fotografia 2.7).

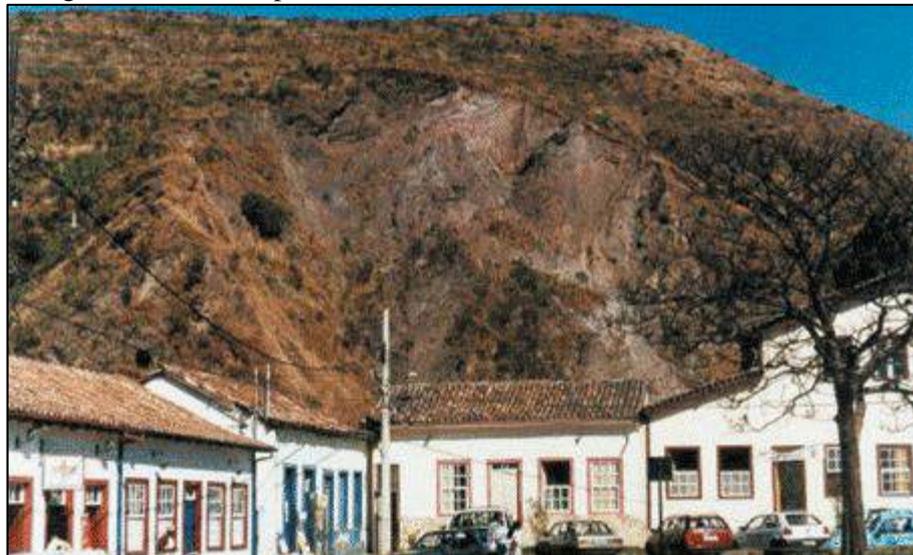
Figura 2.7 – Deslizamentos em cunha



Fonte: <<http://avaliacaoriscosbc.blogspot.com.br/2013/03/tipos-de-escorregamentos.html>>.

Acesso em: 8 jan. 2016.

Fotografia 2.7 – Exemplo de deslizamento em cunha (Ouro Preto-MG)

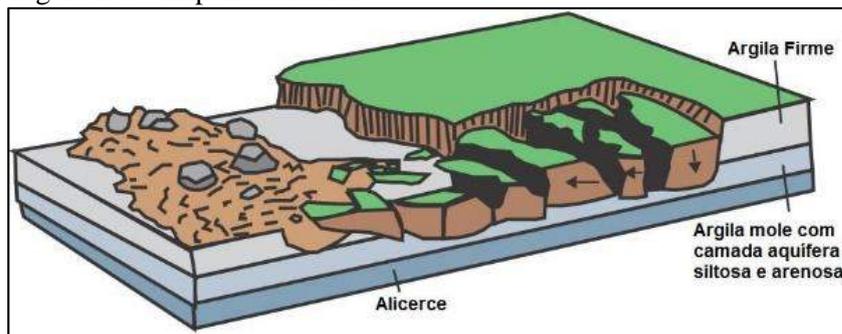


Fonte: Pinheiro, Sobreira e Lana (2003).

2.1.3.4 Expansão lateral

Expansões laterais – são movimentos caracterizados pela expansão de um solo coesivo ou uma massa de rocha combinado com uma subsidência da massa fraturada em uma camada de material subjacente que apresenta pouca resistência (CRUDEN; VARNES, 1996). Segundo Varnes (1978), as expansões laterais típicas de rochas são movimentos que não apresentam superfície de ruptura definida e as expansões laterais em solos ocorrem em consequência da liquefação dos materiais de camadas subjacentes (Figura 2.8 e Fotografia 2.8).

Figura 2.8 – Expansão lateral



Fonte: USGS (2004).

Fotografia 2.8 – Exemplo de expansão lateral



Fonte: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:25_Feb_2011_River_Road.jpg>. Acesso em: 8 jan. 2016.

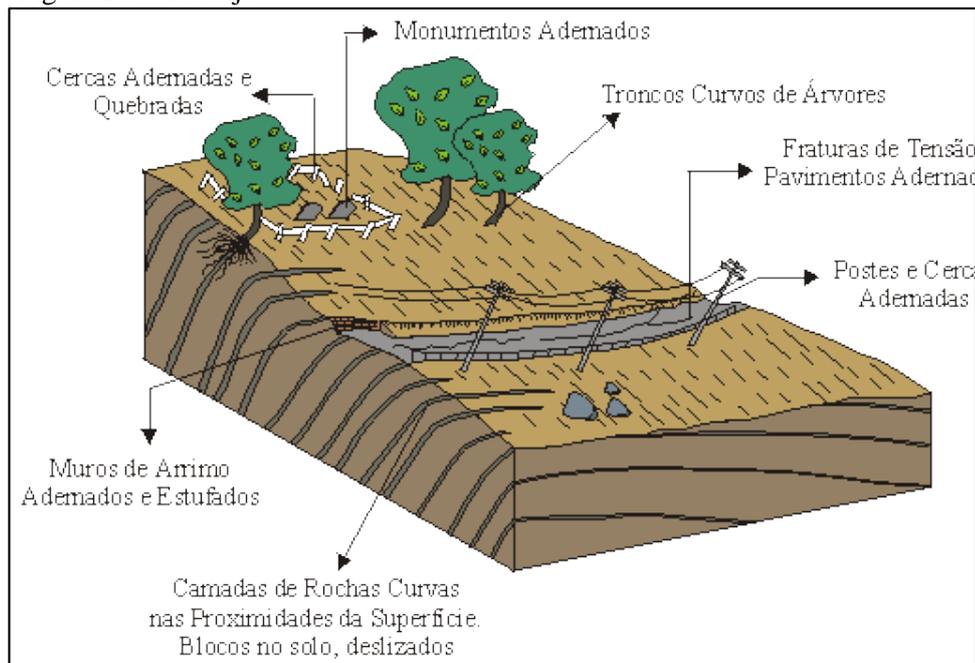
2.1.3.5 Fluxo: corrida e rastejo

São movimentos contínuos ao longo de uma superfície na qual a movimentação ocorre. Guidicini e Nieble (1984) classificam os fluxos em movimentos lentos (rastejos, Figura 2.9 e Fotografia 2.9) e movimentos rápidos (corridas, Figuras 2.10 e Fotografia 2.10).

As corridas são movimentos gravitacionais de alta velocidade, nos quais os materiais se comportam como fluidos altamente viscosos pela perda completa das características de resistência do solo. O material pode deslocar-se por grandes distâncias, por seu comportamento fluido, podendo envolver materiais como solos, rochas, matéria orgânica, detritos, ar e água. As corridas estão geralmente associadas à concentração excessiva dos fluxos superficiais de água provenientes de precipitações anômalas, que deflagram em algum ponto da encosta (GERSCOVICH, 2012).

Os rastejos caracterizam-se por movimentos lentos e contínuos, podem ser identificados por intermédio de indícios indiretos, tronco curvo de árvores, deslocamento de postes, cercas, muros e pequenos abatimentos ou degraus nas encostas.

Figura 2.9 – Rastejo



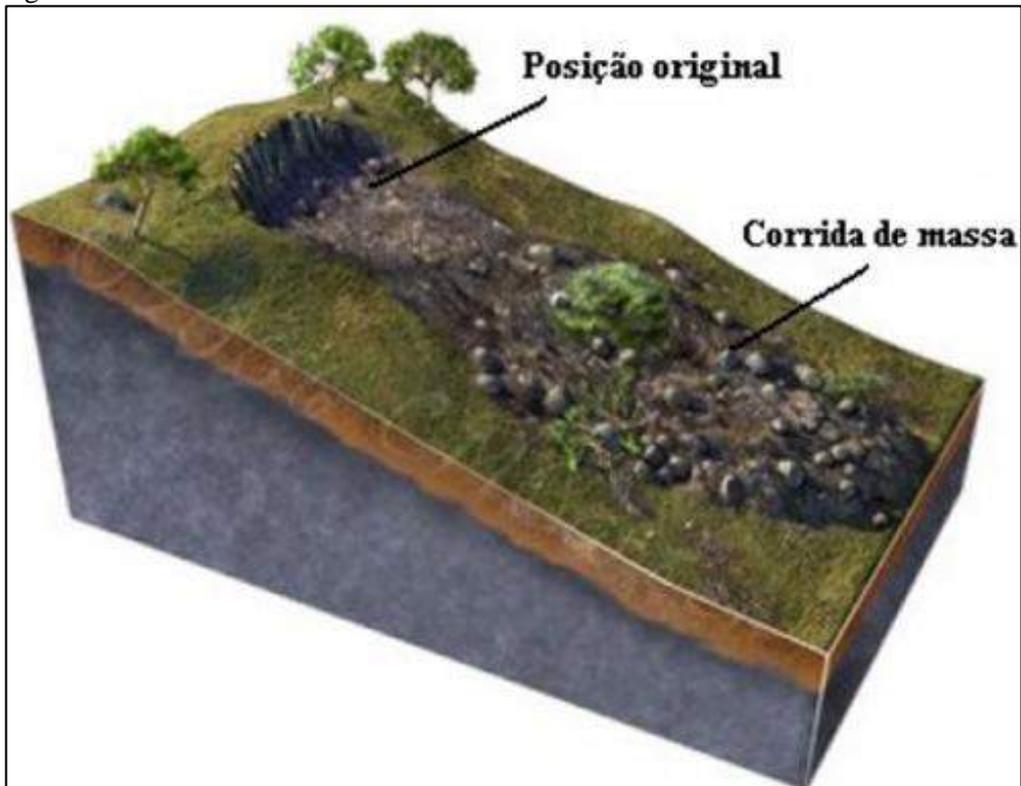
Fonte: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter09a.html>>. Acesso em: 8 jan. 2016.

Fotografia 2.9 – Exemplo de área afetada por rastejo (acesso ao Distrito de Camela, Ipojuca-PE, maio 2014)



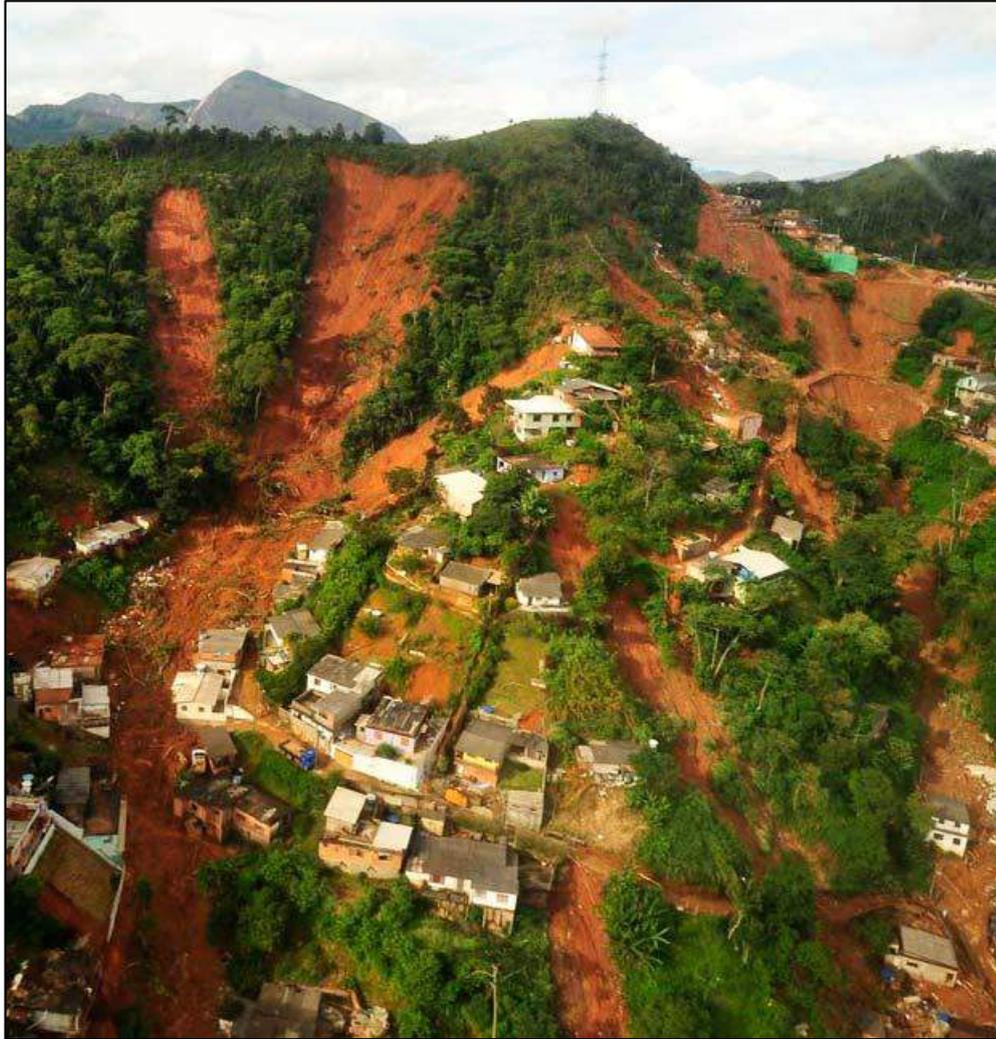
Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Figura 2.10 – Corridas



Fonte: <<http://ageoesta.blogspot.com.br/2011/06/movimentos-gravitacionais-de-massa.html>>. Acesso em: 8 jan. 2016.

Fotografia 2.10 – Exemplo de área afetada por corridas (Região Serrana do Rio)



Fonte: <http://paulonoel.blogspot.com.br/2011_01_09_archive.html>.
Acesso em: 8 jan. 2016.

2.1.4 Causas e condicionantes dos movimentos gravitacionais de massa

Os movimentos de massa ocorrem sob a influência de fatores naturais, antrópicos, ou ambos. As causas ou fatores influentes nos movimentos de massa devem ser bem entendidos, para que acontecimentos similares possam ser previstos, controlados e evitados, uma vez que ocorrem sob a influência de fatores geológicos, topográficos e climáticos específicos que se repetem em várias regiões do planeta (SOUZA, 2014).

Segundo Cruden e Varnes (1996), as causas e características que contribuem para os movimentos de massa estão sumarizadas no Quadro 2.2, agrupados em quatro grupos (geológicos, morfológicos, físicos e antrópicos) de acordo com as ferramentas e os procedimentos necessários para iniciar uma investigação.

Quadro 2.2 – Inventário de causas de movimentos de massa

CAUSAS GEOLÓGICAS	CAUSAS MORFOLÓGICAS
a. Materiais fracos b. Materiais sensíveis c. Materiais desgastados (intemperizados) d. Materiais cisalhados e. Materiais fissurados f. Massa com descontinuidade orientada adversamente (estratificação, xistosidade, etc.) g. Estrutura com descontinuidade orientada adversamente (falha, contato, sem conformidade) h. Contraste na permeabilidade i. Contraste na rigidez (duro, material denso sobre material plástico).	a. Subpressão tectônica ou vulcânica b. Reação glacial c. Erosão fluvial de pé de talude d. Erosão de onda de pé de talude e. Erosão glacial de pé de talude f. Erosão de margens laterais g. Erosão subterrânea (dissolução, <i>piping</i>) h. Deposição de carga no talude ou na sua crista i. Remoção da vegetação (pôr fogo na floresta, seca).
CAUSAS FÍSICAS	CAUSAS ANTRÓPICAS
a. Chuvas intensas b. Derretimento rápido de neve c. Precipitação excepcional prolongada d. Rebaixamento rápido (de inundações e marés) e. Terremoto f. Erupção vulcânica g. Descongelamento h. Intemperismo/desgaste devido ao congelamento-edescongelamento i. Intemperismo/desgaste devido à contração-expansão	a. Escavação de talude ou do seu pé b. Carregamento de talude ou de sua crista c. Rebaixamento (de reservatórios) d. Desmatamento e. Irrigação f. Mineração g. Vibração artificial h. Vazamento de águas servidas ou de abastecimento

Fonte: Coutinho e Severo (2009 apud CRUDEN; VARNES, 1996).

Conforme descrição de Cruden e Varnes (1996), os principais mecanismos deflagradores de movimentos de massa estão relacionados com o aumento das solicitações e a redução da resistência dos terrenos, associados aos fenômenos naturais e às atividades antrópicas atuantes na área. O Quadro 2.2, apresentado anteriormente, descreve de forma sucinta os principais grupos de fatores e suas causas que influenciam na ocorrência dos movimentos de massa. Esses fatores são externos à condição natural do talude e são os principais responsáveis pelo volume de massa movimentada e a velocidade do movimento. O

Quadro 2.3 apresenta os fatores de acordo com o aumento da sollicitação e a redução da resistência.

Quadro 2.3 – Fatores deflagradores dos movimentos de massa

AÇÃO	FATORES	FENÔMENOS GEOLÓGICOS/ANTRÓPICOS
AUMENTO DA SOLICITAÇÃO	REMOÇÃO DE MASSA (lateral ou da base)	- Erosão, escorregamentos -Corte
	SOBRECARGA	-Peso da água de chuva, etc. -Depósito de material -Peso da vegetação -Contenção de estruturas, aterros, etc.
	SOLICITAÇÕES DINÂMICAS	-Terremotos, ondas, etc. -Explosões, tráfego, sismos induzidos
	PRESSÕES LATERAIS	-Água em trincas, congelamento, material expansivo
REDUÇÃO DA RESISTÊNCIA	CARACTERÍSTICA INERENTE AO MATERIAL (textura, geometria, estrutura, etc.)	- Características geomecânicas do material, tensões iniciais
	MUDANÇAS OU FATORES VARIÁVEIS	-Intemperismo – redução da coesão, ângulo de atrito Elevação do nível de água -aumento da umidade com redução da sucção.

Fonte: Coutinho e Silva (2006) baseados em Varnes (1978).

2.2 PROCESSOS DE TRANSPORTE DE MASSA: EROÇÃO

Segundo Salomão e Iwasa (1995), a erosão pode ser definida como processo de desagregação e remoção de partículas do solo ou fragmentos e partículas de rochas por meio da ação combinada da gravidade com a água, o vento, gelo e/ou organismos como plantas e animais.

É um fenômeno que, com intensidades diferentes e em consequências variadas, causa perdas de solo e de seus nutrientes. Promovem situações de risco para a comunidade, ante o seu grande poder destrutivo, ameaçando habitações e obras públicas, transformando-se no condicionante mais destacado na limitação para a expansão urbana e assentamento de obras de infraestrutura.

O processo de desgaste do solo ou da rocha ocorre em consequência da atuação dos fatores naturais e antrópicos. O primeiro resulta da ação da própria natureza sobre a superfície terrestre (em tempo geológico – erosão geológica), modificando lentamente o solo mediante seus agentes, como os ventos (erosão eólica), a água (erosão hídrica), as ondas (erosão marinha

ou costeira), a erosão glacial, a gravidade, a bioerosão (erosão por organismos vivos: peixes, moluscos, crustáceos, líquens, etc.) e as mudanças climáticas (STEPHAN, 2010).

O segundo fator tem como principal agente deflagrador o homem. Caracteriza-se como um processo rápido e altamente destrutivo (erosão acelerada), causado por desmatamentos, corte de estradas, construção de barragens, ocupação desordenada das encostas, técnicas agrícolas inadequadas, mineração, etc. (STEPHAN, 2010).

Esta revisão bibliográfica se limitará a uma descrição sucinta sobre a erosão hídrica pluvial, visto que é a que traz riscos na área do presente estudo.

A erosão do solo que tem a água das chuvas como principal agente erosivo denomina-se erosão hídrica pluvial. Ela se inicia com o impacto das chuvas sobre o solo provocando ruptura dos agregados. Em seguida, dependendo da intensidade e duração da chuva, ocorre o aumento do grau de saturação do solo e diminuição da infiltração da água. O escoamento superficial desempenha um papel importante no processo, e dependendo da forma como ocorre, podem-se desenvolver erosões laminares ou lineares.

A Erosão Laminar é o resultado do escoamento superficial da água, que, distribuída de forma divergente pelas vertentes, resulta na remoção progressiva do solo nas camadas superficiais. Erosão Linear ocorre em razão do fluxo convergente da água ao longo das vertentes em conjunto com a densidade e velocidade do escoamento. Pode ser evidenciada por tonalidades mais claras dos solos, exposição de raízes e queda da produtividade agrícola em consequência da perda do horizonte orgânico do solo.

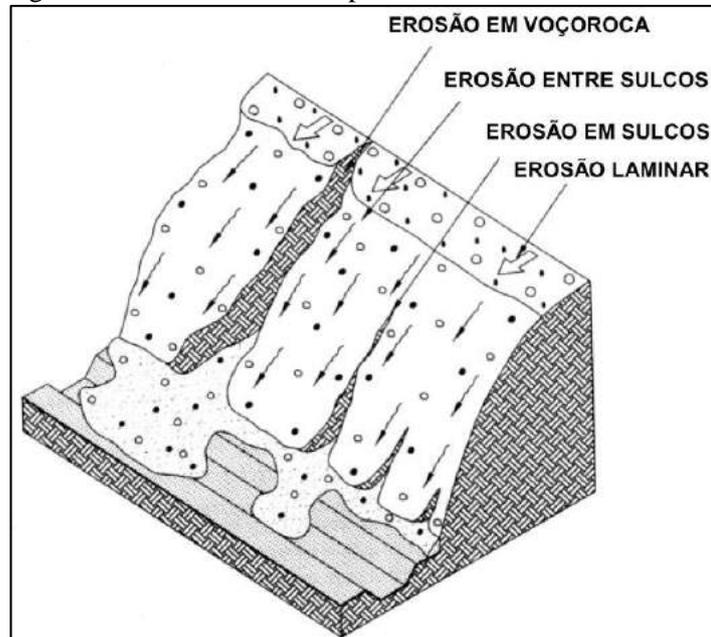
O processo para desenvolvimento da erosão linear inicia-se com a erosão superficial, que, aos poucos, desenvolve a formação de canais permitindo, assim, um escoamento concentrado. Esses canais são chamados de sulcos e, em geral, têm profundidade e largura, inicialmente, pouco expressivas. Carvalho et al. (2006) afirmam que sulcos são pequenos canais, de até 10 cm de profundidade. O aumento da concentração de água em determinados sulcos faz que eles evoluam progressivamente em razão da ocorrência de pequenas rupturas, aumentando, assim, suas dimensões e evoluindo para as ravinas. Estas apresentam feições erosivas bem definidas.

Segundo Oliveira (1999), nas ravinas devem ser considerados mecanismos de erosão que envolvem movimento de massa, representados pelos pequenos deslizamentos de suas bordas, que contribuem para o aumento de suas dimensões. Oliveira (1999) observa, ainda, que as ravinas são normalmente de forma alongada, com profundidades variáveis, raramente são ramificadas e não atingem o nível de água subterrânea. Ao atingir o lençol freático, ocorre então

a contribuição das águas subterrâneas no processo erosivo, passando, assim, ao estágio de voçoroca.

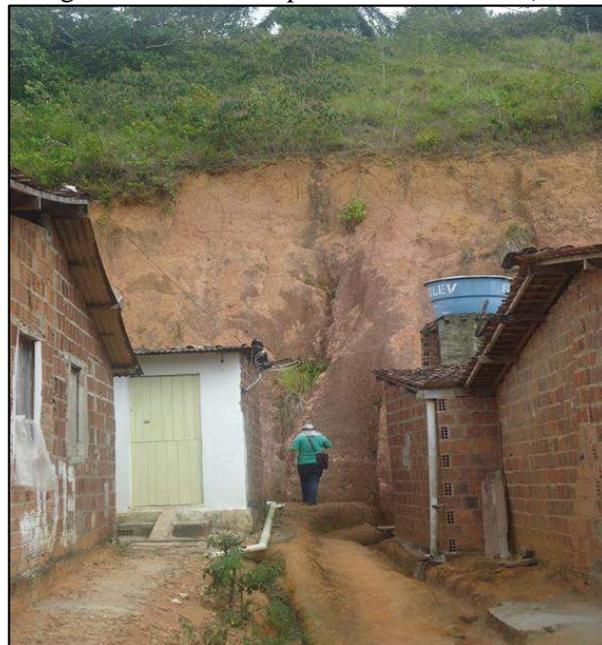
Na Figura 2.11, podemos observar três tipos de feições erosivas: sulcos, ravinas e voçorocas, e na Fotografia 2.11, observa-se um exemplo de erosão linear em Ipojuca-PE.

Figura 2.11 – Erosão hídrica pluvial



Fonte: Llopis Trillo (1999 apud BANDEIRA, 2003).

Fotografia 2.11 – Exemplo de erosão linear (sulcos) em Ipojuca-PE



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

- Sulcos – são causados pela formação de canais sinuosos ao longo das linhas de fluxo de água ocasionada por chuvas de grande intensidade, em terrenos de elevada declividade, que podem aprofundar-se e formar ravinas.
- Ravinas – são grandes depressões no solo causadas pelo escoamento superficial da água em solos onde a vegetação é escassa que, ao persistirem no mesmo local por longos períodos, podem evoluir para voçorocas.
- Voçorocas – são canais esculpidos pelo afloramento do lençol freático, causados pela água da chuva e intempéries, em solos onde a vegetação é escassa e não protege mais o solo, que fica cascalhoso e suscetível de carregamento por enxurradas. É um processo erosivo com maior poder destrutivo, correspondendo à passagem gradual do processo de ravinamento até atingir o lençol freático, com surgências d'água.

2.2.1 Fatores condicionantes

Segundo Coutinho e Silva (2006), os processos erosivos são resultantes de um conjunto de fatores condicionantes naturais e antrópicos que influenciam no seu desenvolvimento. Os principais fatores naturais são chuva, topografia, geologia, solos e cobertura vegetal. Como fatores antrópicos, podemos destacar o desmatamento e as construções inadequadas.

A ocupação inadequada e desordenada estimula o desmatamento, a construção e expansão de núcleos urbanos irregulares por meio de cortes e aterros inadequados, sistema de drenagem deficiente, entre outros. Todas essas ações interferem e alteram o equilíbrio natural do solo, originando e aumentando a intensidade dos processos erosivos.

2.3 PROCESSOS HIDROLÓGICOS – INUNDAÇÃO, ENCHENTES, CHEIAS, ALAGAMENTOS E ENXURRADAS

São desastres naturais que atingem, de forma significativa e constante, diversas comunidades, rurais ou urbanas, brasileiras e também no cenário mundial. Tais fenômenos naturais fazem parte de um ciclo normal e ocorrem, geralmente, como consequência de chuvas rápidas e fortes, chuvas intensas de longa duração e outros eventos climáticos – eventos meteorológicos extremos. Porém, podem ser intensificados por alterações feitas pelo homem, como intervenções urbanas, tais como retificação de canais e rios, impermeabilização do solo, desmatamento de áreas ribeirinhas e apropriação das planícies de inundação pela agricultura, indústria e cidades (CARVALHO; MACEDO; OGURA, 2007). Esses fenômenos naturais têm

ocorrido com elevada frequência e magnitude em áreas urbanas, causando significativos prejuízos à economia e perda de vidas humanas.

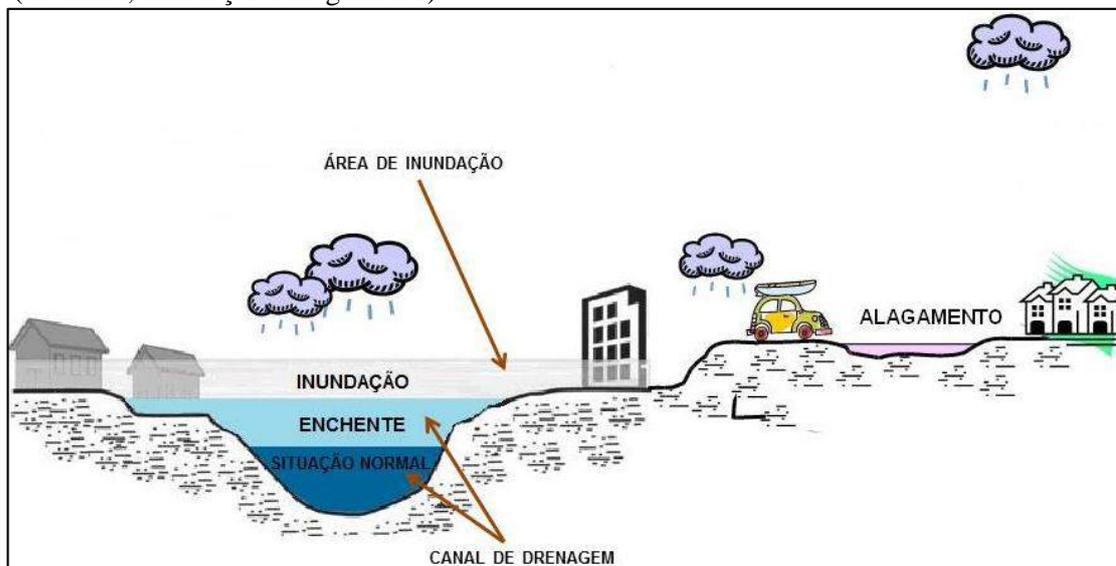
Segundo Cerri (1999), a inundação é um processo de extravasamento das águas de um curso d'água para suas áreas marginais (planície de inundação, várzea ou leito maior do rio) quando a vazão a ser escoada torna-se superior à capacidade de descarga da calha.

As águas de chuva, ao alcançar um curso d'água, causam o aumento na vazão por certo período de tempo. Esse acréscimo na descarga d'água tem o nome de enchente ou cheia. Ou seja, maior enchimento do canal de drenagem, contudo sem extravasamento de águas do canal (CARVALHO; MACEDO; OGURA, 2007).

Os alagamentos são acumulações momentâneas de águas na superfície de um terreno qualquer em razão das características do meio físico, mau funcionamento de obras de drenagem e escoamento e/ou precipitações pluviométricas de alta intensidade em regiões não associadas à hidrografia da região (CARVALHO; MACEDO; OGURA, 2007). Na Figura 2.12 e na Fotografia 2.12, observam-se, didaticamente, os processos de enchente, inundação e alagamento.

Já a enxurrada, é escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte. Geralmente esse fenômeno está associado a fluxo de detritos e até queda de blocos.

Figura 2.12 – Esquema para distinguir tipos de escoamento e acúmulo superficial de água (enchente, inundação e alagamento)



Fonte: Adaptado de Carvalho, Macedo e Ogura (2007). <http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNPU/Biblioteca/PrevencaoErradicacao/Livro_Mapeamento_Enconstas_Margens.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2016.

Fotografia 2.12 – Exemplos de processos hidrológicos em Ipojuca-PE



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

A) registro de inundação; B) ocupações na margem do rio – enchente; C) alagamento no centro da cidade.

2.4 PROCESSOS GEOLÓGICOS CORRELATOS

Entende-se por processos geológicos correlatos os solos que causam diversos problemas e danos estruturais sobre eles assentados (deformações). As deformações são abatimentos superficiais dos terrenos, cuja velocidade e intensidade dependem das características geotécnicas do solo (COUTINHO, 2013). São vários os processos que resultam na deformação. Serão apresentadas quatro formas usuais de ocorrência, cujo entendimento e delimitação cartográfica permitem ações voltadas ao planejamento da ocupação, com medidas preventivas em áreas com possibilidades de situações de risco.

2.4.1 Expansão e contração de solos

São solos não saturados; têm argilominerais de estrutura laminar do tipo 2:1 principalmente do grupo esmectitas, como as montmorilonita ou vermiculita. Contrações e expansões com aparecimento de superfícies de fricção; solos com drenagem baixa e atividade alta, derivados de rochas ígneas, basicamente basalto, diabases e gabos, e de rochas sedimentares basicamente: folhelhos, margas e calcários; são de regiões onde a evapotranspiração excede a precipitação, regiões de alternância de estações secas e chuvas intensas e concentradas (BARBOSA, 2013; SAMUEL, 2004).

A evolução do processo de inchaço e retração, com significativas variações volumétricas, dá origem ao fenômeno denominado de empastilhamento (Fotografia 2.13), que torna o solo desestruturado e desagregado, suscetível à erosão, colapsos por compactação e instabilização em taludes, podendo movimentar grandes massas de material, mesmo em áreas aplainadas. O empastilhamento de solo pode afetar também fundações e outras obras de engenharia, promovendo sua ruína parcial ou total, com a geração de trincas, rachaduras e desabamentos nas edificações – Fotografia 2.14 (OLIVEIRA, 2010).

Fotografia 2.13 – Fissuras ou fendas características nas estações secas



Fonte: <<https://mind42.com/public/ee2a341a-b21a-4c1b-a436-fc5621e80473>>. Acesso em: 8 jan. 2016.

Fotografia 2.14 – Exemplos de processos geológicos correlatos



Fonte: Amorim (2004).

A) rissuras diagonais embaixo e acima das janelas e portas das edificações; B) ondulações e ruptura no pavimento.

Atualmente, o crescimento socioeconômico do estado de Pernambuco é expressivo, e grandes programas habitacionais e obras de infraestrutura se encontram em execução. Algumas dessas obras localizam-se em áreas de ocorrência de solos expansivos, como o canal de transposição do rio São Francisco e a refinaria em Suape.

2.4.2 Colapso de solos

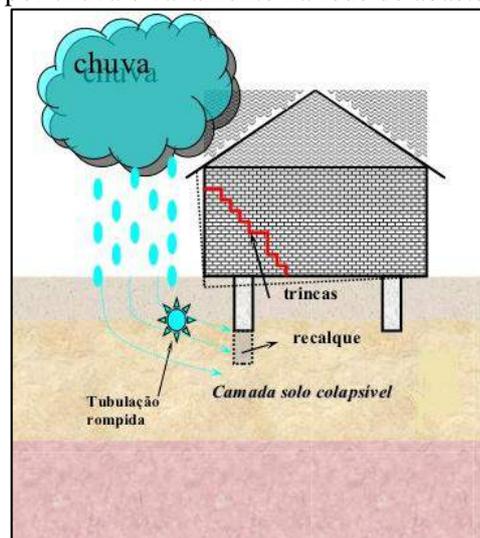
Solos colapsíveis são solos não saturados, metaestáveis, que experimentam um rearranjo radical de partículas e grande redução de volume quando inundados, com ou sem carga adicional (CLEMENCE; FINBARR, 1981 apud FERREIRA, 1995).

Segundo Ferreira (1995), encontram-se solos colapsíveis em depósitos eólicos, aluviais e coluviais, em solos residuais e solos vulcânicos. Apesar de maior ocorrência associada aos solos de depósitos recentes, principalmente eólicos, em regiões áridas e semiáridas, esses solos podem ocorrer também em diferentes condições. No Brasil, a ocorrência desse tipo de solo é geralmente verificada em solos aluviais, coluviais e residuais.

Além da característica natural de colapsividade do solo, um importante fator deflagrador do processo em áreas urbanas diz respeito à saturação do solo provocada pelo vazamento de redes de água, de esgoto doméstico e industrial, de galerias e canais de águas pluviais, de reservatórios de água, de estações de tratamento, etc. (Figura 2.13).

Assim, quando ocorrem inundações e rompimentos da tubulação de abastecimento de água ou, principalmente, de esgoto, pode suceder a saturação de água no solo e modificação de sua estrutura e consequentes recalques bruscos, muitas vezes, com grandes proporções. Tendo como consequência mais comum a danificação nas edificações (trincas, rachaduras e desabamentos) e na rede de infraestrutura – rede de água e esgoto, rede elétrica, sistema viário, etc. (Fotografia 2.15 e 2.16).

Figura 2.13 – Saturação de solo suscetível a colapso causado por chuva e vazamento na rede de abastecimento de água



Fonte: <<https://pt.slideshare.net/mjbrolo/atuaao-do-instituto-geolgico-na-preveno-de-desastres-naturais>>. Acesso em: 14 jan. 2016.

Fotografia 2.15 – Exemplo de deformação na construção (trincas e fissuras)



Fonte: <<https://pt.slideshare.net/mjbrollo/atuaao-do-instituto-geolgico-na-preveno-de-desastres-naturais>>. Acesso em: 14 jan. 2016.

Fotografia 2.16 – Exemplo de deformação na construção (trincas e fissuras)



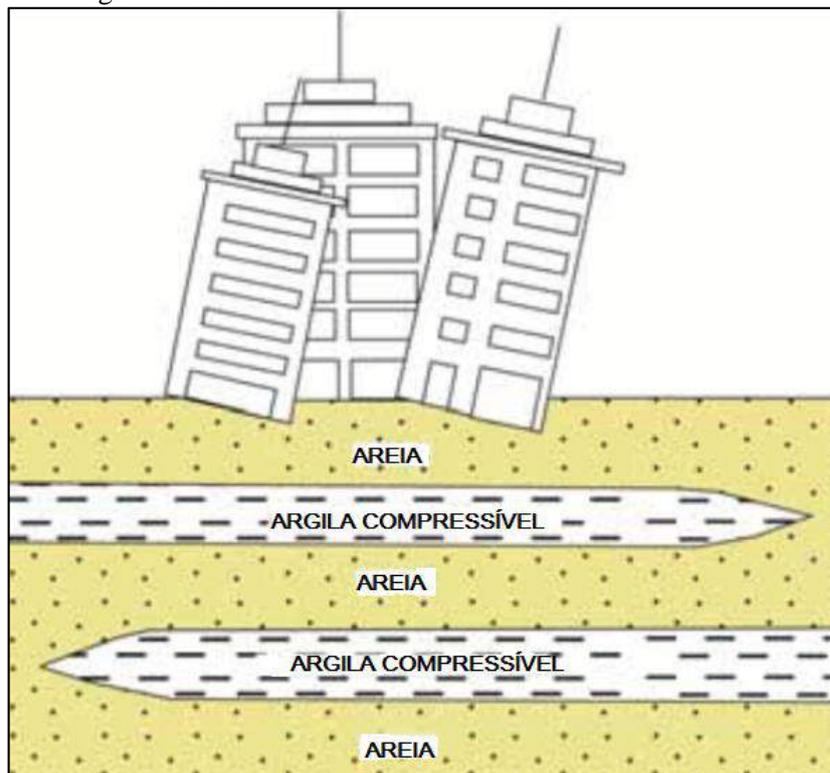
Fonte: <<http://dicasdegesso.blogspot.com.br/2015/07/trincas-como-resolver.html>>. Acesso em: 14 jan. 2016.

2.4.3 Adensamento do solo

Trata-se da redução de volume de sedimentos (mais evidentes em argilas saturadas), basicamente por aumento das tensões de compressão e consequente saída de água dos poros. Esse processo é, em geral, lento e costuma ter resultados de maior impacto quando a presença de camadas argilosas compressíveis ocorre em subsuperfície, como nas restingas e em outros depósitos sedimentares, comuns nas cidades litorâneas, causando recalques diferenciais em obras como aterros, pavimentos ou edificações. Se esses recalques não forem adequadamente considerados com obras de prevenção, reforço ou sobrecarga prévia, graves danos poderão ocorrer nas fundações, infraestrutura de drenagem, pavimentação e abastecimento em geral.

Alguns casos típicos de fundações rasas construídas em terrenos constituídos por solos argilosos moles são as edificações situadas ao longo da orla de Santos-SP, construídas na década de 1970, quando ainda não havia a prática das fundações profundas. As fundações rasas foram construídas sobre uma camada de areia compacta com profundidade de aproximadamente 10 metros, mas estava apoiada sobre uma camada espessa de argila mole altamente compressível (Figura 2.14 e Fotografia 2.17).

Figura 2.14 – Fundações superficiais (rasas) construídas em terrenos constituídos por solos argilosos moles



Fonte: Oliveira (2010).

Fotografia 2.17 – Exemplo de edificação sofre um rebaixamento causado por adensamento do solo



Fonte: <http://www.geologiado brasil.com.br/fundacoes_barbeiragem.html>. Acesso em: 14 jan. 2016.

2.4.4 Subsidência cárstica

Consiste no abatimento brusco ou lento do terreno tendo como condicionante principal a presença de um substrato rochoso carbonático, com circulação de água em superfícies de contato e fraturas. Situações semelhantes são verificadas em rochas quartzíticas, conhecidas como pseudocársticas. Esses abatimentos podem destruir por completo edificações de superfície, pondo em risco patrimônios e vidas humanas.

Esse processo pode desenvolver-se naturalmente (subsidência lenta), ou pode ser acelerado por ações antrópicas (colapso), principalmente na exploração de águas subterrâneas, que intensificam significativamente a sua circulação no maciço, podendo mesmo provocar uma inversão da direção do fluxo das águas subterrâneas. A deposição de camadas sedimentares sobre essas rochas em dissolução tende a aumentar as condições de impacto, fundamentalmente nas áreas urbanas.

É necessário o emprego de estudos e métodos para prever o comportamento das obras, e com isso adotar uma solução adequada na fase de projeto. A eficácia de uma previsão está aliada não só à adequação do método de análise empregado, mas também na determinação dos parâmetros do solo a utilizar nessa análise.

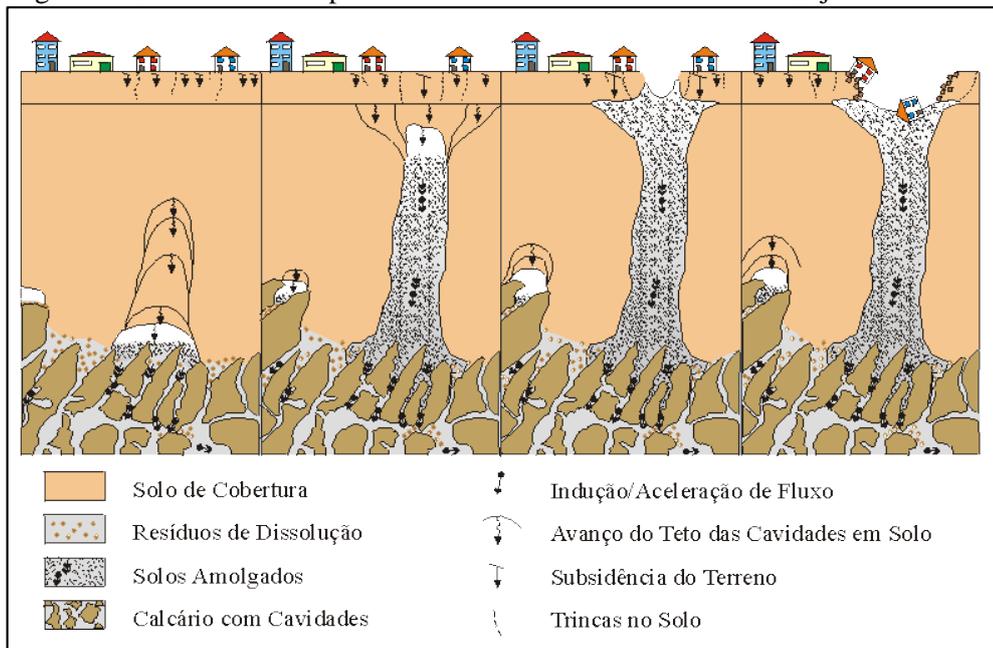
Os colapsos de terrenos são considerados os principais causadores de acidentes sérios em regiões cársticas, ocasionando mortes até com o desaparecimento súbito de pessoas tragadas

pelo afundamento. Porém, a subsidência também causa prejuízos econômicos e mortes pelo desmoronamento total ou parcial de construções (NAKAZAWA; PRANDINI; DINIZ, 1995).

A cidade de Lapão, na região central da Bahia, localiza-se sobre os terrenos cársticos da Formação Salitre. É exemplo de cidade em área cárstica que sofre, com problemas geotécnicos relacionados com a instabilidade de seus terrenos. Nos últimos anos, são muitos os casos de imóveis, arruamentos e espaços públicos que vêm apresentando danos estruturais provocados pelas constantes subsidências e acomodações do substrato rochoso (OLIVEIRA FILHO, 2015).

Um famoso caso brasileiro relacionado com esse fenômeno ocorreu na cidade de Cajamar-SP, em 1986, onde houve o afundamento do solo formando cavidades de 32 m de diâmetro e 13 m de profundidade. Esses afundamentos foram inicialmente associados a processos de carstificação. Estudos posteriores, porém, mostraram que os referidos processos foram intensificados pelo bombeamento de água subterrânea por meio de poços profundos de grande vazão, que provocaram a migração do solo para ocupar o espaço deixado pela retirada da água, ocasionando a subsidência do terreno. A Figura 2.15 esquematiza o modelo interpretativo dos fenômenos ocorridos em Cajamar. A Fotografia 2.18 e 2.19 ilustra exemplos de como algumas dezenas de casas foram destruídas ou condenadas (PROIN/CAPES; UNESP/IGCE, 1999).

Figura 2.15 – Modelo interpretativo dos fenômenos ocorridos em Cajamar



Fonte: Infanti Junior e Fornasari Filho (1998).

Fotografia 2.18 – Exemplo de uma das dezenas de casas que foram destruídas na cidade de Cajamar-SP em 1986



Fonte: Proin/Capes e Unesp/IGCE (1999).

Fotografia 2.19 – Exemplo de uma das dezenas de casas que foram destruídas na cidade de Cajamar-SP em 1986



Fonte: Proin/Capes e Unesp/IGCE (1999).

3 LEI N.º 12.608/12 E CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO: MEDIDA DE PREVENÇÃO DE DESASTRES NO BRASIL

Esta seção analisa a normatização nacional da política de gestão de risco de desastres no Brasil. Aborda a fundamentação legal da Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização como instrumento preventivo à exposição da população a riscos de desastres.

3.1 A OCORRÊNCIA DE DESASTRES NO BRASIL

De acordo com o Censo Demográfico de 2010, a população brasileira atingiu um total de 190.755.799 habitantes (IBGE, 2011). Desse total, correspondem à população urbana 160.925.792 habitantes, expressando 84,4% do total da população, enquanto 29.830.007 habitantes correspondem à população residente em áreas rurais, representando 15,6% da população total do Brasil. Essa diferença populacional urbana reflete o processo crescente de urbanização do país.

Parte dessa expressiva população urbana como forma de sobrevivência tem ocupado terrenos não aptos à construção de moradias, demarcando-se um processo de uso e ocupação desordenado do solo urbano. Desse modo, a construção de moradias precárias tem-se expandido nas cidades em áreas de elevada declividade suscetíveis a deslizamentos e em margens de rios com riscos de inundações e enxurradas.

Dessa forma, a expansão das cidades, quando processada sem a observância de um planejamento territorial, contribui para a ocorrência de desastres atingindo diretamente a população. Os desastres decorrem tanto de fenômenos naturais quanto de fenômenos induzidos pela ação humana, nos quais, em parte significativa das ocorrências dos desastres, tem havido uma interação desses dois tipos de fenômeno. Quando decorrentes de fenômenos naturais extremos, caracterizam-se, por exemplo, como resultantes de chuvas torrenciais, vendavais, terremotos dentre outros, que, em razão de sua intensidade e da situação das regiões atingidas (vulnerabilidade) geralmente demarcada pelo nível da ação humana nessas regiões, afetam desfavoravelmente o meio ambiente e as populações que nele vivem. Se forem decorrentes das alterações antrópicas no meio ambiente, fenômenos induzidos caracterizam-se geralmente nas áreas urbanas como consequências de uma estruturação desordenada do ambiente construído, a qual potencializa os efeitos de processos geológicos e fenômenos naturais climáticos quando ocorrentes, ocasionando danos sociais, econômicos e ambientais. Sendo, desse modo, tais

fenômenos naturais e induzidos considerados como eventos adversos que provocam os desastres.

Nesse sentido, o inciso II do artigo 2.º do Decreto n.º 7.257/10 define desastre como “resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema vulnerável, causando danos humanos, materiais ou ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais” (BRASIL, 2010a). A Instrução Normativa n.º 01/2012 do Ministério da Integração Nacional (MI) assim conceitua desastre:

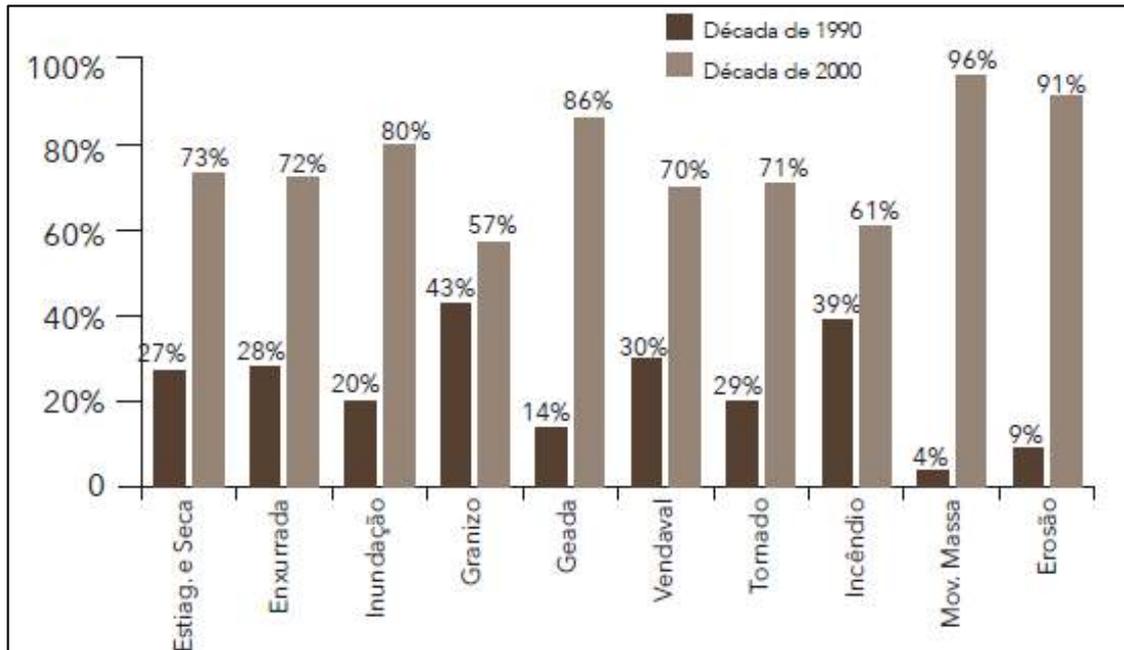
O resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem sobre um cenário vulnerável, causando grave perturbação ao funcionamento de uma comunidade ou sociedade envolvendo extensivas perdas e danos humanos, materiais, econômicos ou ambientais, que excede a sua capacidade de lidar com o problema usando meios próprios. (art. 1.º, inciso I da Instrução Normativa MI n.º 01/2012). (BRASIL, 2012c).

De acordo com a Instrução Normativa MI n.º 01/2012, a Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil em atendimento à classificação dos desastres do Banco de Dados Internacional de Desastres (EM-DAT) do Centro de Pesquisas de Epidemiologia em Desastres (Cred) da Organização Mundial da Saúde (OMS) adota a Codificação Brasileira de Desastres (Cobrade), na qual, dentre outras classificações, qualifica os desastres em duas categorias genéricas relativas à origem ou causa primária do agente causador, dividindo-os em naturais e tecnológicos, e assim definindo-os:

Desastres naturais são aqueles causados por processos ou fenômenos naturais que podem implicar em perdas humanas ou outros impactos à saúde, danos ao meio ambiente, à propriedade, interrupção dos serviços e distúrbios sociais e econômicos; e desastres tecnológicos são aqueles originados de condições tecnológicas ou industriais, incluindo acidentes, procedimentos perigosos, falhas na infraestrutura ou atividades humanas específicas, que podem implicar em perdas humanas ou outros impactos à saúde, danos ao meio ambiente, à propriedade, interrupção dos serviços e distúrbios sociais e econômicos. (art. 7.º, §§ 2.º e 3.º da Instrução Normativa MI n.º 01/2012). (BRASIL, 2012c).

No caso do Brasil, como se vê no Gráfico 3.1, há um significativo aumento do número de registros de desastres entre as décadas de 1990 e 2000 com destaque para o movimento de massa (deslizamentos), com aumento de 21,7 vezes, em contraponto à média geral, que é de 6 vezes.

Gráfico 3.1 – Desastres naturais do Brasil



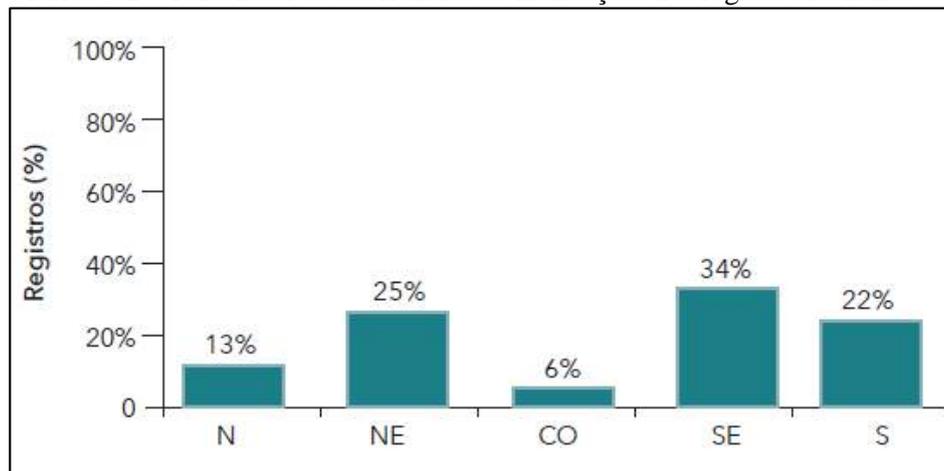
Fonte: UFSC (2013).

Os principais tipos de desastres naturais que afetam o país conforme o *Atlas brasileiro de desastres naturais* (UFSC, 2013) são estiagem e seca, inundações, enxurradas, alagamentos, vendavais, granizo, movimentos gravitacionais de massa, erosão, incêndio florestal, e tornados. Dentre esses tipos de desastres, as inundações, alagamentos, enxurradas, erosão e movimentos gravitacionais de massa têm relação com o planejamento urbano na medida em que determinadas atividades humanas, quando não consonantes com esse planejamento, induzem e potencializam a ocorrência desses desastres; como exemplo, a supressão de mata ciliar de corpos hídricos em áreas urbanas que agrava as inundações, a impermeabilização do solo sem a adoção de técnicas suficientes para filtração da água, o que contribui para a ocorrência dos alagamentos e a ocupação irregular de encostas íngremes suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa, cujos desastres têm acarretado significativos danos, econômicos, ambientais e humanos.

Em compreensão da ocorrência desses desastres no Brasil, as inundações quando ocorrem nas áreas urbanas onde há ocupação em áreas ribeirinhas e com a consequente impermeabilização da superfície urbana, passam a ser um evento adverso que ocasiona diretamente danos às populações que nessas áreas habitam. Segundo o *Atlas brasileiro de desastres naturais* (UFSC, 2013), entre os anos de 1991 e 2012, as regiões brasileiras mais atingidas por esse desastre foram a Sudeste (34% das ocorrências), a Nordeste (25% das ocorrências) e a região Sul (22% das ocorrências). Também se registraram inundações nas

regiões Norte (13% das ocorrências) e Centro-Oeste (6% das ocorrências), Gráfico 3.2, tendo esse desastre incidência em todo o País. Em relação ao número de afetados, de acordo com o *Anuário brasileiro de desastres naturais* (BRASIL, 2014), só em 2013, as inundações ocasionaram 36 óbitos, 1.461 feridos, 13.283 enfermos, 59.023 desabrigados, 208.274 desalojados, 6 desaparecidos e 1.083.402 de pessoas com outros danos humanos, atingindo ao todo 1.389.454 pessoas no Brasil.

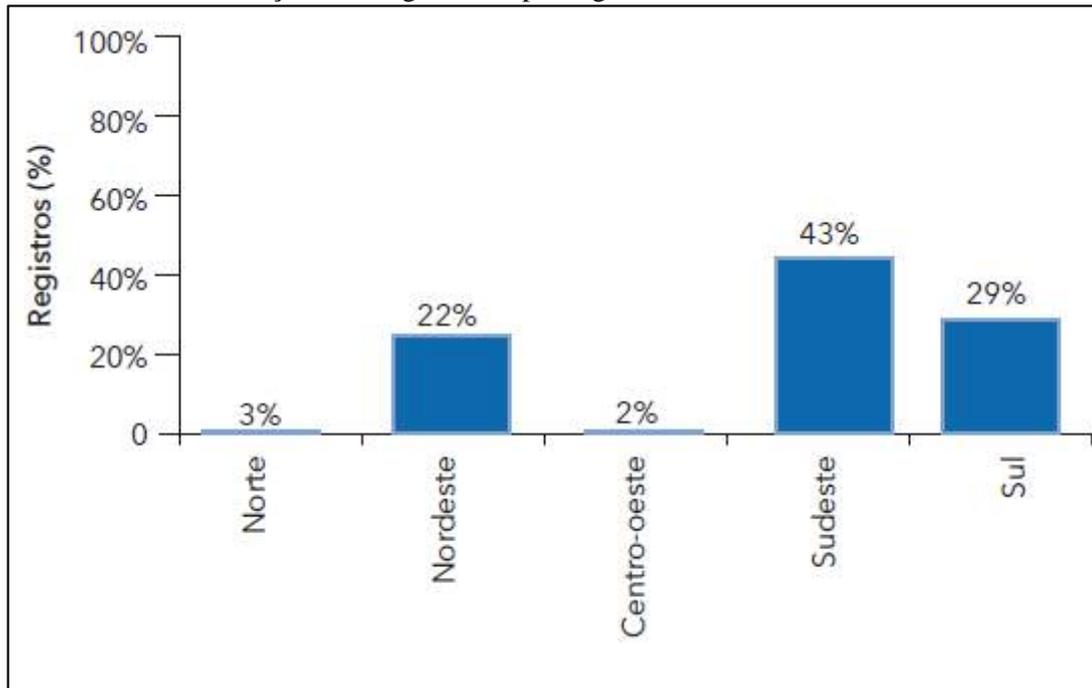
Gráfico 3.2 – Percentual de ocorrências de inundações nas regiões brasileiras



Fonte: UFSC (2013).

Os alagamentos estão associados ao processo de urbanização, muitas vezes desordenado, em grandes cidades e regiões metropolitanas, o que diminui consideravelmente a permeabilidade do solo e aumenta o pico do escoamento superficial. Esse fator, muitas vezes, relaciona-se com o subdimensionamento de galerias e do sistema de drenagem como um todo. Isso fica explícito ao observarmos que, entre os anos de 1991 e 2012, a região Sudeste concentrou 43% de todas as ocorrências (Gráfico 3.3), pois se trata de uma região onde os estados têm um alto índice de crescimento urbano e de impermeabilização.

Gráfico 3.3 – Distribuição dos alagamentos por região brasileira

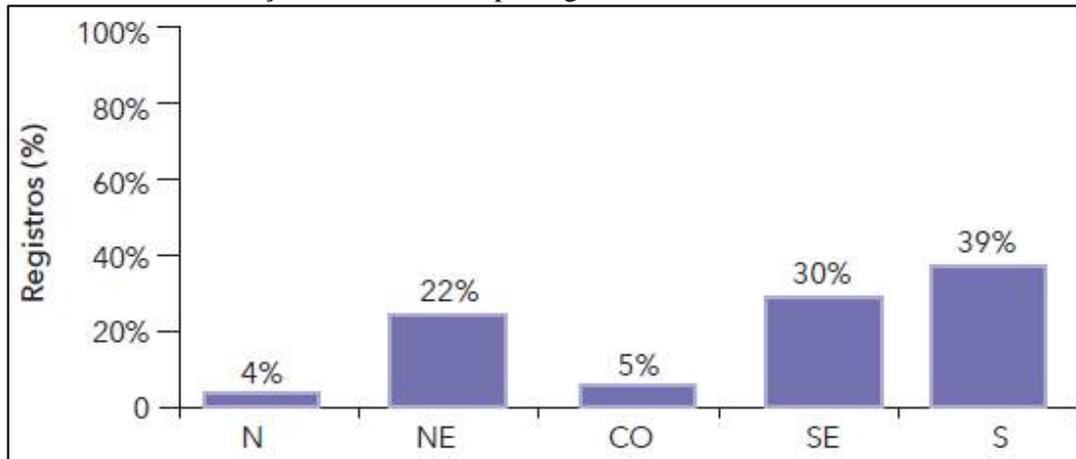


Fonte: UFSC (2013).

Com relação a enxurradas, o *Atlas brasileiro de desastres naturais* (UFSC, 2013) relaciona que o número de registros de enxurradas tem aumentado; entre 1991 e 2011, a média foi de 227 eventos/ano passando para 504 eventos/ano entre 2002 e 2012, e sua incidência tem ocorrido em todas as regiões do país.

Entre os anos de 1991 e 2012, conforme o Gráfico 3.4, a região Norte e a Centro-Oeste foram as que tiveram um menor número de registros com respectivamente 4% e 5% das ocorrências. As demais regiões tiveram um número maior de registros, a região Nordeste com 22%, a região Sudeste com 30% e a região Sul com 39%. Em 2013, de acordo com o *Anuário brasileiro de desastres naturais* (BRASIL, 2014), o número de afetados com danos humanos decorrentes das enxurradas, apenas nesse período, foi de 931.608 pessoas.

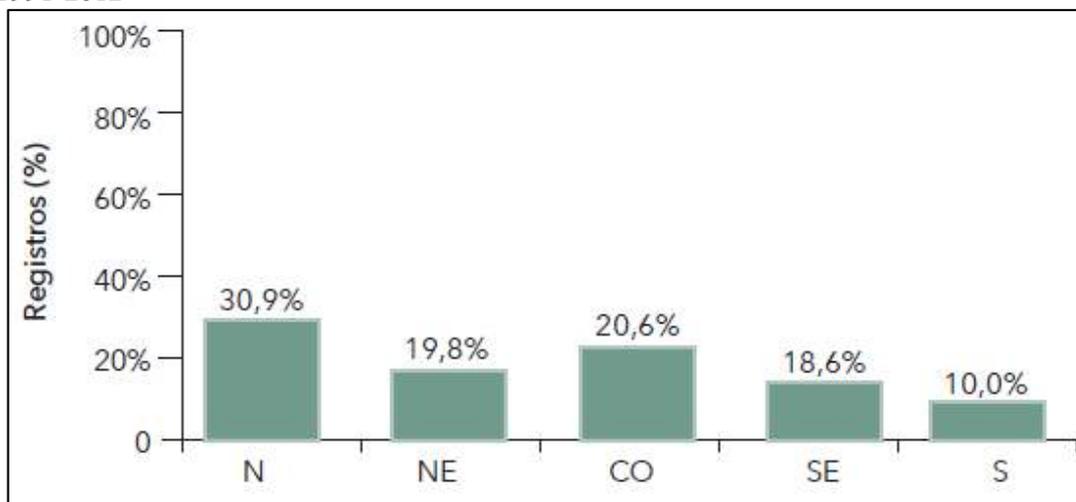
Gráfico 3.4 – Distribuição das enxurradas por região brasileira



Fonte: UFSC (2013).

Com relação aos registros oficiais de processos de erosão no país, a região Norte apresentou o maior número com 108 ocorrências, o que representa 31% do total de eventos registrados em todo o território nacional. As regiões Centro-Oeste, Nordeste e Sudeste apresentaram indicadores semelhantes, com respectivamente 21%, 20% e 19%. A região Sul foi a menos atingida com 10% do número total de eventos. As porcentagens de registros de erosão por região estão indicadas no Gráfico 3.5.

Gráfico 3.5 – Porcentagem de ocorrência do processo de erosão por região do Brasil no período 1991-2012

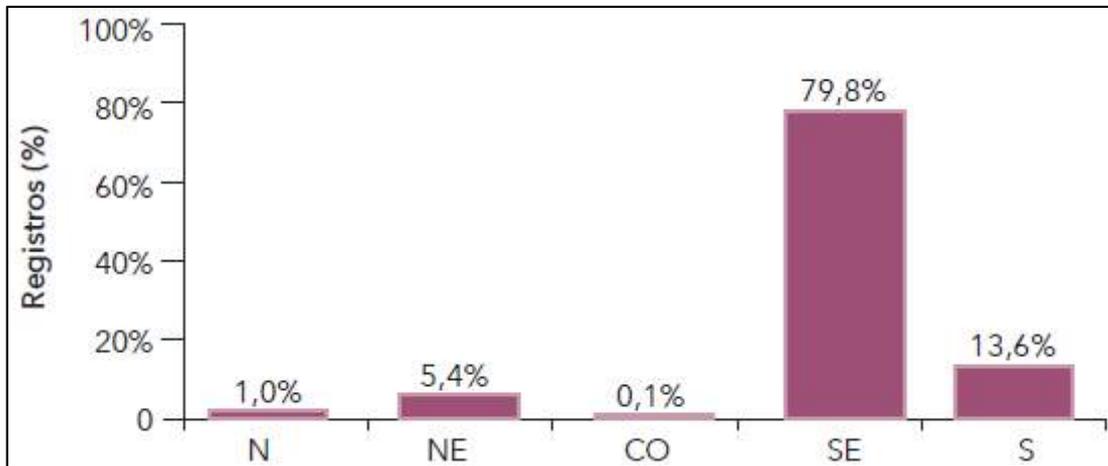


Fonte: UFSC (2013).

Os movimentos gravitacionais de massa são desastres que também afetam prejudicialmente parte a população, ocasionando danos materiais, ambientais e humanos. Segundo o *Atlas brasileiro de desastres naturais* (UFSC, 2013), entre 1991 e 2012, ocorreram 699 casos de movimentos de massa por todo o Brasil, tendo a região Centro-Oeste 0,1%, a

região Norte 1,0%, a região Nordeste 5,4%, a região Sul 13,6% e a região Sudeste 79,8% dos registros conforme se apresenta no Gráfico 3.6. Apenas em 2013, segundo o *Anuário brasileiro de desastres naturais* (BRASIL, 2014), esse tipo de desastre atingiu 233.356 pessoas.

Gráfico 3.6 – Porcentagem de ocorrência de movimento de massa por região do Brasil no período 1991-2012



Fonte: UFSC (2013).

Essa realidade de ocorrência de desastres naturais no Brasil expressa a necessidade de se implementar, nacionalmente, uma gestão voltada para conter os riscos desses desastres, que promova a estruturação de cidades resilientes aos desastres naturais em manutenção de um ambiente equilibrado e da segurança da população brasileira.

3.2 A POLÍTICA NACIONAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL (LEI N.º12.608/12) E A ADOÇÃO DE MEDIDAS DE PREVENÇÃO DOS DESASTRES NO BRASIL

A instituição normativa de ações voltadas para a gestão de desastres no Brasil tem fundamento na Constituição Federal de 1988, em seu artigo 21, inciso XVIII, o qual dispõe que cabe à União planejar e promover a defesa permanente contra as calamidades públicas, especialmente as secas e as inundações, e no seu artigo 22, inciso XXVIII, em que se estabelece como competência privativa da União legislar sobre defesa civil (BRASIL, 2016). Nesse sentido, normatizando ações voltadas para uma gestão de desastres no Brasil como política nacional, em 2012, a Lei n.º12.608 instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDC), que ampliou as ações do Sistema Nacional de Defesa Civil criado em 1988 pelo Decreto n.º 97.274, passando esse a se denominar Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (Sinpdec) e normatizou como dever da União, dos estados, do Distrito Federal e dos municípios

adotar as medidas necessárias à redução dos riscos de desastre dando-se ênfase à prevenção (BRASIL, 2012a, art. 4.º, inciso III) da ocorrência de desastres no país em ampliação das ações de gestão de desastres brasileira, na qual podem atuar em colaboração com o Estado entidades públicas e privadas e a sociedade em geral (BRASIL, 2012a, art. 2.º, § 1.º).

Nesse sentido, as ações da PNPDEC abrangem a prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação voltadas à proteção e defesa civil (BRASIL, 2012a, art. 3.º, caput) em instituição de uma gestão de desastres sistêmica que também deve integrar-se às políticas de ordenamento territorial, desenvolvimento urbano, saúde, meio ambiente, mudanças climáticas, gestão de recursos hídricos, geologia, infraestrutura, educação, ciência e tecnologia e às demais políticas setoriais, tendo em vista a promoção do desenvolvimento sustentável.

Como dispõe o artigo 4.º da Lei n.º 12.608/12, a PNPDEC tem como diretrizes a atuação articulada entre a União, os estados, o Distrito Federal e os municípios para redução de desastres e apoio às comunidades atingidas; a abordagem sistêmica das ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação; a prioridade às ações preventivas relacionadas com a minimização de desastres; a adoção da bacia hidrográfica como unidade de análise das ações de prevenção de desastres relacionados com corpos d'água; o planejamento com base em pesquisas e estudos sobre áreas de risco e incidência de desastres no território nacional e a participação da sociedade civil.

A Lei n.º 12.608/12, em seu artigo 5.º, disciplina que a PNPDEC tem os seguintes objetivos: reduzir os riscos de desastres; prestar socorro e assistência às populações atingidas por desastres; recuperar as áreas afetadas por desastres; incorporar a redução do risco de desastres e as ações de proteção e defesa civil entre os elementos da gestão territorial e do planejamento das políticas setoriais; promover a continuidade das ações de proteção e defesa civil; estimular o desenvolvimento de cidades resilientes e os processos sustentáveis de urbanização; promover a identificação e avaliação das ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidades a desastres de modo a evitar ou reduzir sua ocorrência; monitorar os eventos meteorológicos, hidrológicos, geológicos, biológicos, nucleares, químicos e outros potencialmente causadores de desastres; produzir alertas antecipados sobre a possibilidade de ocorrência de desastres naturais; estimular o ordenamento da ocupação do solo urbano e rural, tendo em vista sua conservação e a proteção da vegetação nativa, dos recursos hídricos e da vida humana; combater a ocupação de áreas ambientalmente vulneráveis e de risco e promover a realocação da população residente nessas áreas; estimular iniciativas que resultem na destinação de moradia em local seguro; desenvolver consciência nacional acerca dos riscos de desastre; orientar as comunidades a adotar comportamentos adequados de prevenção e de

resposta em situação de desastre e promover a autoproteção; e integrar informações em sistema capaz de subsidiar os órgãos do Sinpdec na previsão e no controle dos efeitos negativos de eventos adversos sobre a população, os bens e serviços e o meio ambiente.

Para o alcance desses objetivos e implementação de uma gestão de desastres também voltada para a adoção de medidas preventivas à ocorrência de desastres, a Lei n.º12.608/12 disciplinou uma distribuição de competências específicas para os entes federativos, a União, estados, municípios e o Distrito Federal (com as mesmas competências específicas atribuídas aos estados e aos municípios) e competências de atuação conjunta entre si; alterou, ainda, outros diplomas legais, delimitando a adoção de medidas não estruturais e estruturais por parte desses entes para redução dos riscos de desastres no país.

Dentre as medidas não estruturais, a Lei n.º12.608/12 disciplina a instituição pela União de um cadastro nacional de municípios, com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos (BRASIL, 2012a, art. 6.º, inciso VI). A inscrição de tais municípios nesse cadastro será por iniciativa do município ou mediante a indicação dos demais entes federados (BRASIL, 2010b, art. 3.º-A). Há a instituição e manutenção pela União de um sistema de informação e monitoramento de desastres (BRASIL, 2012a, art. 6.º, inciso V) voltado para atender aos objetivos da PNPDEC como o de se monitorar os eventos causadores de desastres, de se produzir alertas antecipados sobre a possibilidade de ocorrer desastres e de integrar informações em sistema para se subsidiar os órgãos do Sinpdec na prevenção e no controle dos resultados negativos de eventos adversos à população, bens, serviços e ao meio ambiente.

Nesse sistema o monitoramento meteorológico, hidrológico e geológico das áreas de risco se fará por meio da articulação dos estados com a União e os municípios (BRASIL, 2012a, art. 7.º, inciso V), os quais têm de manter a União e o Estado informados sobre a ocorrência de desastres e as atividades de proteção civil no município (BRASIL, 2012a, art. 8.º, inciso XIV), devendo tanto a União quanto os estados e municípios fornecer dados e informações para o sistema nacional de informações e monitoramento de desastres (BRASIL, 2012a, art. 9.º, inciso VI). Há ainda a normatização de que a União deve apoiar os estados, o Distrito Federal e os municípios no mapeamento das áreas de risco, nos estudos de identificação de ameaças, suscetibilidades, vulnerabilidades e riscos de desastre (BRASIL, 2012a, art. 6.º, inciso IV), sendo esse mapeamento e a identificação das áreas de risco também atribuição do Distrito Federal, estados e municípios, os quais devem ser realizados com base nas cartas geotécnicas (BRASIL, 2001, art. 42-A, § 1.º).

Em relação às medidas estruturais, a Lei n.º12.608/12, em seu artigo 22, o qual acrescenta os artigos 3.º-A, 3.º-B e 5.º-A à Lei Federal n.º12.340/10, normatiza que os municípios incluídos no cadastro nacional de municípios com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos devem elaborar plano de implantação de obras e serviços para a redução de riscos de desastre (BRASIL, 2010b, art. 3.º-A, § 2.º, inciso III).

Dessa forma, a Lei n.º12.608/12 normatiza uma gestão sistêmica dos riscos de desastre no Brasil estruturada em ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação, dando-se ênfase às medidas preventivas e as não estruturais, visando-se conter a vulnerabilidade da população à ocorrência de desastres, buscando conter danos econômicos e promover o estabelecimento do equilíbrio ambiental e social, por meio da atuação conjunta dos entes federados em colaboração com a sociedade (BRASIL, 2012a).

3.3 A CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO COMO MEDIDA DE PREVENÇÃO DA OCORRÊNCIA DE DESASTRES NATURAIS NO BRASIL

Como estabelecido no artigo 3.º, parágrafo único da Lei n.º12.608/12, a PNPDEC deve integrar-se a outras políticas como a de desenvolvimento urbano tendo-se em vista a promoção do desenvolvimento sustentável.

Nesse sentido, as ações de gestão de desastres, notadamente as voltadas para prevenção dos desastres naturais, têm relação com a política de desenvolvimento urbano executada pelo Poder Público municipal, prevista nos artigos 182 e 183 da Constituição Federal de 1988 e disciplinada na Lei n.º10.257/01, denominada Estatuto da Cidade, na qual são estabelecidas normas de ordem pública e interesse social que regulam o uso da propriedade urbana em prol do bem coletivo, da segurança e do bem-estar dos cidadãos, bem como do equilíbrio ambiental (BRASIL, 2001, art. 1.º, parágrafo único), tendo por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e da propriedade urbana mediante diretrizes gerais (BRASIL, 2001, art. 2.º, caput), dentre as quais, tem-se o planejamento do desenvolvimento das cidades, da distribuição espacial da população e das atividades econômicas do município e do território sob sua área de influência, de modo a evitar e corrigir as distorções do crescimento urbano e seus efeitos negativos sobre o meio ambiente (BRASIL, 2001, art. 2.º, inciso IV) e a ordenação e controle do uso do solo, de forma a evitar, dentre outros aspectos, a exposição da população a risco de desastres (BRASIL, 2001, art. 2.º, inciso VI, alínea h).

Como disciplinado no Estatuto da Cidade, essa prevenção à exposição da população a riscos de desastre abrange as ações de mapeamento das áreas de risco com base nas cartas geotécnicas, na medida em que, como dispõe o artigo 39 da Lei n.º 10.257/01, a função social da propriedade urbana é cumprida quando atendidas as exigências fundamentais de ordenação da cidade expressas no Plano Diretor do município, consistente em instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana (BRASIL, 2001, art. 40), o qual é obrigatório para as cidades enquadradas nas situações previstas no artigo 41 da Lei n.º 10.257/01, dentre as quais, o Plano Diretor passou também a ser obrigatório para as cidades incluídas no cadastro nacional de municípios com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos como estabeleceu a Lei n.º 12.608/12 ao incluir essa disposição no artigo 41 da Lei n.º 10.257/01, devendo os Planos Diretores dessas cidades, como estabelece o artigo 42-A, inciso II, da Lei n.º 10.257/01, conter mapeamento contendo as áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos, levando-se em conta as cartas geotécnicas como dispõe o artigo 42-A, § 1.º da Lei n.º 10.257/01.

No mesmo sentido, a Lei n.º 6.766/79, que dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano, alterada pela Lei n.º 12.608/12, estabelece que nos municípios inseridos no cadastro nacional de municípios com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos, a aprovação do projeto de loteamento e desmembramento pelas Prefeituras Municipais e pelo Distrito Federal, quando for o caso, ficará vinculada ao atendimento dos requisitos constantes da Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização (BRASIL, 1979, art. 12, § 3.º).

Dessa forma, a Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização, ao subsidiar ações de mapeamento de áreas suscetíveis a desastres naturais, constitui uma medida de prevenção voltada para evitar que se exponha a população a risco de desastres naturais.

De acordo com Santos (2014), a carta geotécnica consiste em um documento cartográfico que apresenta informações sobre os diferentes compartimentos geológicos e geomorfológicos homogêneos diante das intervenções a serem procedidas nesses compartimentos, indicando as melhores formas técnicas para que essas intervenções sejam sucedidas técnica e economicamente. Santos (2014) destaca que as cartas geotécnicas mais comuns são as de aptidão à urbanização, aquelas que especificam os setores nos quais a ocupação urbana não é recomendável e os que são propícios para tal ocupação na medida em que atendam aos critérios técnicos estabelecidos para tal intervenção, indicados em tais cartas geotécnicas.

A definição desses setores aptos à urbanização deve resultar, conforme Sobreira e Souza (2012), de uma abordagem conjunta dos diagnósticos dos eixos físico-ambiental, jurídico-ambiental e socioeconômico-organizativo das áreas objeto de análise. Desse modo, a carta geotécnica de aptidão à urbanização, segundo Sobreira e Souza (2012), deve conter orientações que definam as áreas regularizáveis que não têm necessidades de intervenções significativas estando aptas à urbanização; áreas regularizáveis em condições que têm a necessidade de intervenções para a sua consolidação e áreas não regularizáveis nas quais não se deve consolidar a ocupação em razão de impedimentos técnicos e jurídicos, indicando-se a remoção da ocupação caso exista ou definindo-se um uso específico diferente do habitacional.

Tendo, desse modo, a Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização, no dizer de Sobreira e Souza (2012), o objetivo final de definir setores que não são aptos à ocupação, bem como os que são passíveis de ocupação desde que se atendam aos critérios nelas especificados, tendo aplicação direta no ordenamento e ocupação urbana, subsidiando instrumentos como leis de uso do solo e planos diretores municipais, igualmente subsidiando a tomada de decisões administrativas relativas à política urbana brasileira.

Assim, a Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização, ao conter as indicações de áreas suscetíveis e áreas não suscetíveis à ocupação, constitui um instrumento de planejamento urbano que contribui para a observância das diretrizes da PNPDEC ao fornecer subsídios para que novos projetos de parcelamento do solo incorporem diretrizes urbanísticas adequadas a uma regular ocupação e uso do solo, voltadas para a prevenção dos desastres naturais, contribuindo para a estruturação de cidades resilientes em manutenção do ambiente equilibrado e em defesa da população.

4 CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO URBANÍSTICA APLICADA AO PLANEJAMENTO MUNICIPAL

Para elaboração desta seção, várias metodologias de mapeamento geotécnico foram pesquisadas, principalmente aquelas ligadas ao planejamento urbano. A seguir, apresentam-se, além de uma breve introdução ao mapeamento geotécnico, exemplos de mapeamentos realizados segundo outras linhas de pesquisa. Abordam-se, de forma resumida, sistemas de informações geográficas e técnicas de avaliação de terrenos. Por último, faz-se uma explanação sobre a metodologia de mapeamento empregada na presente pesquisa.

4.1 CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA

As cartas geotécnicas podem servir a um propósito especial ou ter multifinalidade (DEARMAN; MATULA, 1977; IAEG, 1972). Mapas com finalidade especial fornecem informações sobre um aspecto específico da geologia de engenharia (grau de intemperismo, permeabilidade, risco sísmico, etc.), ou mesmo direcionadas às condições geotécnicas específicas para obras, como barragem, rodovia ou uso do solo no desenvolvimento urbano.

Coutinho et al. (1990) definem o mapeamento geotécnico como um instrumento para o planejamento e direcionamento da ação humana sobre o meio ambiente, constituindo uma representação gráfica da descrição, potencialidade e limitações do meio físico.

Diniz (1998) considera a cartografia geotécnica como a técnica de integração, síntese e representação de informações temáticas da área de geologia de engenharia voltada para a execução de obras e para o planejamento e gestão territorial. Permite a formulação de modelos de previsibilidade do comportamento dos terrenos e o estudo de soluções para problemas decorrentes da intervenção antrópica sobre o meio físico.

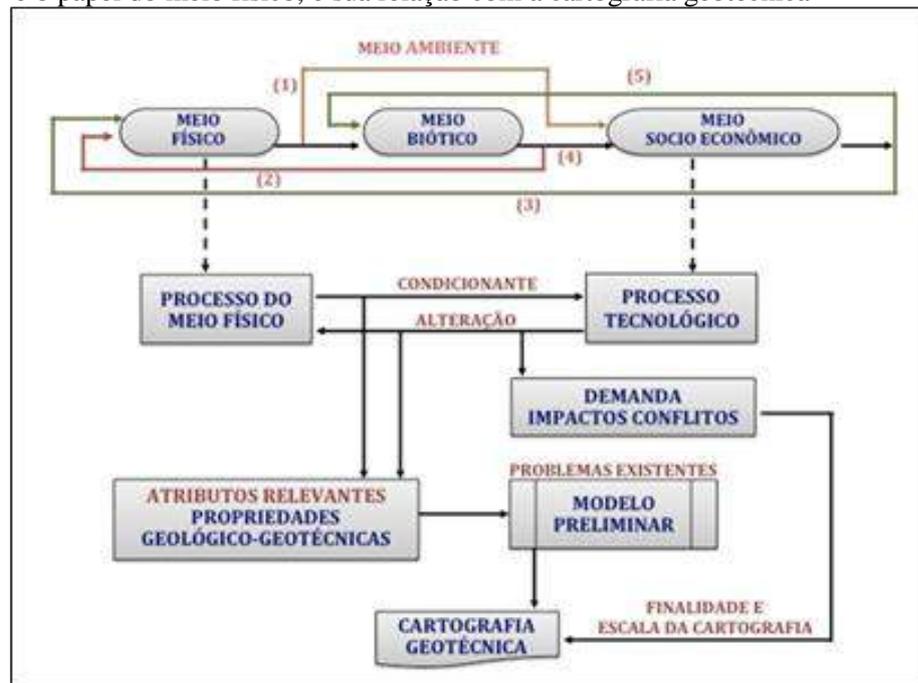
Segundo Freitas (2000) e Bitar, Freitas e Sepe (2012), as cartas geotécnicas sintetizam o conhecimento sobre o meio físico e seus processos atuantes (geo) em uma determinada área, de modo a subsidiar o estabelecimento de medidas para a adequada ocupação do solo (técnica). São compostas geralmente por uma carta síntese, um quadro-legenda e textos explicativos. O quadro-legenda contém a descrição sucinta das unidades geotécnicas delimitadas na carta síntese, caracterizando os diferentes terrenos que ocorrem na área de estudo (FREITAS, 2000; BITAR; FREITAS; SEPE, 2012).

A cartografia geotécnica baseia-se na caracterização e análise de diversos processos do meio físico. Essa caracterização e análise fornecem os atributos relevantes que permitem

estabelecer o modelo preliminar dos terrenos (unidades), e de suas alterações estabelecidas pelos processos tecnológicos, tais como ocupação urbana, atividade agrícola, obras de infraestrutura e empreendimentos minerários. As alterações podem ser traduzidas pelas variações nos atributos do meio, que condicionam os processos – declividade do terreno, tipo de solo, drenagem, entre outros (DINIZ, 1998). A delimitação desses atributos resultará nas unidades geotécnicas que representam problemas existentes ou esperados em termos do comportamento diante da implantação dos processos tecnológicos, permitindo, assim, apresentar diretrizes, inerentes à especificidade da forma de ocupação (MANDAI, 2012).

A Figura 4.1 procura mostrar essa integração dos diversos componentes do meio ambiente e suas relações entre os processos do meio físico e tecnológico. O meio físico condiciona, em um primeiro estágio (1), as características do meio biótico e socioeconômico, os quais, por retroalimentação (2) e (3), completam a influência mútua com o meio físico, alterando seus processos naturais. Os demais fluxos (4) e (5), decorrem da interação dos meios biótico e socioeconômico (FORNASARI FILHO et al., 1992). Dos condicionantes do meio físico e das alterações provocadas pelos empreendimentos, extraem-se os atributos relevantes a serem considerados na elaboração das cartas geotécnicas.

Figura 4.1 – Modelagem da Cartografia Geotécnica a partir da dinâmica do meio ambiente e o papel do meio físico, e sua relação com a cartografia geotécnica



Fonte: Diniz (1998).

A carta geotécnica constitui, portanto, um produto resultante da necessidade de caracterização dos terrenos, comprometida com uma intervenção ou solução para o uso e ocupação do solo. Para tanto, delimitam-se as unidades de terreno (UT), cujo zoneamento constitui a divisão da área em estudo em áreas homogêneas ou domínios.

A sua classificação é estabelecida de acordo com graus reais ou potências de suscetibilidade, perigo ou risco, os quais estão relacionados com um ou mais processos; sua área de influência pode ser alcançada quando de sua ocorrência ou pelos fatores predisponentes indutores ao desenvolvimento dos processos. Esse zoneamento é realizado tanto para o planejamento regional quanto para o planejamento local e de uma área específica (FELL et al., 2008). A finalidade da Carta Geotécnica determina a escala e os detalhes necessários em nível preliminar, intermediário ou avançado.

O Quadro 4.1 apresenta os tipos de zoneamento recomendados, os níveis de zoneamento e as escalas do mapeamento dependendo do objetivo do zoneamento. Este Quadro é aplicável ao planejamento de uso do solo para construções urbanas. Esse quadro é, de modo geral, aplicável a outros usos, como o gerenciamento de perigos e riscos de deslizamento para rodovias e ferrovias, novas ou existentes.

Quadro 4.1 – Tipos e níveis recomendados de zoneamento e escalas de mapas relacionados com o zoneamento de deslizamentos

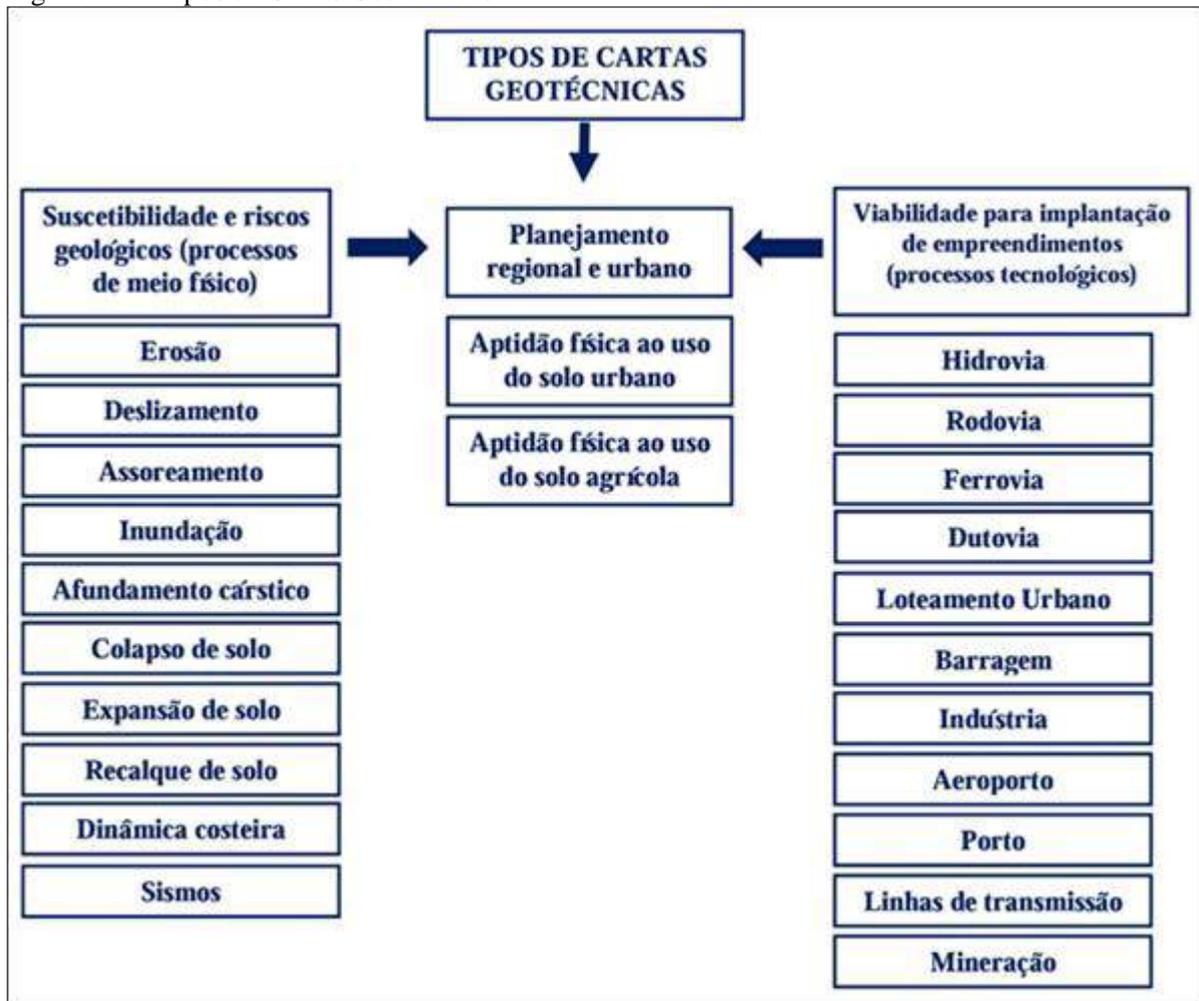
Objetivo	Tipo de Zoneamento				Nível de Zoneamento			Escala de mapas de zoneamento aplicáveis
	Inventário	Susceptibilidade	Perigo	Risco	Preliminar	Intermediário	Avançado	
Zoneamento Regional								
Informação	X	X			X			1:25.000 a 1:250.000
Consultivo	X	X	(X)		X	(X)		
Estatutário/Legal	NÃO É RECOMENDADO							
Zoneamento Local								
Informação	X	X	X	(X)	X	(X)		1:5.000 a 1:25.000
Consultivo	(X)	X	X	X	X	X	X	
Estatutário		(X)	X	(X)		X	X	
Zoneamento de Sítio Específico								
Informação	NÃO É RECOMENDADO							1:5.000 a 1:1.000
Consultivo	NÃO É COMUM							
Estatutário/Legal		(X)	X	X		X	X	
Design		(X)	(X)	X		(X)	X	

Fonte: JTC-1 (2008).

Observações: X=Aplicável, (X)=Pode ser aplicável.

As cartas geotécnicas podem ser classificadas em três tipos gerais de acordo com sua finalidade de aplicação: em ordenamento territorial, em avaliação de processos do meio físico e de estudos de implantação de empreendimentos. As primeiras são de aptidão à urbanização; as segundas correspondem às cartas de suscetibilidade, perigo e riscos geológicos; as terceiras são cartas geológico-geotécnicas para estudos de viabilidade de implantação de projetos básicos e projetos executivos de implantação de empreendimentos de infraestrutura, que seriam compostos por processos tecnológicos – Figura 4.2 (DINIZ, 1998).

Figura 4.2 – Tipos de Cartas Geotécnicas



Fonte: Diniz (1998).

4.2 PRINCIPAIS METODOLOGIAS DE MAPEAMENTO GEOTÉCNICO

Ao longo do tempo, diversas metodologias têm sido desenvolvidas para a elaboração de mapas geotécnicos, sobretudo, os europeus; cada uma com suas características e, muitas vezes, abordando um aspecto específico da geotecnia, por exemplo, a metodologia Zermos, aplicada na França para caracterização de zonas de movimento de massa (erosão, subsidência e sismos); outras metodologias, mais abrangentes, abordando aspectos gerais da Geotecnia como no caso das metodologias da IAEG (a Associação Internacional de Geologia de Engenharia), PUCE (australiana) e Francesa.

No Quadro 4.2, de forma resumida, apresentam-se as principais metodologias internacionais, nacionais que visam principalmente ao planejamento e, em específico, às metodologias apoiadas pelo Ministério das Cidades e a adotada neste trabalho de doutorado, desenvolvida pelo Gegep.

Quadro 4.2 – Principais metodologias nacionais e internacionais de mapeamento geotécnico voltadas ao planejamento urbano

(continua)

Origem	Metodologia	Local	Objetivos	Trabalhos de referência
INTERNACIONAIS	Pattern Unit Component Evaluation (PUCE)	Austrália	A metodologia PUCE possui um caráter abrangente, esquemático e hierárquico de avaliação, baseado em identificação de feições facilmente reconhecíveis na paisagem. A base da metodologia é que qualquer área do terreno pode ser classificada a partir de sua topografia, rocha, solo e vegetação. Essa metodologia permite a definição de classes de terreno em província, padrão do terreno, unidade de terreno (UT) e componente de terreno, relacionadas à fisiografia. São quatro níveis de generalização: o componente de terreno, indivisível, é o nível de maior escala; a unidade de terreno, o padrão de terreno e a província, nessa ordem, são compostos de uma associação limitada e repetitiva de membros das classes precedentes.	Grant (1970)
	Francesa	França	Resulta de levantamento e análise dos trabalhos de mapeamento geotécnico já existente, tendo como documentos básicos as cartas de: documentação, substrato rochoso, materiais de cobertura, hidrogeologia e geomorfologia. E através da interpretação delas, são elaboradas as cartas de aptidão voltadas para usos em: fundações, vias de transportes, escavabilidade, materiais de construção e outras.	Sanejouand (1972)
	Mathewson & Font	Estados Unidos da América	Hierarquização de cartas, definindo para quais usuários elas serão adequadas, fornecimento de subsídios ao uso do solo e expressar ao público não especialista informações sobre engenharia, geologia, meio ambiente e ou planejamento.	Mathewson e Font (1974)
	International Association of Engineering Geology and environmental (IAEG)	Alemanha	Foi elaborada por uma comissão formada pela IAEG com o objetivo de universalizar os procedimentos utilizados para a realização do mapeamento geotécnico, tendo como princípio a sua adequação a maioria dos países, tanto tecnicamente quanto economicamente. Para esta metodologia um mapa geotécnico deve proporcionar uma análise dos aspectos do meio físico de interesse ao planejamento regional e ao estudo da adequabilidade das áreas para o seu uso e ocupação, possibilitando a prevenção contra possíveis riscos e sendo de fácil entendimento. Segundo esta metodologia a elaboração do mapa geotécnico deve considerar as características das rochas e dos solos, a geomorfologia, a hidrogeologia, além dos fenômenos geodinâmicos, bem como deve partir da definição dos objetivos e da sua classificação quanto à finalidade, conteúdo e escala.	IAEG (1976)

Quadro 4.2 – Principais metodologias nacionais e internacionais de mapeamento geotécnico voltadas ao planejamento urbano

(continuação)

INTERNACIONAIS	Matula	Antiga Tchecoslováquia	Baseia-se no princípio de que qualquer paisagem pode ser definida segundo critérios geomorfológicos, ou seja, pode ser compartimentada em áreas com os mesmos padrões típicos de formas de relevo (para cada unidade de terreno) e adequados à escala de estudo. Esta metodologia trabalha com quatro níveis hierárquicos: província, padrão de terreno, unidade e componente de terreno. Propondo uma simbologia aliada aos geofatores que compunham o terreno, baseada em critérios onde as condições do meio ambiente restringem a ocupação.	Matula (1976)
	Zonas Expostas a Riscos de Movimentos de Solos (Zermos)	França	Os principais objetivos deste método é fornecer: a probabilidade de movimentos de massa ou instabilidades (por meio de cores) e apresentar um zoneamento graduado do risco sem previsão de tempo. Geralmente, os levantamentos são realizados em escala de 1:25.000 ou 1:20.000 e maiores. As cartas Zermos traduzem a análise, em determinado momento, dos movimentos do terreno ou outros fatores de instabilidade, revelados pelos dados obtidos na área estudada. A representação vai além de simples análise, fornecendo um zoneamento que gradua o risco, excluindo, porém as previsões no tempo.	Antoine (1977)
NACIONAIS	IPT	São Paulo-SP	A primeira Carta Geotécnica de áreas urbanas no País foi elaborada pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) do estado de São Paulo, em 1979, em escala aproximada de 1:5.000, contemplando a região dos morros das cidades de Santos e São Vicente, no litoral do estado de São Paulo. A metodologia utilizada baseou-se, sinteticamente em quatro etapas principais: (a) formulação de uma hipótese ou modelo inicial orientativo; (b) análise fenomenológica e de desempenho; (c) mapeamento e compartimentação; e (d) representação.	IPT (1979)
	COTTAS	Rio Claro-SP	Estabeleceu uma metodologia básica para o desenvolvimento de estudos geológicos visando processos de planejamento de centros urbanos, propondo assim, um novo modelo de abordagem do tema. Aconselha uma sequência de estudos geológicos e geotécnicos que culminam com a elaboração de uma série de cartas representativas das propriedades geológico-geotécnicas da área a ser ocupada. O método de trabalho aborda aspectos inerentes às várias áreas da geociência ligadas ao mapeamento geotécnico, tais como: geomorfologia, pedologia, geofísica, prospecção, meteorologia e hidrogeologia Utilizou, como fonte principal, a metodologia francesa e a norte-americana.	Cottas (1983)

Quadro 4.2 – Principais metodologias nacionais e internacionais de mapeamento geotécnico voltadas ao planejamento urbano

(continuação)

NACIONAIS	Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo (EESC/USP)	São Carlos-SP	Análise crítica das metodologias de mapeamento geotécnico utilizadas em vários países e se propõe atender à condição sócio-econômica brasileira, tendo como objetivos básicos produzir, a partir da avaliação de atributos do meio físico; documentos que auxiliem a implantação de formas de ocupação, sem que o meio físico sofra consequências desastrosas. Propõe também a utilização de Cartas básicas, intermediárias e interpretativas a partir de dados de sondagens ou investigações geológico-geotécnicas existentes e de SIG's (Sistema de Informação Geográfica) na obtenção de mapas e cartas derivadas.	Zuquette (1987)
	IPT	São Paulo-SP	Considera os problemas existentes e/ou esperados na área de intervenção associados às características do meio físico (tipo de substrato e comportamento dos materiais/aspectos geotécnicos – solo e rocha, aspectos morfológicos e morfométricos do relevo, dentre outros) e as formas de uso e ocupação do solo. A correlação desses dados permite estabelecer inicialmente a compartimentação dos terrenos. Representação cartográfica em linguagem adequada ao usuário, mapa final e quadro-legenda com recomendações.	Prandini, Freitas e Nakasawa, (1992)
	Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)	Rio Grande do Sul-RS	É destinada ao mapeamento de grandes áreas em solos tropicais. É baseada em estudos de escritório e confirmada com trabalhos de campo. Tem como produto final um único documento cartográfico com a estimativa de unidades homogêneas sob o ponto de vista geotécnico, onde os mapas litológicos, oriundo de mapas geológicos, pedológicos e geomorfológicos são utilizados para a definição de unidades geotécnicas formadas por solos com comportamento geomecânico similar. Entendem que, uma vez conhecido o comportamento geotécnico típico de uma unidade através de seus horizontes pedológicos, é possível estimar o desempenho do solo em qualquer aplicação onde este é solicitado.	Dias (1995)
	Unesp/Rio Claro	Rio Claro-SP	Tem como princípio básico o aumento da escala em razão de critérios de necessidades de uso. Apresenta critérios técnicos adequados ao parcelamento do solo para ocupação urbana, por identificação de restrições legais e/ou restrições devidas às características geotécnicas do terreno. Auxilia no planejamento mais criterioso visando orientar estudos de detalhe a serem realizados na execução das obras de instalação urbana.	Cerri (1990); Zaine (2000)
	Ufop	Ouro Preto-MG	Elaboração da Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização Frente aos Desastres Naturais, de acordo com a Lei Federal 12.608/12. Utiliza, como fonte principal, a metodologia desenvolvida pela Universidade Estadual Paulista/Rio Claro. Propõem que o modelo do detalhamento progressivo seja seguido também em práticas de planejamento e ordenamento urbano, com os níveis hierárquicos representados pela suscetibilidade (geral), aptidão à urbanização (semidetalhe ou intermediário) e risco (detalhe).	Sobreira e Souza (2012)

Quadro 4.2 – Principais metodologias nacionais e internacionais de mapeamento geotécnico voltadas ao planejamento urbano

(continuação)

NACIONAIS	Diniz e Freitas	Recife-PE	Elaboração da Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização Frente aos Desastres Naturais, de acordo com a Lei Federal 12.608/12. Apresenta duas metodologias a primeira para a Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização Aplicada ao Plano Diretor (escala 1:25.000). Propõem o zoneamento de unidades de terreno levando em conta os diferentes tipos e suscetibilidade a processos; adequabilidade da ocupação em cada unidade de terrenos (zonas favoráveis, aceitáveis e desfavoráveis); propostas de ações relacionadas à ocupação, valores ambientais e subsídios gerais para a legislação municipal; indicação de áreas que precisam de detalhamento para avaliação geotécnica voltada à aptidão urbanística, devido a restrições a loteamentos, necessidades de obras de infraestrutura viária, saneamento e drenagem e riscos potenciais a desastres naturais. A segunda metodologia é aplicada para a Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização Aplicada ao Parcelamento do Solo (escala 1:10.000) Propõem a coleta de informações detalhadas para expansão urbana; normas para loteamentos em áreas de média suscetibilidade a processos, necessitando de estudos de avaliação geotécnica; avaliação de perigo em áreas ocupadas com riscos potenciais frente a desastres naturais.	Diniz et al. (2013)
	Gegep	Recife-PE	Elaboração da Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização Frente aos Desastres Naturais, de acordo com a Lei Federal 12.608/12. Utiliza, como fonte principal, a metodologia desenvolvida por Diniz e Freitas (2013). Baseia-se em Unidades de Terreno (UT) a partir da abordagem multi-temática com sobreposição e cruzamentos de mapas temáticos de forma a se obter uma compartimentação. São elaborados produtos cartográficos de diferentes temas. Além de analisar os parâmetros dos meios físico, antrópico, uso e ocupação da terra e legislações vigentes e caracterização geotécnica das unidades, essa metodologia conta com reuniões técnica com a participação de uma equipe de pesquisadores multidisciplinar e interdisciplinar (Gegep), alunos de graduação e pós-graduação (formação de mão de obra qualificada) e de gestores da prefeitura do município no fornecimento de informações e de materiais, no acompanhamento da elaboração integral dos estudos para elaboração da carta, no debate dos resultados obtidos e na validação das decisões.	Coutinho (2014)
	Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)	São José-SC	Elaboração da Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização Frente aos Desastres Naturais, de acordo com a Lei Federal 12.608/12. Utiliza, como fonte principal, a metodologia desenvolvida por Davison Dias, a partir da sobreposição do mapa pedológico e litológico e com auxílio do Modelo Digital de Terreno (MDT) e da Ortofoto. Trabalha com as escalas de planejamento e de projeto. Ambas as escalas de trabalho contemplaram a identificação dos fatores e variáveis ambientais que condicionam a suscetibilidade de atuação dos processos físicos relacionados à probabilidade de ocorrência de deslizamentos nas encostas e de inundações, e a consequente aptidão geotécnica dos terrenos à urbanização. Realiza a análise da estabilidade dos taludes das unidades geotécnicas a partir da definição de ângulos de declividades limites para tornar a encosta instável, com base no cálculo do Fator de Segurança (FS). É calculado o FS por meio de superfícies de rupturas circulares, utilizando o método de cálculo rígido de Bishop, para as declividades de 15, 20, 25, 30 e 35°.	Flores (2014)

Quadro 4.2 – Principais metodologias nacionais e internacionais de mapeamento geotécnico voltadas ao planejamento urbano

				(conclusão)
NACIONAIS	Ministério das Cidades	Brasília-DF	A metodologia preconizada pelo Ministério das Cidades para a elaboração das Cartas geotécnicas de aptidão urbana frisa que as cartas geotécnicas de aptidão urbana, como estabelece a Lei n.º 12.608/2012, devem ser consideradas quando da aprovação de novos loteamentos, bem como na revisão dos planos diretores municipais, a fim de dar suporte ao poder público municipal nas diretrizes de uso e ocupação do solo urbano. Têm por finalidade conferir ao gestor público e à sociedade um instrumento de suporte a ser incorporado na revisão dos planos diretores municipais, no planejamento da expansão urbana e quando da aprovação dos novos parcelamentos de solos. As cartas consideram a potencialidade dos processos geodinâmicos relevantes e presentes nos municípios suscetíveis, no intuito de prevenir o surgimento de novas áreas de risco e a deflagração de desastres.	Batista et al. (2015)
	Universidade Federal do ABC (UFABC)	São Bernardo do Campo-SP	Elaboração da Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização Frente aos Desastres Naturais, de acordo com a Lei Federal 12.608/12. Utiliza, como fonte principal, a metodologia desenvolvida pelo IPT. Baseia-se nos parâmetros dos meios físico, biótico, antrópico e na legislação vigente, incluindo no processo de elaboração, as equipes de docentes e alunos de graduação e pós-graduação da UFABC, e dos gestores e técnicos municipais de diversas secretarias do município (Habitação, Planejamento Urbano, Serviços Urbanos e Gestão Ambiental). Esta metodologia tem como suporte o convênio entre a UFABC e o Ministério das Cidades	Nogueira e Canil (2015); Canil et al., (2016)
	SGB/CPRM	Rio de Janeiro	Elaboração da Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização Frente aos Desastres Naturais, de acordo com a Lei Federal 12.608/12. Utiliza, como fonte principal, a metodologia desenvolvida pela Universidade Federal de Ouro Preto (Ufop). Baseia-se na identificação dos terrenos municipais sujeitos aos desastres decorrentes de movimentos de massa nas vertentes das elevações e de enxurradas, enchentes e inundações nos sopés destas encostas e nas planícies, a metodologia contempla o mapeamento e a caracterização das unidades geotécnicas que ocorrem em toda a área estudada, de modo a subsidiar os municípios não só com as informações relativas aos possíveis desastres e suas consequências, como também, sobre os terrenos, que podem ter características inadequadas à expansão urbana.	Ferreira et al. (2015)

Fonte: Modificado de Rodrigues e Augusto Filho (2007).

4.3 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)

Com o desenvolvimento tecnológico, principalmente na área de Informática, pelo surgimento da cartografia digital e dos sistemas de informações geográficas (SIG), nas últimas décadas, tornou-se mais ágil e rápida a geração de mapas e cartas, ficando facilitados enormemente os processos de integração de dados e a atualização dos produtos cartográficos, à medida que novas informações são geradas ou adquiridas, assim como a reprodução das cartas e mapas em escalas diversas e a custos baixos (SOBREIRA; SOUZA, 2012).

Pode-se considerar o SIG como um conjunto de ferramentas para coleta, armazenamento e recuperação de dados espaciais do mundo real (BURROUGH, 1986), ou também, como um conjunto de procedimentos, manual ou informatizado, utilizados para armazenar e tratar dados geograficamente referenciados (ARONOFF, 1989). Segundo Fortes (1998), para todas as definições de SIG, fica evidente que esses sistemas tratam de informações geográficas, e essa ênfase no dado geográfico é o que diferencia o SIG de outros sistemas computacionais.

Os SIG são softwares baseados no uso de dados georreferenciados, o que na prática resulta em dados atrelados a uma rede geográfica. Esses sistemas integram informações espaciais e não espaciais, garantindo sua aplicação a diversas áreas que vão das geociências e engenharias englobando também as áreas de política e saúde.

A utilização do SIG para o mapeamento geotécnico pode ser de grande importância, especialmente quando se trabalha com o mapeamento de grandes áreas, em que o volume de informações dificulta as análises por processos não computacionais (HUABIN et al., 2005). As informações provenientes dos levantamentos podem ser armazenadas em bancos de dados no SIG e manipuladas com o objetivo de gerar informações derivadas que possam contribuir para o planejamento do meio físico e a tomada de decisões (ATKINSON, 2000).

Nesta pesquisa elaborou-se um banco de dados geográficos (formato.gdb) utilizando o software ArcGIS 10.1, que é parte integrante do SIG. Procurou-se armazenar e disponibilizar de forma organizada todos os dados, análises e os produtos cartográficos associados à elaboração deste trabalho.

4.4 TÉCNICA DE AVALIAÇÃO DE TERRENO EM MAPEAMENTO GEOTÉCNICO

Uma das formas de melhor análise das características do meio físico é uma realização do zoneamento geotécnico, que compreende a caracterização e indicação de fragilidades e potencialidades das áreas homogêneas (zonas).

No desenvolvimento da cartografia geotécnica no Brasil, há uma convergência entre as diversas metodologias quanto à aplicação do critério de Sistemas de Terreno para a compartimentação das unidades homogêneas ou domínios nas diversas escalas (DINIZ, 2012; FREITAS, 2000; LOLLO, 1995; ROSS, 1995; VEDOVELLO; MATTOS, 1998).

O zoneamento geotécnico consiste na delimitação de áreas (zonas) do terreno, nas quais os elementos componentes do meio físico, que estão por elas compreendidos, determinam condições geotécnicas semelhantes. Para essas áreas homogêneas (diante de aspectos do meio físico), pode-se indicar um comportamento geotécnico ou uma aptidão de uso, perante diferentes atividades antrópicas (VEDOVELLO; MATTOS, 1998).

A avaliação de terrenos (*terrain evaluation*), como é o caso dos zoneamentos geotécnicos, é o método mais útil para o levantamento das condições do meio físico, para fins de ocupação, uma vez que foi desenvolvido com esse objetivo (LOLLO, 1995).

De acordo com Lollo (1995), uma aplicação bastante interessante da avaliação do terreno é em grandes escalas (igual ou superiores à 1:25.000). Esse tipo de trabalho pode ser extremamente útil não só para a análise da relação elemento de terreno X espessura e natureza de materiais inconsolidados, mas também para a avaliação de áreas urbanas e de expansão urbana, e para a análise de riscos (principalmente de instabilização de terrenos).

Ross (1995) apresenta os termos “análise integrada” e “análise multitemática” como formas de se obter uma compartimentação. A primeira permite a elaboração de um produto cartográfico único, em que os elementos ambientais (solo, relevo, geologia, vegetação, uso do solo) são analisados integradamente para a identificação de diferentes unidades, que podem refletir limites concretos no espaço, podendo ser orientada para diferentes fins, enquanto na segunda, análise multitemática, tem-se um conjunto de produtos obtidos separadamente.

Existem três direções metodológicas para se chegar às Unidades de Terreno (UT): por células em uma malha quadrada; por sobreposição de mapas temáticos e por unidades de mapeamento de terrenos (análise integrada). Na malha quadrada, os atributos são levantados e armazenados a partir de pontos igualmente espaçados no terreno, amarrados a uma malha quadra sobreposta (DINIZ, 2012).

Na abordagem multitemática (subreposição de mapas temáticos), são elaborados produtos cartográficos de diferentes temas, os quais são sucessivamente interpolados diretamente ou em associações específicas, algumas vezes com atribuições de pesos, até se chegar a um mapa de síntese final.

Na abordagem da análise integrada (Land Systems), o padrão de fisionomia do terreno é analisado geralmente por meio de fotointerpretação, que permite identificar diferentes unidades de terreno. As unidades são então caracterizadas quanto às propriedades e constituição dos elementos componentes do terreno e avaliadas em termos de diagnósticos/prognósticos ambientais (VEDOVELLO; MATTOS, 1998).

Nesta pesquisa buscou-se aplicar a metodologia de análise multitemática, ou seja, um conjunto de produtos cartográficos obtidos separadamente é cruzado para a obtenção de um mapa de síntese final. No entanto, diversos autores têm apontado vantagens na utilização da metodologia de análise integrada, destacando a economia em termos de custo, tempo e vasta aplicabilidade. O método de sobreposição de mapas temáticos se aproxima bastante, em termos de resultados, do método de análise integrada, porém é menos otimizado em termos de recursos e tempo.

4.5 CARTA GEOTÉCNICA PARA O PLANEJAMENTO MUNICIPAL

Essa cartografia tem como objetivo o planejamento e a gestão territorial, devendo apresentar elementos do meio físico e dos modos de ocupação do solo que participem dos dados de percepção e avaliação do gestor público para o estabelecimento de metas e ações de desenvolvimento do território para sua implantação e monitoramento. Em geral, as maiores solicitações desse tipo de carta geotécnica são municipais, que agora devem ser elaboradas na escala 1:25.000, segundo a Lei n.º 12.608. Para cumprir seus objetivos, essas cartas, segundo Diniz et al. (2013), precisam:

- partir dos processos significativos, presentes ou com possibilidade de ocorrência no território, naturais ou alterados por atividades antrópicas e buscar as suas condicionantes mapeáveis (parâmetros do meio físico e formas de ocupação do solo);
- compilar os dados necessários, orientados para atender aos objetivos da cartografia;
- definir, preliminarmente, unidades de terreno de comportamento semelhante, que correspondam a necessidades de práticas de prevenção e correção, distintas para cada compartimento;

- executar trabalhos complementares de campo;
- estabelecer representação cartográfica final, buscando as relações de diversidade de cada compartimento geotécnico estabelecido e a melhor percepção visual na leitura cartográfica das informações. Assim, para uma comunicação eficaz, é necessário observar cuidadosamente as propriedades perceptivas das variáveis visuais para aplicá-las convenientemente;
- elaborar quadro-legenda com diretrizes/recomendações diferenciadas em cada unidade de terreno delimitada, segundo a probabilidade de ocorrência de tipos de processos ou problemas, de maneira a solicitar formas adequadas de ocupação e, portanto, diferentes medidas e ações do Poder Público responsável no planejamento e gestão. O quadro-legenda deve conter a descrição sucinta das unidades geotécnicas delimitadas no mapa, caracterizando os diferentes terrenos que ocorrem na área focalizada em termos de desempenho provável, diante de distintas formas de uso e ocupação do solo;
- anexar os mapas temáticos (geológico, geomorfológico, uso e ocupação do solo, dentre outros) e texto explicativo em papel e formato eletrônico (digital, vetorial e georreferenciado).

Esses procedimentos metodológicos para a elaboração da carta geotécnica do planejamento municipal, de maneira geral, são, assim, fundamentados na caracterização e análise dos principais processos do meio físico e suas alterações devido a atividades antrópicas estabelecidas pelo processo tecnológico. Tais alterações antrópicas podem ser traduzidas pelas variações nos atributos do meio (declividade do terreno, cobertura vegetal, tipo de solo, drenagem, ocupação do local e entorno, entre outros) que condicionam os processos. A delimitação dos terrenos de acordo com a variação dos processos resultará em unidades específicas de terreno e permitirá apresentar diretrizes às diferentes formas de ocupação (Quadro 4.3).

Para o planejamento, essa carta geotécnica precisa fundamentar a elaboração de planos e metas do município, portanto tem abordagem regional. Porém, como todo plano, estabelece solicitações posteriores de projetos e ações específicas ou de abrangência local. É o caso de recomendações para elaboração de carta geotécnica de aptidão urbanística, com detalhamento de obras e infraestrutura, ou de carta geotécnica de risco, por meio de verificação de áreas em situação de perigo, com ocupações de terrenos de alta ou média suscetibilidade a processos ocorrentes ou potenciais, tais como deslizamentos, erosão, inundação, subsidência cárstica e

fluxo de detritos (*debris flow*). Tais áreas são tratadas, no planejamento, apenas para o estabelecimento geral de normas de gestão de sua ocupação.

Quadro 4.3 – Aspectos gerais para elaboração da Carta Geotécnica de Planejamento

ETAPAS	ATIVIDADES	PRODUTOS	
1-PLANEJAMENTO DA CARTA	<ul style="list-style-type: none"> • Objetivos específicos • Escala de representação • Equipe interdisciplinar • Compilação de dados 	MATERIAL SECUNDÁRIO DISPONÍVEL	
2-RECONHECIMENTO DOS PRINCIPAIS PROCESSOS EXISTENTES OU POTENCIAIS	<ul style="list-style-type: none"> • Entendimento dos processos • Identificação dos fatores condicionantes 	DADOS PRIMÁRIOS/PRELIMINAR	
3-ESTUDOS TEMÁTICOS DIRIGIDOS	<ul style="list-style-type: none"> • Informações necessárias do meio físico e da ocupação do solo • Tratamento ou elaboração do mapa planialtimétrico e de mapas temáticos (basicamente geologia, geomorfologia, drenagem, ocupação do solo, unidades de conservação, eventualmente outros), na escala necessária • Criação de banco de dados 	DADOS COMPLEMENTARES	
4-COMPARTIMENTAÇÃO GEOTÉCNICA	<ul style="list-style-type: none"> • Análise integrada dos dados temáticos e processos • Delimitação das unidades geotécnicas 	PRODUTO CARTOGRÁFICO	CARTA GEOTÉCNICA DE PLANEJAMENTO
5-ESTABELECIMENTO DE DIRETRIZES	<ul style="list-style-type: none"> • Recomendações diferenciadas de ocupação do solo em cada unidade do terreno delimitada, segundo a probabilidade de ocorrência de diferentes tipos de processo 	QUADRO-LEGENDA	
6-ELABORAÇÃO DO TEXTO DO ESTUDO	<ul style="list-style-type: none"> • Texto explicativo 	TRABALHOS EXECUTADOS	

Fonte: Diniz et al. (2013).

A análise e o mapeamento de suscetibilidade, diante dos diferentes mecanismos dos processos, devem levar em conta as características geomorfológicas, geológicas, geoecológicas (vegetação e uso da terra), sintetizadas nas cartas geotécnicas de planejamento. Esses fatores devem ser previamente cartografados na mesma escala de interesse da análise e do mapeamento pretendido, o qual, por meio da análise de ameaças e dos elementos em risco (de natureza socioeconômica e geoecológica), possibilitará a indicação para elaboração posterior das cartas geotécnicas de aptidão urbanística e de risco.

Como exemplo de diretrizes gerais de planejamento, em áreas com alto e médio grau de suscetibilidade, tem-se:

Grau Alto – em área não ocupada: restringir a forma de ocupação; em área ocupada: elaborar carta geotécnica de risco detalhada.

Grau Médio – em área não ocupada: exigir estudo detalhado para ocupação; em área ocupada: avaliação de risco e eventual cartografia geotécnica de risco.

A metodologia adotada para a elaboração da Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização do município do Ipojuca-PE na escala de planejamento (1:25.000) foi desenvolvida pelo Gegep-Laboratório para Redução de Risco de Desastres (LABRRID)/UFPE, apresentada na seção 4.2 como metodologia do Gegep. Essa metodologia tem como fonte principal a metodologia desenvolvida por Diniz et al. (2013) e Coutinho (2013). Baseia-se em UT por meio da abordagem multitemática com sobreposição e cruzamentos de mapas temáticos de forma a se obter uma compartimentação. São elaborados produtos cartográficos de diferentes temas. Além de analisar os parâmetros dos meios físico e antrópico, uso e ocupação da terra e legislações vigentes, essa metodologia conta com reuniões técnicas com a participação de uma equipe de pesquisadores multidisciplinar e interdisciplinar (Figura 4.3), alunos de graduação e pós-graduação e de gestores da prefeitura do município no fornecimento de informações e de materiais, no acompanhamento da elaboração integral dos estudos para elaboração da carta, no debate dos resultados obtidos e na validação das decisões. A Figura 4.4 esquematiza a metodologia do Gegep.

Figura 4.3 – Fluxograma da equipe do Gegep composta por profissionais de diversas áreas de atuação



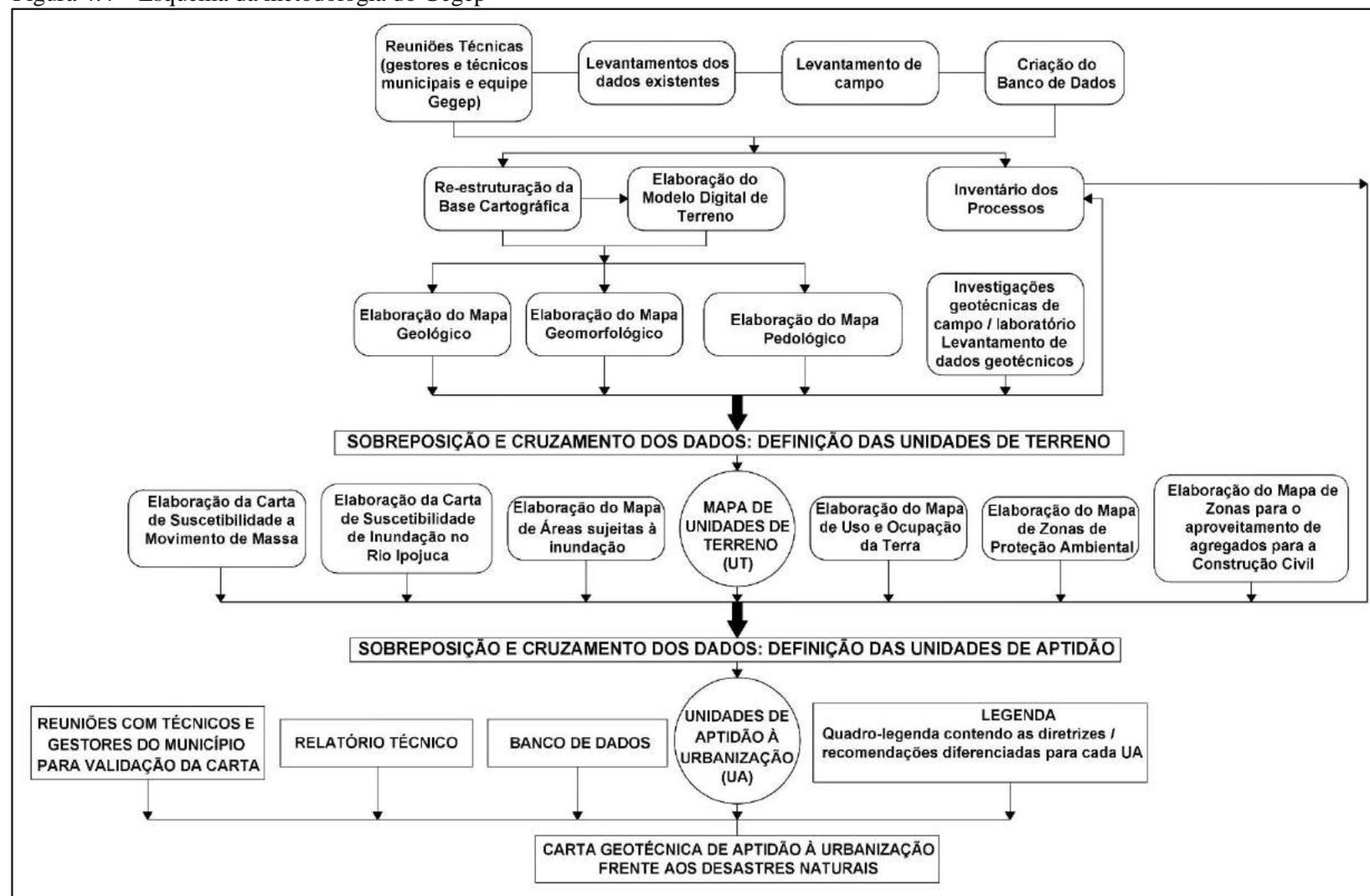
Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Saliente-se que a presente pesquisa está inserida no Projeto MCidades/UFPE/ Gegep, intitulado: Elaboração de Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização no Município do Ipojuca, localizado na região metropolitana do Recife, estado do Pernambuco, sob a coordenação do Prof. Roberto Quental Coutinho, conforme descrito na seção 1.1.

Destaca-se, ainda, a experiência do Grupo Gegep em outros trabalhos desenvolvidos nas linhas de pesquisas de estabilidade e erosão de encostas, mapeamento e gestão do risco de movimento gravitacional de massa, erosão e inundação, e cartografia geotécnica para fins de planejamento e uso do solo, tais como Bandeira (2003); Bandeira e Coutinho (2015); Bandeira, Coutinho e Alheiros (2004); Bandeira, Alheiros, e Coutinho (2005); Coutinho (2014); Coutinho et al. (2016), Henrique (2014), entre outros. Como política do Gegep nos municípios onde estão sendo feitos os mapeamentos, são selecionados locais para estudos detalhados por estudante de pós-graduação, por exemplo: Almeida (2016); Magalhães (2014) e Souza (2014).

Além dos trabalhos desenvolvidos pelo Grupo Gegep, deve-se destacar outros trabalhos importantes desenvolvidos na região metropolitana do Recife e no município do Ipojuca: Alheiros (1998); Alheiros e Ferreira (1989); Alheiros et al. (1988; 2003); Guerra (1998); Gusmão (1993); Gusmão e Alheiros (1997); Gusmão et al. (1992; 1993); Pfaltzgraff (1998, 2003, 2007), dentre outros.

Figura 4.4 – Esquema da metodologia do Gegep



Fonte: Coutinho (2014).

5 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Esta seção trata das características da área de estudo, apresentando, resumidamente a localização, as características físicas, aspectos socioeconômicos e demográficos e processo de urbanização do município do Ipojuca.

5.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

O município do Ipojuca, onde se realizou esta pesquisa, ocupa uma área de 527,107 km², sendo envolvido por uma extensão perimetral de 111,79 km. Localiza-se na região metropolitana do Recife, estado de Pernambuco. Situa-se a 52 quilômetros do Recife na zona litoral da Mata Sul (Figura 5.1).

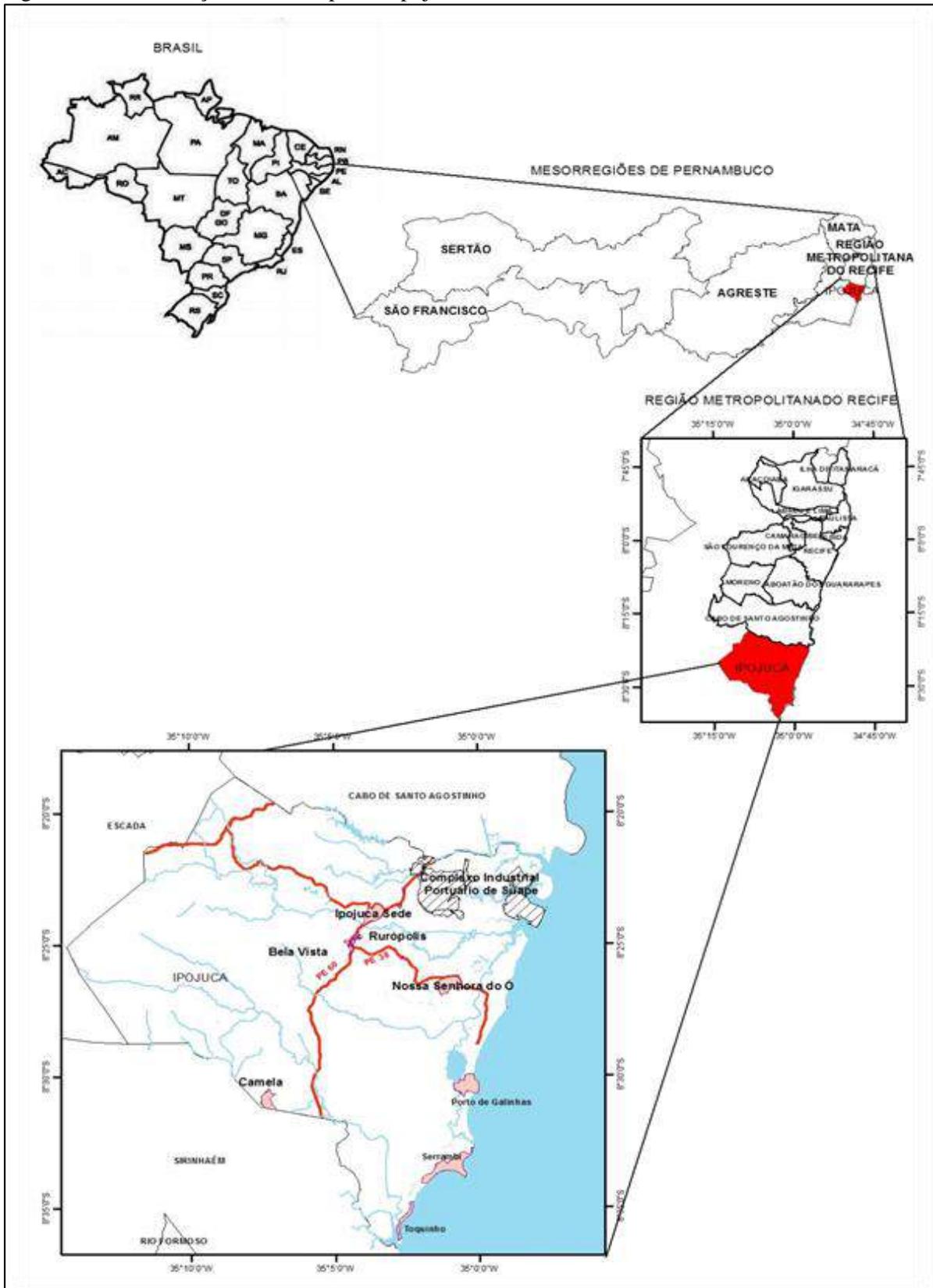
Pela localização geográfica de seu porto, Suape desperta o interesse de grandes grupos empresariais do Brasil e do mundo. Conecta-se com, pelo menos, 160 portos de todos os continentes e é considerado um dos principais polos de investimentos do país.

O Complexo Industrial Portuário de Suape concentra, atualmente, mais de cem empresas operantes e outras cinquenta em processo de implantação. Todo esse contingente portuário-industrial é responsável pela geração de empreendimentos nos mais diversos segmentos e mais de 25 mil empregos diretos.

O município é formado por três distritos, o Distrito Sede, o Distrito de Nossa Senhora do Ó e o Distrito de Camela, e pelos povoados das praias de Porto de Galinhas, Muro Alto, Cupe, Maracaípe, Serrambi, Toquinho e seus engenhos.

A sede municipal localiza-se na latitude 08°24'00" e longitude 35°03'45". O município limita-se ao norte com o município do Cabo de Santo Agostinho, na Pedra do Meio na Boca da Barra de Suape; ao sul, com o município de Sirinhaém na Boca da Barra do rio Sirinhaém; a leste, com o Oceano Atlântico; a oeste, com o município de Escada. Pode ser acessada por quem vem de Recife pela Rodovia Federal BR-101 Sul, e posteriormente, pela PE-60 ou pela Rota do Atlântico PE-009 e VPE-052 (pedagiada).

Figura 5.1 – Localização do município do Ipojuca-PE



Fonte: Elaboração do autor.

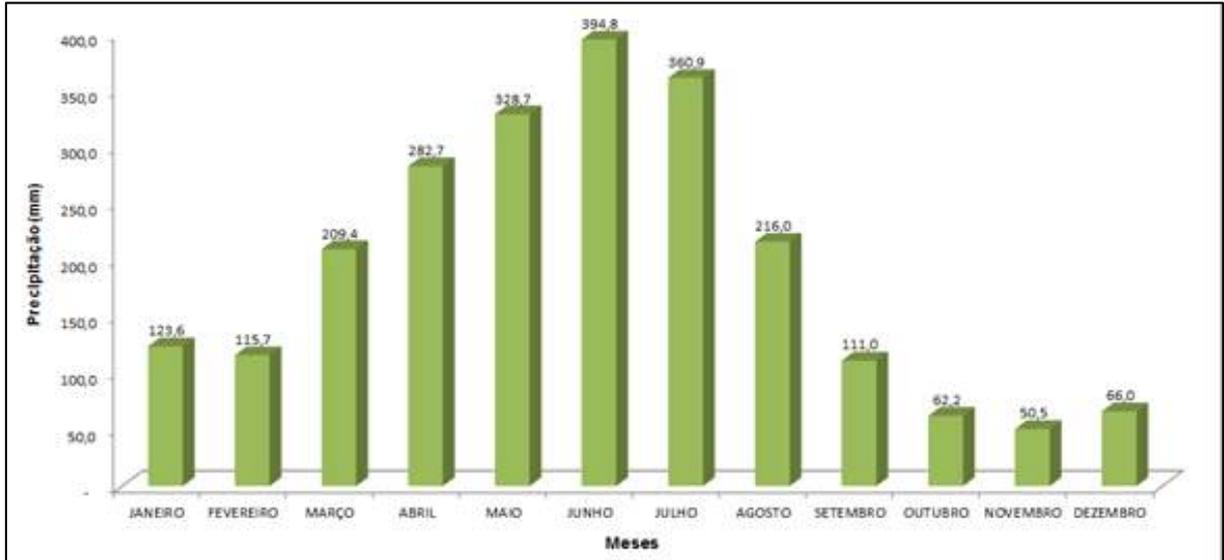
5.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

5.2.1 Clima

O clima do município do Ipojuca é do tipo tropical chuvoso, quente e úmido As'na escala de Köppen, com chuvas de outono-inverno, amenizado por brisas marinhas e alísios do sudeste. O período das chuvas situa-se entre os meses de março e agosto (outono-inverno), sendo os meses mais úmidos os que vão de maio a agosto. Dentro desse período, a precipitação pluviométrica oscila entre 140 e 270 mm mensais, com média anual variando entre 1.500 e 2.000 mm. A temperatura média anual está em torno de 26°C, com temperaturas mínimas e máximas em torno de 18°C e 32°C respectivamente (TORRES, 2014).

Dados pluviométricos fornecidos pela Usina Ipojuca referentes ao município do Ipojuca encontram-se no Gráfico 5.1, onde estão as precipitações mensais de 1941 a 2013 e a média mensal dos últimos setenta e dois anos.

Gráfico 5.1 – Precipitações pluviométricas no município do Ipojuca de 1941 a 2013 e médias mensais dos últimos setenta e dois anos



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

5.2.2 Vegetação

Inserido na zona fisiográfica da mata atlântica, vegetação, o município é do tipo floresta subperenifólia, com partes de floresta hipoxerófila. Apresenta como bioma a mata atlântica, onde resquícios podem ser encontrados em pequenas áreas do município em razão de sua

Por toda a faixa litorânea, podem-se encontrar, como resultado da alteração dos sedimentos mais recentes, os Solos de Mangues (SM) e os Neossolos (RQo). Nas proximidades do Complexo Industrial Portuário de Suape, observaram-se os RQo em conjunto com os Espodosolos (ESo).

No Quadro 5.1, pode ser observada a correlação entre a classificação antiga e a nova dos solos de acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa).

Quadro 5.1 – Correlação entre a classificação nova e antiga dos solos

Classificação Nova	Classificação Antiga
Argissolo	Podzólico Amarelo Podzólico Vermelho-Amarelo
Espodosolo	Podzol Hidromórfico
Gleissolo Háptico	Gleissolo
Latosolo	Latosolo Amarelo
Neossolo	Areia Quartzosa Areia Quartzosa Marinha
Nitossolo	Terra Roxa
Organossolo	Solo de mangue

Fonte: Embrapa (2006).

5.2.4 Hidrografia

O município é composto por quatro bacias hidrográficas, a bacia do Ipojuca (Fotografia 5.1), que é a principal do município, abrangendo os distritos sede e Nossa Senhora do Ó e as respectivas áreas de expansão; a bacia do rio Sirinhaém e os Grupos Litorâneos GL2 e GL3. Há, ainda, uma série de canais, naturais ou não, que cortam as áreas planas, muitas vezes inundadas, situadas no litoral do município. A presença dessas quatro bacias ressalta a larga planície fluviomarina, áreas alagadas próximas do litoral com presença de mangues.

Fotografia 5.1 – Rio Ipojuca à direita e córrego à esquerda bastante assoreado na área de expansão do distrito de Camela, Ipojuca-PE



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

5.2.5 Geomorfologia

O município de Ipojuca apresenta oito unidades de relevo, sendo assim classificadas: Planícies Fluviais ou Fluviolacustres, Planícies Fluviomarinhas, Planícies Costeiras, Domínio de Colinas Amplas e Suaves, Domínio de Colinas Dissecadas e de Morros baixos, Domínio de Morros e de Serras Baixas (AMARAL, 1998).

Na parte central e oeste, as unidades Domínio de Colinas Dissecadas e de Morros Baixos, Domínio de Morros e de Serras Baixas representam as alterações sofridas pelas rochas pré-cambrianas do embasamento cristalino. Nessas unidades ocorre o predomínio de fundos de vales em “V”, linhas de cumeadas, cume de morros, colinas arredondadas e encostas convexas, resultando em ravinamentos, deslizamentos e voçorocamentos em alguns locais.

A unidade Domínio de Colinas Amplas e Suaves também pode ser observada nos sedimentos da Bacia do Cabo, onde há o predomínio de fundos de vales em “U”, cumes arredondados e angulares, morros e colinas que antecedem a Chapada da Borborema.

Nas Planícies Costeiras, observam-se os Terraços Marinhos Pleistocênicos, sedimentos arenosos remanescentes da penúltima transgressão marinha; encontram-se em uma faixa que acompanha todo o litoral do município. Ambos com a mesma composição litológica dividem-se em dois níveis distintos: Terraço marinho superior, situado de 4 a 8 m de altitude acima do nível do mar, com idade do Pleistoceno, e Terraço marinho inferior, que ocorre com, no máximo, 6 m de altitude e foi formado no Holoceno.

As Planícies Fluviais, depósitos de origem fluvial assentados nas várzeas dos rios durante o período das cheias, estão sujeitas a inundações periódicas dos rios. São observadas ao longo dos rios Ipojuca, Arimbi, Sibiró e Sirinhaém.

A Planície Fluviomarinha, localizada ao longo da costa, composta por sedimentos finos arenoargilosos depositados com alguma interferência marinha, formou-se sob as condições ambientais do Quaternário. Representa-se pelas praias, recifes, terraços e planícies, mangues, bancos de areia, planície fluviolagunares e os depósitos de assoreamento.

Os Manguezais são áreas baixas, periodicamente inundáveis, situadas principalmente ao longo dos trechos inferiores dos rios; sofrem a influência direta do mar e têm uma vegetação característica que se assenta em um substrato de sedimentos finos ricos em matéria orgânica. As Praias Recentes são formadas por sedimentos arenoquartzosos que se distribuem em estreita faixa de norte a sul do município.

5.2.6 Geologia

A área do município do Ipojuca apresenta duas unidades geotectônicas principais: o embasamento cristalino e a Bacia Pernambuco. Nesse contexto, o Quadro 5.2 identifica as unidades litoestratigráficas que ocorrem na área de estudo. A evolução geológica dessa área está fortemente condicionada ao processo de abertura do Oceano Atlântico Sul, durante o período Mesozóico (100 a 80 milhões de anos).

Quadro 5.2 – Unidades litoestratigráficas da área de estudo

Períodos Geológicos		Litologias
QUATERNÁRIO	Depósitos fluviais, de praias e mangues	Areias quartzosas, siltes e argilas orgânicas
TERCIÁRIO	Formação Barreiras	Areias argilosas a siltosas
	Formação Algodoads	Conglomerados com componentes vulcânicos
CRETÁCEO	Formação Estiva	Calcários e margas
	Granito do Cabo	Granito
	Suíte Ipojuca	Riolitos, traquitos, tufos e basaltos
	Formação Cabo	Conglomerados, arcósios, argilitos
PRÉ-CAMBRIANO	Embasamento Cristalino	Granitos, gnaisse e migmatitos

Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Durante a separação dos continentes sul-americano e africano em razão de esforços tectônicos, ocorreu a formação do Oceano Atlântico e a geração de meios grabens no litoral da região por meio de falhamentos com direção NE-SW, onde foi depositada a Bacia do Cabo – Grupo Pernambuco, os quais posteriormente foram recobertos por sedimentos recentes do Quaternário.

5.2.7 Extrativismo mineral

A atividade minerária existente no município do Ipojuca caracteriza-se, como em praticamente toda a região metropolitana, essencialmente por uma concentração de pequenos e médios empreendimentos de extração de bens minerais de uso na construção civil, de baixo valor agregado e, no geral, por uma baixa capacitação tecnológica.

As ocorrências minerais registradas no município são basicamente destinadas à construção civil. Entre elas, encontram-se o caulim, as rochas ornamentais, areia, argilas, turfa, riólito, traquito e ignimbrito. Por outro lado, a areia é extraída em grande quantidade do leito do rio Ipojuca. São extraídas de forma manual fazendo uso de lavra por canoa/barca, com pás e picaretas manuais (Fotografia 5.2) e de forma semimecanizada por meio de dragas de sucção (Fotografia 5.3).

Fotografia 5.2 – Lavra manual de areia no rio Ipojuca



Fonte: Pinto (2009).

Fotografia 5.3 – Lavra de areia em leito de rio (alto e baixo do rio Ipojuca) por dragagem



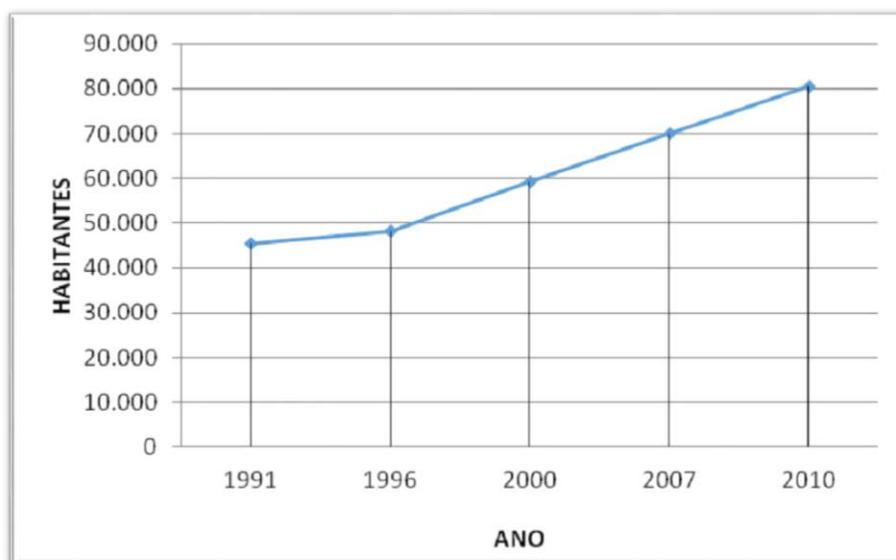
Fonte: Pinto (2009).

5.3 ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS E DEMOGRÁFICOS DO MUNICÍPIO DO IPOJUCA-PE

Segundo o censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2011), em 2010, o município do Ipojuca apresentava uma população de 80.637 mil habitantes, com uma densidade demográfica de 151,39 hab/km², dividida em 59.719 habitantes, ocupando as áreas urbanas e 20.918 nas áreas rurais, com uma taxa de urbanização de 74,06%. Realizando-se uma análise entre os anos de 2000 e 2010 (Gráfico 5.2), em 2000, a população residente, segundo o censo, era de 59.281 habitantes e em 2010 passou a ser de 80.637 habitantes, ou seja, houve um aumento significativo de 36%.

Já o número de domicílios permanentes, aumentou em 64% entre 2000 e 2010, saltando de 13.414 para 22.016, o que infere uma forte pressão imobiliária no município em decorrência do fluxo imigratório, principalmente em função da dinâmica econômica atual gerada pelo crescimento do polo industrial de Suape.

Gráfico 5.2 – Crescimento anual da população entre 1991 e 2010 do município do Ipojuca



Fonte: IBGE (2013).

A região tem um dos maiores complexos industriais portuários do país (o Porto de Suape), responsável pela exportação e importação de produtos manufaturados e agrícolas. Segue-se o setor agrícola com destaque para a cultura de cana-de-açúcar, bastante utilizada para a produção de açúcar, álcool hidratado, álcool anidro e melado. Outros produtos são explorados como a mandioca, laranja e manga. O setor da pecuária é representado pelos bovinos e, em segundo plano, os caprinos. Destacam-se os negócios do setor de turismo, que têm a Praia de Porto de Galinhas como estrela principal. Também impulsionam a economia, com a rede hoteleira.

5.4 PROCESSO DE URBANIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DO IPOJUCA

O município foi criado em 30 de março de 1843 pela Lei Provincial n.º 152. Recebeu esse nome por estar inserido nos domínios da bacia hidrográfica do rio Ipojuca além do rio Sirinhaém e do grupo de bacias de pequenos rios litorâneos. Pertencente à Zona da Mata do estado de Pernambuco tem, historicamente, seu território dominado pelo poder dos representantes da produção e comercialização da cana-de-açúcar e seus derivados. Durante séculos, representou a simbologia do poder dos senhores de engenho e, posteriormente usineiros no estado.

A construção do Complexo Industrial Portuário de Suape, que se estabelece em área do município, veio para a população local como uma esperança na mudança do perfil socioeconômico, uma vez que o modo de a cana-de-açúcar ser produzida na região tolhe o

surgimento e a dinamização de outras atividades econômicas. A importância e atração de indústrias e empresas, em função da centralidade desse porto, só veio ganhar força na segunda metade da década de 2010. O anúncio da construção da refinaria Abreu e Lima e do estaleiro Atlântico Sul em 2005 foi o principal marco da reestruturação socioeconômica não só do município em questão, mas de toda a região metropolitana do Recife (MACHADO, 2014).

O processo de urbanização contribuiu para que Ipojuca tivesse um aumento em sua densidade populacional, sem que os investimentos em infraestrutura básica dessem sustentabilidade ao aumento da população. Apesar da extensa área territorial, a zona urbana é pequena e muitas famílias moram aglomeradas nos distritos e povoados, haja vista grande parte da terra pertencer às usinas canavieiras. Ressalte-se que os recursos aplicados não foram compatíveis com o desenvolvimento, o que gerou desordenamento da cidade.

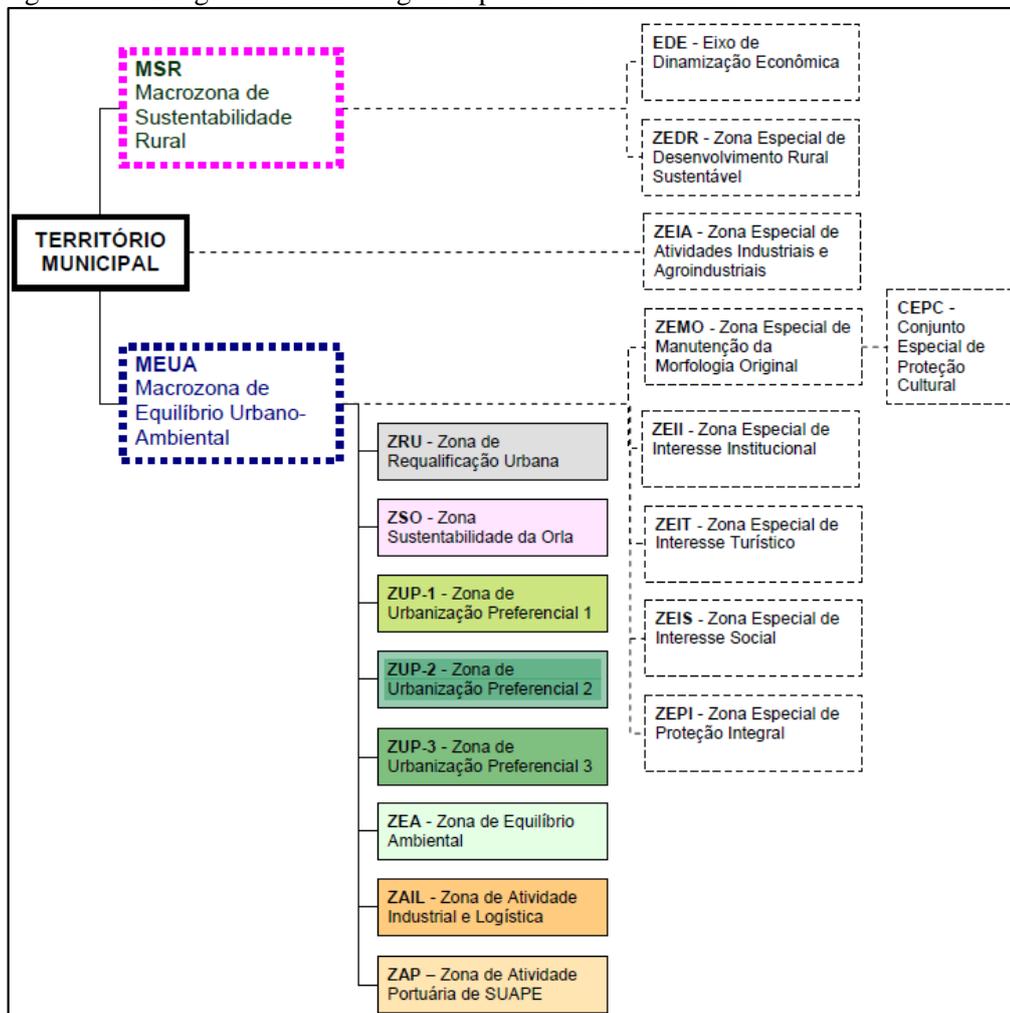
Para evitar os problemas socioespaciais e minimizar os impactos no município, surgem planos e diretrizes para Suape, elaborados pelo Governo do Estado. O primeiro Plano Diretor de Suape criou-se em 1973, ainda sem a existência do porto e do complexo de Suape, no qual apenas se definiram áreas destinadas para essas finalidades. Em 1978, época da criação da Empresa Suape, elaborou-se o Plano Suape pela Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco (Condepe-Fidem), que traçou normas de uso do solo para o complexo. Em 1983, criou-se o Decreto n.º 8.447/83 de 2 de março, as normas de uso do solo, uso dos serviços e preservação ecológica do Complexo Industrial Portuário de Suape (PERNAMBUCO, 1983).

Com esse decreto, em 1994, o Complexo de Suape passou a comportar uma Zona de Processamento de Exportação (ZPE) que ampliou a capacidade de oferta de serviços portuários. A Agência Condepe-Fidem (2008) traçou Diretrizes para a Ocupação Sustentável para Suape que acrescentaram a preocupação com a ocupação sustentável, empregando-se o conceito de sustentabilidade urbana e regional ampliada, diante da necessidade enfrentar a degradação do meio ambiente associada ao problema da pobreza da área. Além desses planos, o Plano Diretor de Ipojuca insere o Complexo de Suape na Zona de Atividade Portuária (ZAP) de Suape, pertencente à Macrozona de Equilíbrio Urbano-Ambiental (MEUA), com restrições visando à manutenção ambiental (Lei n.º 1490/2008, Plano Diretor do Município de Ipojuca), conforme Medeiros et al. (2014).

Ipojuca dispõe, atualmente, do Plano Diretor (Lei n.º 1490 de junho de 2008), como instrumento legal para o planejamento, que é parte integrante do Programa de Controle Urbano e Ambiental do Território Estratégico de Suape. De acordo com o Plano Diretor do município do Ipojuca e respectivo zoneamento, o território municipal divide-se em duas macrozonas (Figuras 5.3 e 5.4):

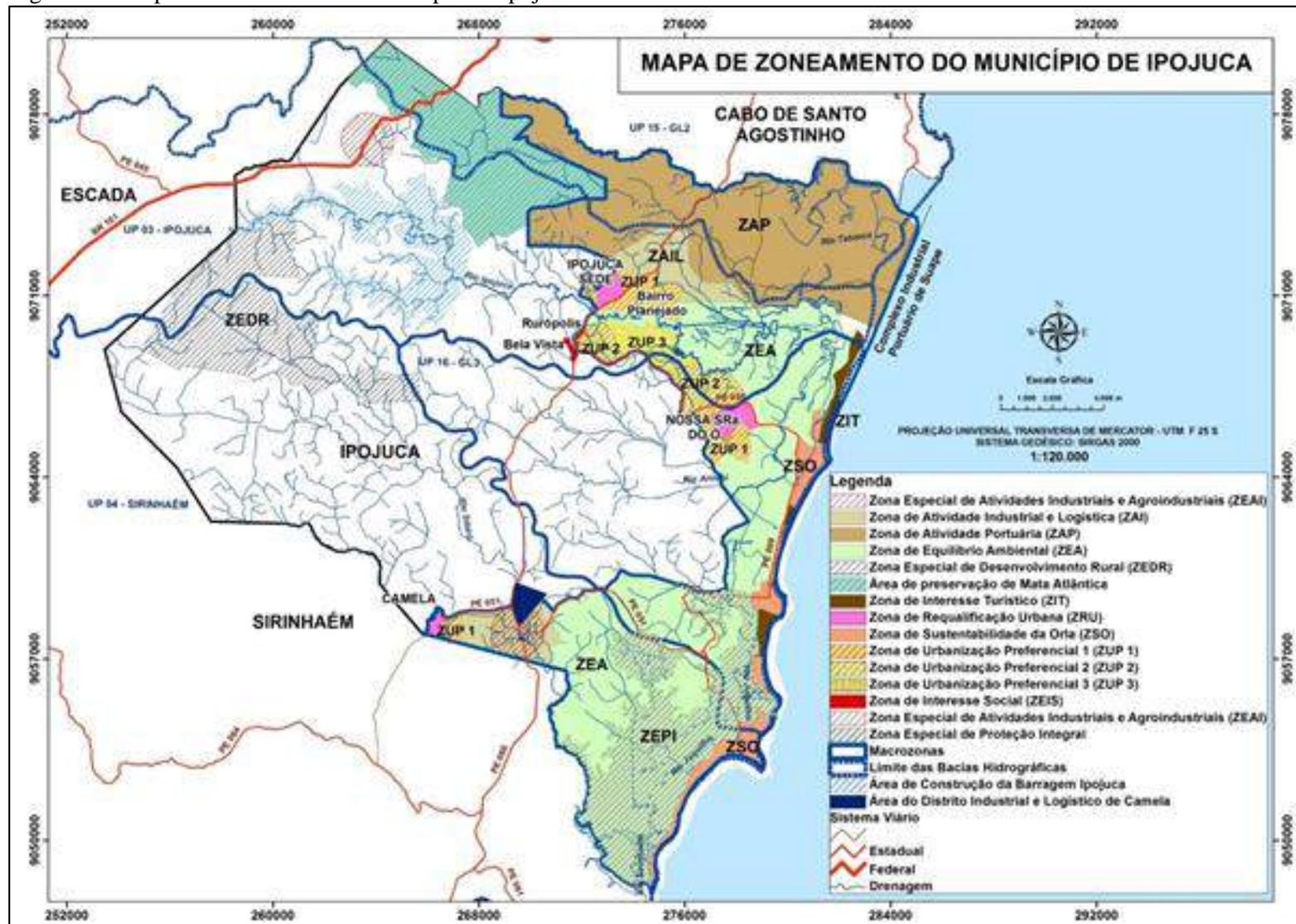
- a) Macrozona de Sustentabilidade Rural (MSR) – composta pela Zona Especial de Desenvolvimento Rural Sustentável (ZEDRS) e pelo Eixo de Dinamização Econômica (EDE).
- b) MEUA – Composta pela Zona de Requalificação Urbana (ZRU), Zona de Urbanização Preferencial (ZUP) 1, 2 e 3, pela Zona de Equilíbrio Ambiental (ZEA), Zona de Sustentabilidade da Orla (ZSO), Zona de Interesse Turístico (ZIT), Zona de Atividade Industrial e Logística (ZIL), Zona de Atividade Portuária de Suape (ZAP). Além dessas zonas, existem a Zona Especial de Manutenção da Morfologia Original (Zemo), a Zona Especial de Interesse Institucional (ZEII), as Zonas Especiais de Interesse Social (Zeis), Zona Especial de Proteção Integral (Zepi) e a Zona de Atividades Industriais e Logísticas (Zail).

Figura 5.3 – Diagrama da modelagem espacial do zoneamento



Fonte: Ipojuca (2008).

Figura 5.4 Mapa de zoneamento do município do Ipojuca



Fonte: Adaptado do Plano Diretor do Município 2008, com base em Coutinho (2014).

A MSR compreende a porção oeste do território municipal. É formada por uma extensa área de cultivo da cana-de-açúcar, permeada por estruturas naturais que garantem o equilíbrio ambiental do território e apresenta ampla rede de estradas vicinais, que permitem a conectividade entre os núcleos urbanos dando mobilidade e acessibilidade ao território municipal.

A ZEDRS corresponde às áreas de: a) assentamentos rurais de reforma agrária, legalmente definidos pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (Incra) de Pernambuco; b) assentamentos organizados pelo Fundo de Terras do Estado de Pernambuco (Funtep).

Essa zona destina-se ao fomento de atividades econômicas, agropecuárias, agroindustriais em especial; ao estímulo e apoio à agricultura diversificada e à produção socialmente estruturada de cana-de-açúcar e seus derivados.

A Zona Especial de Atividades Industriais e Agroindustriais (Zeia) corresponde à porção do território destinada à instalação controlada de: a) atividades industriais, agroindustriais e demais atividades econômicas estruturadoras; b) equipamentos especiais de referência regional.

A MEUA compreende a porção leste do município, caracterizada por elementos físicos e naturais que induzem e condicionam o processo de apropriação espacial.

A ZRU corresponde às áreas de urbanização consolidadas dos núcleos urbanos de Ipojuca Sede e dos distritos de Nossa Senhora do Ó e Camela apresentando as seguintes características:

- I. limitações ao processo de expansão física em razão da forte atividade de cultivo de cana-de-açúcar nas áreas circundantes aos núcleos urbanos;
- II. lugares centrais conservando a morfologia original da formação urbana, com o traçado orgânico e ocupação diferenciada;
- III. elevado nível de adensamento construtivo, sobretudo nas áreas periféricas, que se encontram ocupadas por assentamentos espontâneos de urbanização precária e caracterizadas pela existência de: a) situações de risco de alagamentos, declividade do solo e deslizamentos; b) falta de sistemas de saneamento básico.

A ZUP-1 corresponde às áreas adjacentes aos núcleos urbanizados de Ipojuca Sede e dos distritos de Nossa Senhora do Ó e Camela. Cumpre um papel estratégico de indução do processo de expansão urbana dos núcleos urbanos consolidados do município. Essa zona tem como um dos principais objetivos atender à demanda reprimida por moradia, que compõe o

déficit habitacional do município e a demanda decorrente dos grandes investimentos previstos para o Complexo Industrial Portuário de Suape.

A ZUP-2 compreende áreas próximas aos núcleos urbanos dos Distritos Sede e de Nossa Senhora do Ó. Cumpre papel estratégico no processo de expansão urbana dos núcleos urbanos consolidados do Ipojuca Sede e Nossa Senhora do Ó, com caráter secundário, em relação à ZUP-1.

A ZUP-3 corresponde à porção do território do município, atualmente utilizada para o cultivo de cana-de-açúcar, com um perfil fundiário configurado por propriedades de grande porte.

A ZEA refere-se à porção oeste do território municipal sob influência do ambiente estuarino, tendo como principais características:

- I. extensa malha hídrica, em especial, os cursos d'água dos rios Ipojuca, Merepe, Maracaípe e Sirinhaém;
- II. várzeas, manguezais e áreas remanescentes de mata atlântica;
- III. áreas de proteção ambiental legalmente instituídas:
 - a) APA de Sirinhaém;
 - b) Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) de Nossa Senhora do Outeiro de Maracaípe.

A ZSO corresponde à porção do território definida pela faixa litorânea, caracterizado pela existência de:

- I. núcleos urbanizados;
- II. ecossistema estuarino;
- III. elevada potencialidade turística.

A ZIT corresponde à faixa de terra localizada à beira-mar, e a Zail corresponde às porções do território localizadas próximas dos distritos industriais existentes e projetados.

A ZAP de Suape compreende o território legal do Complexo Industrial Portuário de Suape.

As Zeis correspondem às partes do território que apresentam uma situação de urbanização precária resultante de processos informais de ocupação do solo e da escassez de recursos para investimentos públicos. As áreas classificadas como Zeis no município do Ipojuca são: 1. Zeis Núcleo Urbano de Ipojuca Sede (Campo do Avião/Antônio Dourado Neto, Vila de São Miguel e Capim Verde); 2. Zeis do Núcleo Urbano do Distrito de Nossa Senhora do Ó (Sítio do Nestor); Zeis do Núcleo Urbano do Distrito de Camela (Alto da Caixa d'Água/Alto

da Palmeira), Alto do Cemitério, Alto da Compesa, Socó, Salinas, Pantanal, Maracaípe e Serrambi); 3. Zeis fora dos núcleos urbanos (Rurópolis, Bela Vista e Califórnia).

O efeito imediato do crescimento econômico é o aumento do movimento imigratório e consequente aumento de demanda por moradias. Em decorrência disso, surge no município uma série de projetos habitacionais em zonas de expansão urbana, definidas pela Lei n.º 1490/08 – Plano Diretor do Ipojuca (IPOJUCA, 2008).

Como destaque, citam-se dois grandes projetos que estão sendo implantados neste momento na zona de urbanização preferencial do Distrito Sede:

- I. Reserva Ipojuca – area total: 71,65 há; área construída: 28,87 ha; unidades habitacionais: 4.864. Centro Comercial e de Serviços.
- II. Engenho Trapiche – área total: aprox. 230 ha; unidades habitacionais: 16.000. Centro Comercial e de Serviços

Além desses dois projetos habitacionais, existem projetos de expansão urbana em outros pontos do município (Conjunto Habitacional de Camela e loteamentos em Nossa Senhora do Ó e Litoral).

Apesar dos novos projetos habitacionais e do Plano Diretor do município citado acima, faz-se necessário adaptá-lo à realidade atual e futura do município. O que se observa é a fragilidade institucional do município à medida que não conseguem ter controle das ocupações irregulares pela falta de estrutura de fiscalização. Também não conseguem implementar as diretrizes estabelecidas pelo seu plano diretor, uma vez que esse é o principal instrumento de planejamento urbano. Ao contrário, observa-se uma enorme defasagem entre as diretrizes estabelecidas no zoneamento do município e a realidade encontrada.

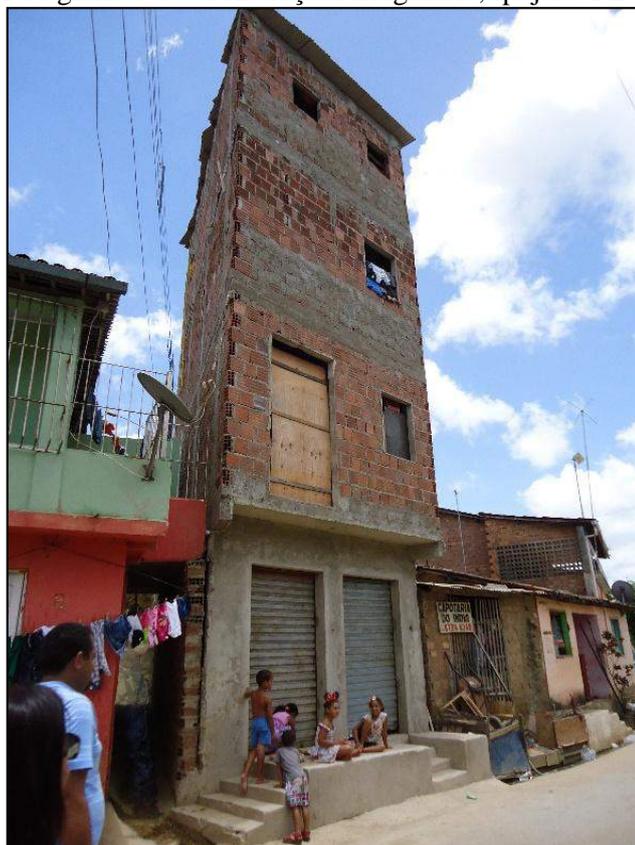
O município não tem nenhum tipo de mapeamento que forneça informações geotécnicas que possam ser utilizadas como ferramenta de auxílio ao planejamento e controle do uso e ocupação do solo. Dessa forma, as normas e diretrizes de uso e ocupação do solo que compõem a lei do Plano Diretor elaboraram-se com base em critérios que não levaram em conta as características geotécnicas dos solos.

A utilização dessas informações básicas como geológicas e geotécnicas, voltadas à caracterização do meio físico, bem como o entendimento das relações entre ocupação desordenada do solo e os riscos associados, tornam-se fundamentais para subsidiar ações de planejamento.

Segundo Mattoso (2013), com o crescimento no número de trabalhadores e operários de Suape, migrados de outras localizações, e a demanda natural por moradia, constrói-se casa de laje sem raízes com a formação cultural, originando habitações quentes de adaptação difícil ao

clima tropical. A falta de mobilidade urbana e de planejamento para atender ao aumento do tráfego de veículos e à demanda de pessoas em busca de moradias tem transformado o município em conglomerado de construções irregulares. A Fotografia 5.4 mostra um modelo de construção irregular.

Fotografia 5.4 – Construções irregulares, Ipojuca-PE



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

De acordo com Silveira (2010), a instalação de Suape não implicou somente expropriações de terra para instalação de indústrias, mas um processo de urbanização acelerado, não planejado, e com fortes consequências ambientais. Resultante desse processo, também se observa a ocupação de novas moradias em áreas antes destinadas à produção agroindustrial canavieira, sem que tenha sido planejada essa expansão urbana.

A Fotografia 5.5 mostra esse processo no município de Ipojuca totalmente resultante de uma ação informal.

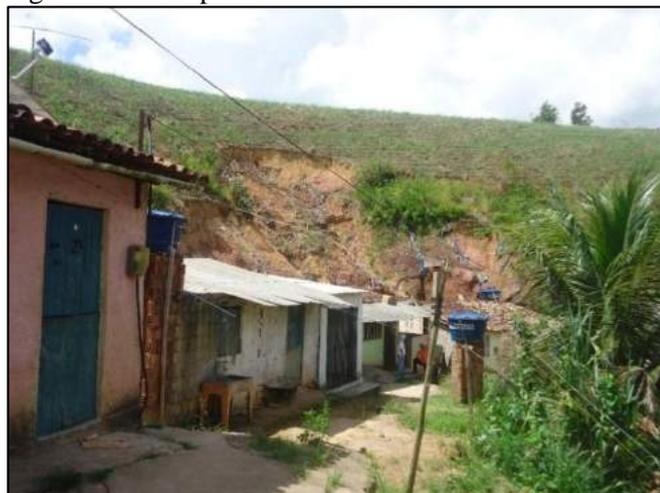
Fotografia 5.5 – Área destinada à produção agroindustrial, Ipojuca - PE



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

A falta de capacidade do município na promoção de uma política habitacional tem promovido um crescente número de ocupações espontâneas, justificado pela proximidade do trabalhador ao local de trabalho, pela valorização do solo na região, pela expropriação, o que torna inacessível às camadas populares; sobretudo, associado à incapacidade do Estado em atender à demanda de moradias. O que levou a população, principalmente a de baixa renda, a ocupar áreas extremamente problemáticas, tais como áreas propícias ao desenvolvimento de deslizamentos (Fotografia 5.6) ou erosões intensas, áreas sujeitas a inundações, terrenos capazes de desenvolver subsidências e colapsos como planícies de inundação e encostas de morros (Fotografia 5.7).

Fotografia 5.6 – Ocupações espontâneas em áreas antes destinadas à produção agroindustrial apresentando área de risco de deslizamentos, Ipojuca-PE



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Fotografia 5.7 – Ocupações espontâneas em áreas planícies de inundação e encostas de morros, Ipojuca-PE



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Em 2011, publicou-se o novo Plano Suape 2030, Decreto n.º 37.160, de 23 de setembro de 2011, que estabelece no seu zoneamento áreas de proteção ambiental, industrial e portuária, bem como as condições de uso, ocupação e parcelamento do solo do espaço territorial de Suape (PERNAMBUCO, 2011). Estabelece também que o Território Estratégico de Suape será formado pelos municípios de Cabo de Santo Agostinho, Ipojuca, Jaboatão dos Guararapes, Moreno, Escada, Ribeirão, Sirinhaém e Rio Formoso. Propõe apoiar às prefeituras do Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca na revisão das Leis de Uso e Ocupação do Solo, de Parcelamento e edificações, assegurando compatibilidade dos parâmetros urbanísticos definidos pelo instrumento normativo do novo plano diretor de Suape.

O artigo 12 trata do zoneamento ambiental, industrial e portuário do espaço territorial de Suape e tem por objetivo regular o parcelamento, uso e ocupação do seu solo, estabelecendo as condições para autorização dessas modalidades de intervenção segundo as diferentes características de seu sítio natural e construído. Assim, subdivide-se em oito zonas (Figura 5.5).

I - Zona Industrial Portuária (ZIP)

II - Zona Industrial (ZI)

III - Zona Central de Serviços (ZCS)

IV - Setor Especial de Habitação de Interesse Social (SEHIS)

V - Zona de Preservação Ecológica (ZPEC)

VI - Setor Especial Ambiental (SEA)

que as áreas de preservação sejam recuperadas. Contempla, ainda, o diagnóstico da Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH) para conservação de matas e contrapartida das intervenções que precisaram suprimir a vegetação. Outra grande novidade é que o novo plano ZPEC, que era de 48% da área total, passou para 59% a partir da incorporação de novas áreas onde há cultivo de cana. Mudança em relação ao plano anterior é a criação da ZCS que terá um bairro planejado com 200 hectares, com edifícios comerciais, clínicas, hotéis e centro de convenções, e trata de questões como a Mobilidade e Acessibilidade, Regulamentação Ambiental, Situações Especiais, Gestão e o Licenciamento Ambiental e Urbanístico.

5.5 REVISÃO DO PLANO DIRETOR ATUAL

O município está revendo e atualizando seu Plano Diretor para acompanhar adequadamente seu crescimento rápido e desordenado. O Plano Diretor atual não acompanhou as transformações impulsionadas por Suape. Ipojuca faz parte do cadastro nacional de municípios com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos. Segundo a Lei n.º 12.608/12, ao incluir essa disposição no artigo 41 da Lei n.º 10.257/01, os Planos Diretores dessas cidades, como estabelece o artigo 42-A, inciso II, da Lei n.º 10.257/01, devem conter mapeamento com as áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos, levando-se em conta as cartas geotécnicas como dispõe o artigo 42-A, § 1.º da Lei n.º 10.257/01.

Existe uma grande expectativa de que o município incorpore adequadamente a Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização nesse novo Plano Diretor, considerando os aspectos geológico-geotécnicos do meio físico, contribuindo na identificação de possíveis áreas de risco em função de uma possível alteração do meio físico. Além dessa carta, o município pode contar também com as cartas geotécnicas de 1:10.000 (perímetro urbano e de expansão urbana) e os mapas de suscetibilidade, vulnerabilidade e de risco a movimento de massa e inundações em escala de detalhe nas áreas ocupadas. Esses produtos foram elaborados pelo Gegep com parcerias com o Midades (Carta Geotécnica) e Ministério da Integração (Mapeamento de Risco). Além dos mapas temáticos (uso e ocupação, zoneamento ambiental, etc.).

6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E ETAPAS DA PESQUISA

Conforme visto na seção 4, existem várias metodologias de mapeamento geotécnico ligadas ao planejamento urbano. A elaboração da carta geotécnica pode realizar-se de acordo com diversas abordagens. Existe uma convergência entre as diversas metodologias quanto à aplicação do critério de Sistemas de Terreno para a compartimentação das unidades homogêneas. Há, basicamente, três direções metodológicas para se chegar às Unidades de Terreno (UT): por células em uma malha quadrada; por sobreposição de mapas temáticos e por unidades de mapeamento de terrenos (análise integrada). A Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização do município do Ipojuca-PE na escala de planejamento (1:25.000) foi desenvolvida pelo Gegep-LABRRID/UFPE por Coutinho (2014). Sendo assim, esta pesquisa é parte dessa carta e teve como objeto principal contribuir na sua elaboração.

A principal diferença entre o método trabalhado no projeto (COUTINHO, 2014) e o apresentado na presente tese consiste em maior revisão bibliográfica, que apresenta uma abordagem teórica dos principais temas que embasaram a pesquisa, seções 2, 3 e 4, o melhoramento na qualidade de informações geotécnicas das unidades de terreno com a elaboração de um banco de dados de sondagens (SPT e rotativas), com um conjunto de mais de 500 boletins de sondagens, informações de perfil de reconhecimento de solos e poços tubulares (seção 6.8) e ensaios de caracterização geotécnica. Além da caracterização geotécnica da Unidade de Terreno com a utilização do banco de dados de sondagens, foi dado também maior detalhamento na Formação Cabo (seção 7.1). Outra importante contribuição deste trabalho foi a Elaboração do mapa de zoneamento para o aproveitamento de agregados para a construção civil para o município (seção 6.10.3). Em continuidade dos trabalhos do Gegep, dissertações de mestrado foram desenvolvidas buscando estudos de detalhes em áreas geológico-geotécnicas apropriadas. A tese utilizou dados dessas pesquisas complementares. Assim, a metodologia para elaboração da carta geotécnica de aptidão do município do Ipojuca desenvolveu-se em quatro etapas.

A primeira consiste na organização e elaboração de documentação cartográfica e demais materiais para a elaboração da carta geotécnica – revisão bibliográfica, reuniões, inventário, levantamento de campo, elaboração do sistema para disponibilização dos dados, reestruturação da base cartográfica na escala 1:25.000, elaboração do inventário, elaboração dos mapas básicos e a caracterização geotécnica das unidades de terreno com a criação do banco de dados de sondagens e os resultados dos ensaios de caracterização geotécnica.

Na segunda etapa, iniciou-se o processo de divisão da área em diversas unidades em função das características dos componentes do meio físico analisado, gerando o Mapa de Unidades de Terreno (UT) por meio da aplicação da Metodologia Gegep-UFPE, com a sobreposição e cruzamentos das informações construídas na etapa 1.

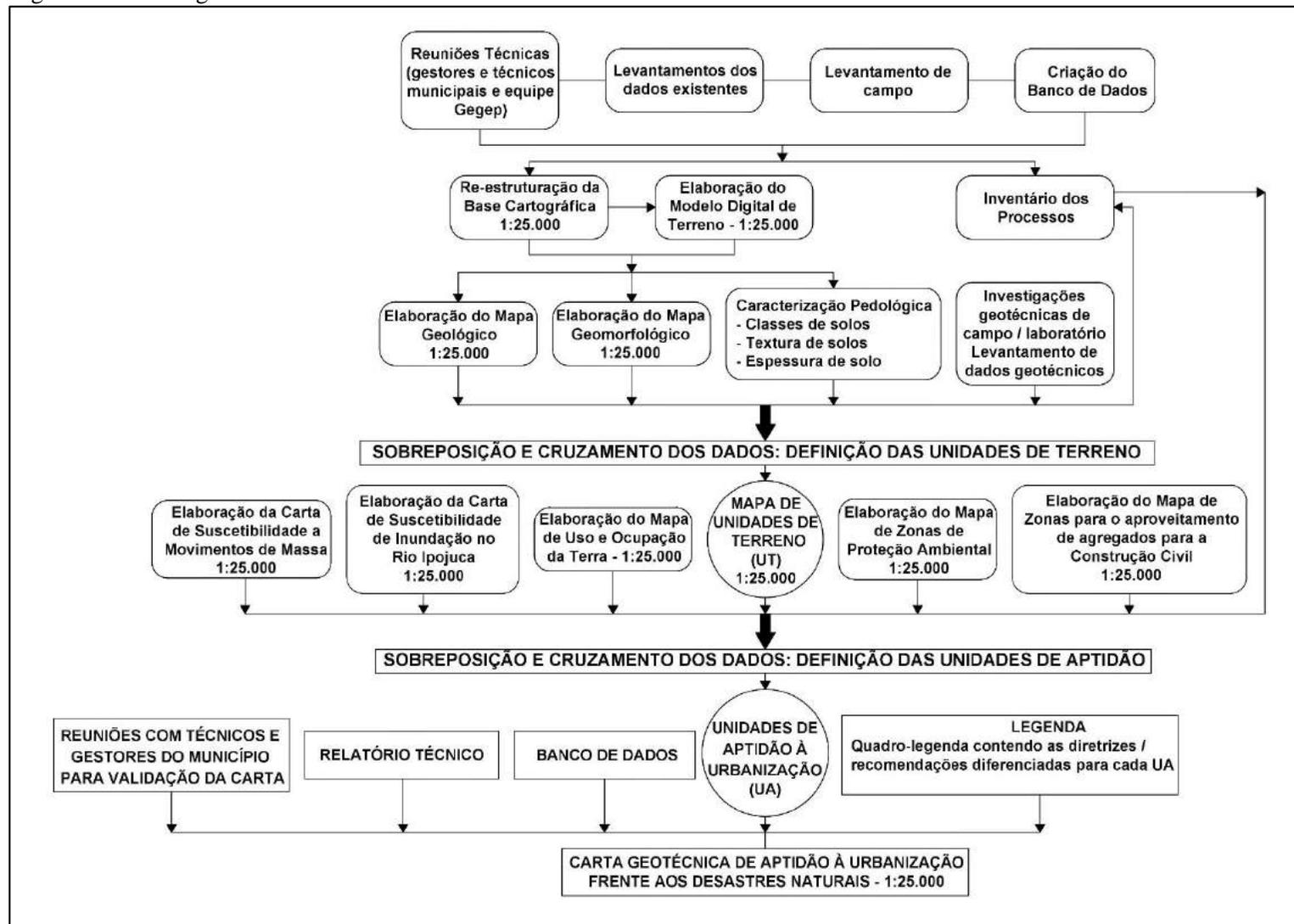
A terceira etapa relaciona-se com a elaboração dos mapas temáticos (uso e ocupação da terra, zonas de proteção ambiental e zonas para o aproveitamento de agregados) e cartas de suscetibilidade a movimentos de massa e inundação, todos na escala de planejamento. Todas essas etapas tiveram como objetivo a preparação dos dados e a estruturação dos meios (sistemas e recursos) a serem utilizados na etapa final do trabalho (etapa 4), na qual foi elaborada a Carta Geotécnica de Unidade de Aptidão à Urbanização (UA), na escala de planejamento com a sobreposição e cruzamentos dos resultados obtidos na etapa 2 e 3. Essa carta conta com um quadro-legenda contendo três classes principais de aptidão à urbanização (alta – vermelho; média – laranja e amarelo; e baixa – verde), subdivididas conforme as restrições, uma descrição sucinta das unidades de aptidão, os tipos de processos geodinâmicos, diretrizes/recomendações diferenciadas para cada unidade de aptidão em função dos principais processos encontrados no município, relatório técnico e o banco de dados para armazenamento e processamento dos dados.

Nas etapas de 1 a 3 serão apresentadas, resumidamente, as principais metodologias abordando os aspectos e os temas que auxiliarão na melhor compreensão do assunto tratado nessas etapas. Serão apresentados nessa seção os resultados em forma de documentos cartográficos.

Nas etapas 2 e 4, serão apresentadas uma síntese da metodologia aplicada para a elaboração das UT e UA, e os resultados serão apresentados na seção 7 – Resultados Obtidos e Discussão.

A sequência geral das etapas de trabalho desenvolvidas simultânea ou sucessivamente no presente estudo encontra-se representada no fluxograma apresentado na Figura 6.1.

Figura 6.1 – Fluxograma do método de trabalho



Fonte: Coutinho (2014).

6.1 REUNIÕES TÉCNICAS

Realizaram-se várias reuniões com a prefeitura, pesquisadores, alunos de graduação e pós-graduação com vários objetivos, dentre eles: identificar os principais processos relativos ao meio físico do município, integrar a equipe do Gegep com gestores e técnicos das diversas secretarias do município e trocar experiências com as diversas áreas de conhecimento envolvidas no trabalho (Fotografia 6.1).

Fotografia 6.1 – Reunião técnica da equipe do Gegep com gestores e técnicos da prefeitura do Ipojuca



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

6.2 LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES EXISTENTES

Na fase de inventário, além da pesquisa bibliográfica sobre o tema proposto, foram levantados todos os dados existentes na Prefeitura Municipal de Ipojuca, órgãos públicos, universidades e empresas de engenharia com o intuito de montar uma base de informações referente ao meio físico local. Nesta etapa foram também levantadas as restrições legais que recaem sobre a área municipal, tais como Áreas de Proteção Permanente (APP), Áreas de Proteção Ambiental (APA), delimitação de Áreas de Expansão Urbana, etc.

Os principais órgãos levantados e os documentos adquiridos estão apresentados no Quadro 6.1.

Quadro 6.1 – Locais visitados pela equipe e documentos adquiridos no levantamento de dados existentes
(continua)

Orgãos	Documentos adquiridos
CONDEPE/FIDEM	<p>i. CARTAS TOPOGRÁFICAS DA SUDENE <u>Escala 1:100.000;</u> Equidistância das Curvas de Nível 50 m; Informações Planialtimétricas; Anos 1970 e 1971; Formatos: dwg e tif; Cobertura municipal 100%.</p> <p><u>Escala 1:25.000</u> Equidistância das Curvas de Nível 10 m; Informações Planialtimétricas; Anos 1970 e 1971 - atualização e digitalização realizada pelo Itep; Formato tif; Cobertura municipal 100%.</p> <p>ii. ORTOFOTOS <u>Escala 1:10.000;</u> Equidistância das Curvas de Nível 5 m; Informações Planialtimétricas; Anos 1973 e 1984; Formatos: dwg e tif; Cobertura municipal 65%.</p> <p><u>Escala 1/5.000;</u> Equidistância das Curvas de Nível 5 m; Informações Planialtimétricas; Ano 2006; Formatos dwg e tif; Cobertura municipal em torno de Suape.</p> <p><u>Escala 1:2.000</u> Equidistância das Curvas de Nível 2 m; Informações Planialtimétricas; Anos 1973 e 1984; Formatos dwg e tif; Cobertura municipal 30%.</p> <p>iii. UNIBASE Escala 1:1.000; Informações Planimétricas; Ano 1997; Formato dwg; Cobertura municipal área urbana de Ipojuca, Camela, litoral (Porto de Galinhas).</p> <p>iv. PRODUTOS DE IMAGENS DE SATÉLITE (ortoretificadas) <u>QuickBird Multiespectral</u> Escala 1:10.000; Informações Planimétricas; Anos 2005 e 2006; Formato tif; Cobertura municipal 100%.</p>

Quadro 6.1 – Locais visitados e documentos adquiridos no levantamento de dados existentes

(continuação)

	<p><u>QuickBird Pancromática</u> Escala 1/10.000; Informações Planimétricas; Ano 2010;</p> <p>Formatos tif (imagem); Cobertura municipal 100%; Vetorização da QuickBird Pancromática; Escala 1:10.000; Informações Planimétricas; Ano 2010; Formatos dwg (vetorial); Cobertura municipal 100%.</p>
COMPESA	<p>PLANTAS CADASTRAIS PLANIALTIMÉTRICAS Escala 1/1.000; Equidistância das Curvas de Nível 2 m; Informações Planialtimétricas; Anos 1973 e 1997; Formato dwg; Cobertura municipal área urbana de Ipojuca, Camela, litoral (Porto de Galinhas).</p>
SUAPE	<p>RECOBRIMENTO AEROFOTOGRAFÉTRICO E PERFILAMENTO A LASER. Área de Cobertura: 225 km² em Suape, porém a área abrangida de interesse é de 100,84 km²; Voo (Escala): 1:5.000; Ortofotos (Resolução Espacial): 10 cm; Restituição (Escala): 1:1.000; Empresa Executora: Geomensura Engenharia e Aerolevantamentos Ltda.</p>
IMAGENS DE SATÉLITE	<p>MOSAICO WORDVIEW 2 Mosaico não ortorretificado; Área de Cobertura: 225 km²; Resolução Espacial: 2,0 m; Ano: 2011-2012; Empresa fornecedora: Fotogeo Tecnologias em Geoprocessamento.</p>
PREFEITURA DE IPOJUCA	<p>I. PLANO DIRETOR DO MUNICÍPIO DE IPOJUCA Cartas Temáticas Diversas; Escala 1:75.000; 1:10.000, 1:7.000 e 1:175.000; Equidistância das Curvas de Nível 10 metros; Anos 1970 e 1971 (curvas de nível, cartas 1: 25.000) /Unibase (1997); Formatos: dwg e tif; Cobertura municipal 100%; Obs.: Base cartográfica destes mapas são híbridas, elaboradas provavelmente pelas cartas topográficas da Sudene na escala 1: 25.000, cartas da Compesa e a Unibase da Fidem (1:1.000).</p> <p>II. PLANO MUNICIPAL DE REDUÇÃO DE RISCO (PMRR)</p>

Quadro 6.1 – Locais visitados e documentos adquiridos no levantamento de dados existentes

(conclusão)

<p style="text-align: center;">CPRM - Serviço Geológico do Brasil</p>	<p>I. VOO AEROFOTOGRAFÉTRICO VASP NO ANO 1970 E ESCALA 1: 30.000, COBRE TODO MUNICÍPIO.</p> <p>II. MAPA GEOLÓGICO - ESCALA: 1:500.000 (2001) E MAPA DE GEODIVERSIDADE DO ESTADO DE PERNAMBUCO - ESCALA: 1:500.000 (2010).</p> <p>Equidistância das Curvas de Nível 50 m; Formatos: pdf e shapefile; Cobertura municipal 100%; Obs.: A base cartográfica planimétrica presente no banco de dados destes mapas, obtido no site da CPRM refere-se à base 1:250.000 disponibilizada pelo IBGE. Consta neste banco de dados os seguintes arquivos no formato .shp: Altimetria – 50 m; Áreas protegidas especiais – áreas indígenas, UC, Reservas; Áreas de relevante interesse mineral; Atrativos geoturísticos; Compartimentos de Relevo; Dados Hidrográficos – pluviométricos, fluviométricos, qualidade da água; Desertificação; Domínios Hidrogeológicos – Poços; Estrutural; Fernando de Noronha; Geodiversidade; Hidrografia; Infraestrutura; Limites Administrativos; Linhas Transmissão; Planimetria; Risco Geológico; Solos - Bastante generalizado - Grandes unidades de solos; Territórios Cidadania - Limite das mesorregiões; Limite municipais com informações socioeconômicas (tabela de atributos).</p>
--	--

Fonte: Coutinho (2014).

6.3 LEVANTAMENTO DE CAMPO

Pela extensão da área de interesse (527 km²) de todo o município, da escala adotada para o trabalho (1:25.000) e da finalidade do trabalho (como subsídio ao planejamento urbano), realiza-se uma série de visitas a campo, com vários objetivos e nas várias etapas do trabalho. A primeira delas foi para a identificação dos principais processos do meio físico responsáveis por desastres naturais na área urbana do município, com o acompanhamento da equipe do Gegep e representantes da Prefeitura do Ipojuca e da Defesa Civil (Fotografia 6.2). As demais visitas voltaram-se para a construção da base cartografia, mapas e cartas, descrição dos perfis geológico-geotécnicos, escolha dos locais a serem amostrados, coletas de amostras para ensaios de caracterização, acompanhamento de sondagens, entrevistas com moradores e técnicos da região, verificação das informações levantadas no laboratório nas fotografias aéreas e validação

dos resultados (Fotografia 6.3). O procedimento detalhado de cada uma dessas etapas será descrito mais adiante. Os campos acima apresentados realizaram-se em conjunto com a equipe do Gegep.

Fotografia 6.2 – Identificação dos processos do meio físico na área urbana de Ipojuca, Equipe Gegep e Prefeitura



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Fotografia 6.3 – Descrição de perfis de alteração, coletas de amostras para ensaios de caracterização, acompanhamento de sondagens, Ipojuca-PE



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

6.4 ELABORAÇÃO DO SISTEMA PARA DISPONIBILIZAÇÃO DOS DADOS

Uma vez efetuado parte do levantamento das informações existentes do município e o início dos trabalhos de campo para os mapeamentos, tornou-se prioridade promover a reunião das informações e disponibilizá-las de forma clara e objetiva. Nesse propósito, foi elaborado um banco de dados geográficos utilizando o software ArcGIS10.1, disponível no LABRRID/UFPE. Foram realizadas conversões e/ou adequações de arquivos digitais que, a

princípio, estavam em sistema de referência diferente do oficial brasileiro – SIRGAS 2000 (HOHL, 1998).

Essa etapa consistiu na aplicação de um conjunto de técnicas voltadas à manipulação de imagens digitais (dados matriciais), mapas temáticos (matriciais e vetoriais) georreferenciados, no sentido de facilitar a extração de informações, sobreposição e cruzamento das informações temáticas de forma a se obter uma compartimentação. As técnicas de processamento digital possibilitaram a integração de diferentes tipos de dados (vetoriais e matriciais) por meio da análise integrada. Para elaboração do banco de dados georreferenciados, definiu-se como referencial o *datum* SIRGAS 2000 – UTM Zona 25. Adotando-se os padrões da Infraestrutura Nacional dos Dados Espaciais (INDE) e as normas da Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR).

Além dos dados anteriores foram armazenados neste banco de dados informações sobre sondagens (SPT e rotativas), investigações de perfis de solos, georreferenciados em campo com auxílio de um Global Position System (GPS) de navegação. Dentre os atributos do banco de dados, constam a caracterização física, os ensaios de resistência ao cisalhamento e mineralogia.

6.5 REESTRUTURAÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA ESCALA 1:25.000

A elaboração de uma boa Carta Geotécnica passa, primeiro, pela necessidade de se construir uma base cartográfica de elevada qualidade, contendo informações geográficas detalhadas e precisas, que retratem com fidelidade a superfície topográfica da região a ser estudada.

O Brasil, principalmente a região Nordeste, carece de boa cartografia. Em geral, esse importante instrumento de apoio ao gestor moderno, especialmente de grandes cidades, é bastante defasado ou até inexistente. Quando existe, o acervo cartográfico é da década de 1970. O esforço para atualizar essas bases antigas é enorme, e na maioria das vezes é impossível gerar uma base cartográfica digital de precisão, notadamente porque no passado a tecnologia utilizada para a geração dos mapas era completamente distinta da atual, principalmente na precisão dos equipamentos de aquisição de dados ou elementos cartográficos do terreno. Utilizavam-se, também, outros referenciais geodésicos (modelo da forma da Terra e seus parâmetros), que foram mudando ao longo do tempo e, muitas vezes, há dificuldades no reestabelecimento do modelo de origem para transportá-lo à nova referência geodésica de mapeamento.

O acervo cartográfico do município do Ipojuca no período de realização deste trabalho era formado, basicamente, por: carta topográfica da Superintendência do Desenvolvimento do

Nordeste (Sudene) na escala 1:100.000; vetorização da carta topográfica da Sudene 1:100.000 (1970 e 1971); carta topográfica da Sudene na escala 1:25.000 (1970 e 1971); Ortofocarta na escala 1:10.000 (1973 e 1984); Imagens de satélite QuickBird Pancromática (2010), QuickBird Multiespectral (2005 e 2006), Vetorização da QuickBird Pancromática (2010); Plano Diretor Participativo do município de Ipojuca (Unibase 1997).

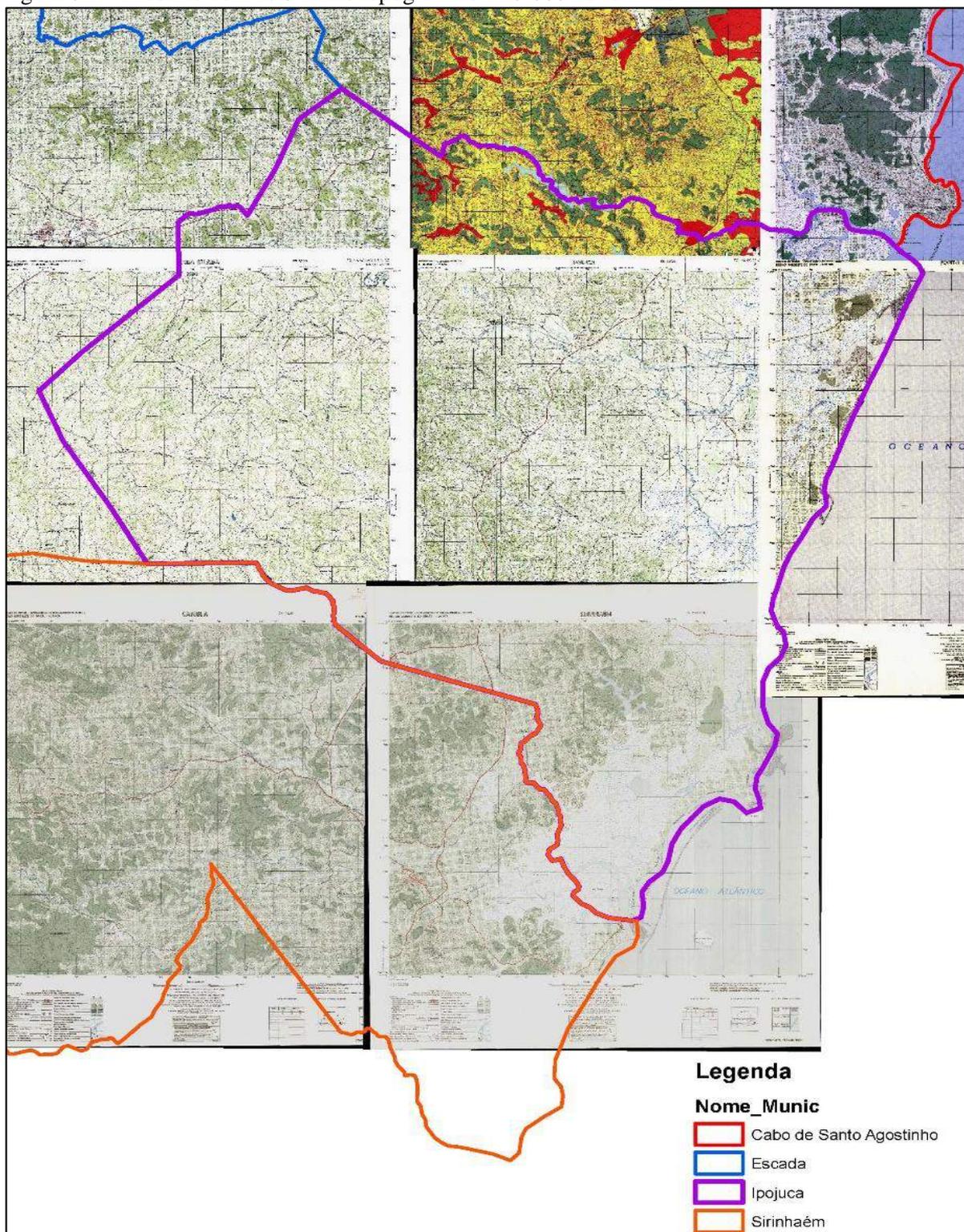
Atualmente, o Governo do Estado, por meio da Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos, criou o Programa Pernambuco Tridimensional. Esse programa teve início em janeiro de 2014 e encontra-se em fase de conclusão. O objetivo desse projeto foi o recobrimento aerofotogramétrico e perfilamento a laser de todo o território pernambucano por meio de recobrimento aerofotogramétrico na escala 1:5.000. Esses documentos gerados serão ferramentas primordiais para a gestão e o planejamento territorial no estado de Pernambuco, contribuindo para os estudos de detalhe de diversas áreas importantes para o estado.

6.5.1 Mapa altimétrico na escala 1:25.000 de todo o município de Ipojuca

A reestruturação da base cartográfica foi produzida por meio da digitalização de oito cartas topográficas, abrangendo todo o município de Ipojuca, cuja área é de 532,25 km², tendo como fontes para digitalização as folhas topográficas da Sudene produzidas em 1970-1972: Santo Agostinho – SC-25-V-A-III-3-NO, Ponta da Gambôa – SC-25-V-A-III-3-SO, Cabo – SC-25-V-A-II-4-NE, Ipojuca – SC-25-V-A-II-4-NE, Escada – SC-25-V-A-III-3-NO, Pedra Selada – SC-25-V-A-II-4-SO, Camela – SC-25-V-A-V-2-NO e Sirinhaém – SC-25-V-A-VI-1-NO E SC-25-V-A -V-2-NE, adquiridas na Agência Condepe-Fidem na escala 1:25.000, contendo as curvas de nível, pontos cotados e a hidrografia na área estudada ilustradas na Figura 6.2.

Esses documentos cartográficos não estavam em meio digital. Inicialmente, fez-se necessário digitalizar matricialmente os originais cartográficos, e não as cartas impressas em papel normal. Esse processo passa a converter o meio analógico para o meio digital realizado por meio do escaneamento de todo o conjunto de originais das cartas topográficas. Finalizada essa etapa, obtém-se o conjunto de cartas em formato matricial (raster) que necessitou em seguida ser vetorizada.

Figura 6.2 – Mosaico com as 8 cartas topográficas 1:25.000 no formato matricial



Fonte: Coutinho (2014).

Para execução da vetorização, foi necessário realizar o georreferenciamento de cada carta em que é definido o sistema de projeção e o sistema de referência geodésico (datum horizontal). Após o georreferenciamento, passou-se à mosaicagem do conjunto das cartas que é realizado

em um módulo ou funcionalidade específica de um software de cartografia, cujo processo exige ainda um controle de qualidade nas emendas das cartas que geralmente exige cuidados específicos e ajustes pós-processamento. Esse controle de qualidade garante o sucesso da continuidade adequada dos elementos vetoriais que se localizam nas junções entre as cartas.

O controle de qualidade na mosaicagem e no georreferenciamento que antecede a vetorização considerou o valor resultante do erro médio quadrático do processo de georreferenciamento, o qual deve ser menor do que 1 pixel, e a resolução de escaneamento deverá ser de mínimo 0,3 mm x a escala da carta e a análise detalhada de áreas de junções entre as cartas.

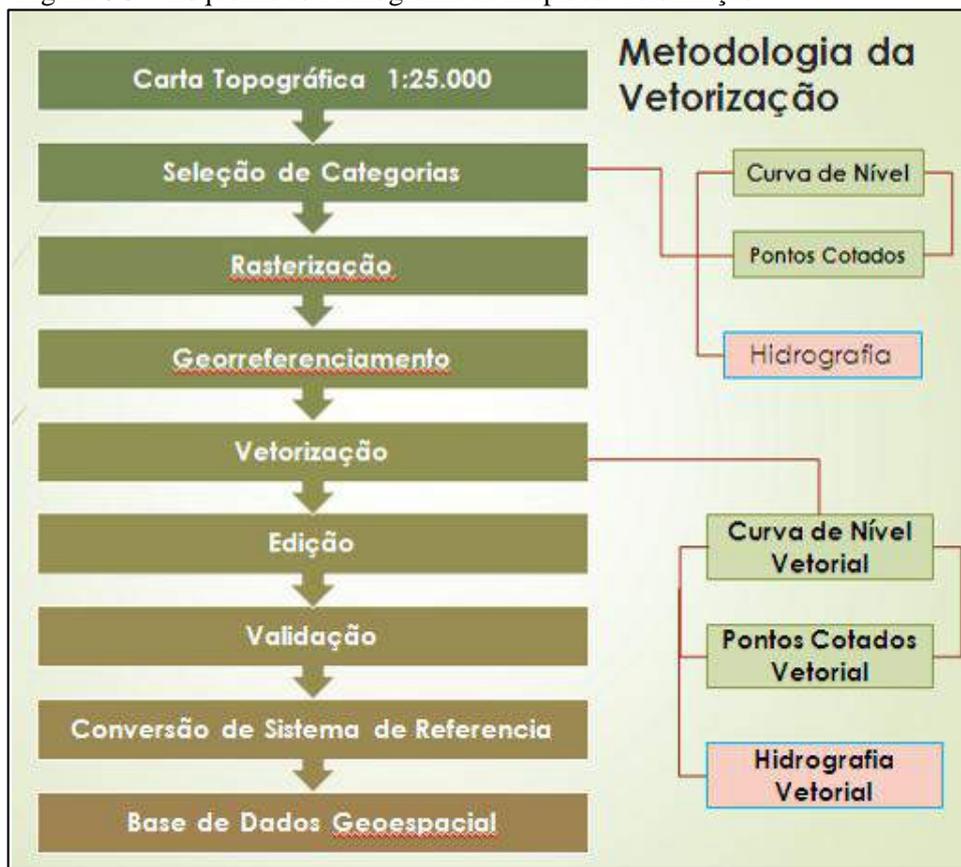
Inicialmente, faz-se necessário digitalizar matricialmente os originais cartográficos, e não as cartas impressas em papel normal. Em seguida, foi georreferenciada cada carta topográfica e definidos seu sistema de projeção e o datum horizontal. Na vetorização, foram selecionadas oito categorias de informações, para cada carta topográfica, correspondendo aos seguintes arquivos vetoriais:

- i. Hidrografia (hd).
- ii. hipsográfica (hp).
- iii. Sistema viário (sv).
- iv. Localidade (lc).
- v. Obra e edificação (oe).
- vi. Ponto de referência (pr).
- vii. Limite (lm).
- viii. Vegetação (vg).

É importante ressaltar que a vetorização adotada nessa metodologia, seguirá a Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV) da Inde. Também são considerados alguns elementos de controle de qualidade, como o controle do erro médio quadrático do georreferenciamento, o qual deve ser menor do que 1 pixel, e a resolução de escaneamento deverá ser de, no mínimo, 0,3 mm x a escala da carta.

A Figura 6.3 ilustra o fluxograma das principais etapas da vetorização, utilizando para tanto o Software ArcGIS 10.1.

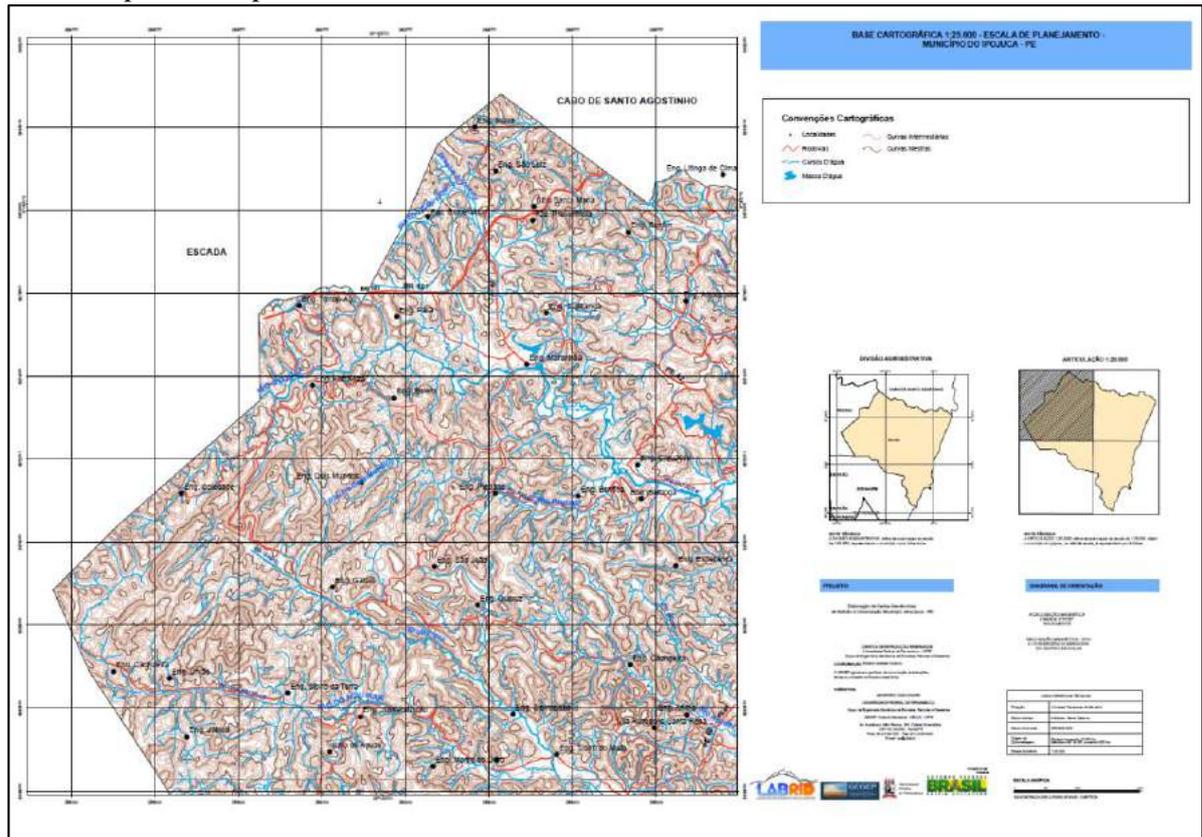
Figura 6.3 – Esquema do Fluxograma da Etapa de Vetorização



Fonte: Coutinho (2014).

A Figura 6.4 apresenta a base planialtimétrica na escala 1:25.000, já na configuração do layout proposto pela equipe de cartografia.

Figura 6.4 – Carta da Base Planialtimétrica na escala 1:25.000, mostrando a articulação que será utilizada para os mapas nesta escala



Fonte: Coutinho (2014).

6.5.2 Banco de dados geoespacial altimétrico e controle de qualidade dos dados de todo o município de Ipójuca 1:25.000

Finalizado o processo de vetorização das curvas de nível com seu atributo altitude e dos pontos cotados do total da área do município de Ipójuca, obteve-se um banco de dados estruturado com o padrão da Inde, seguindo a ET-ADGV. Nessa etapa, realizou-se uma análise de qualidade topológica das curvas de nível e pontos cotados em relação à hidrografia, levando em consideração a lei do modelado do terreno.

A cada feição vetorizada, deve ser controlada a sua continuidade de cota altimétrica, a sua unicidade, a distância mínima entre os elementos, evitando sobreposições entre os elementos, a sua completude dos elementos vetorizados em relação aos elementos da carta topográfica de origem; consistência de atributos que correspondem aos valores de cota altimétrica de cada curva de nível e de cada ponto cotado adquirido, consistência lógica topológica e geomorfológica, que consiste em verificar se a modelagem altimétrica e sua formato obedece à modelagem física do terreno quando próximos ou coincidentes com

elementos hidrográficos. Uma vez verificados todos esses elementos é validado o seu banco de dados que corresponde à base de dados geoespacial.

A etapa seguinte de trabalho trata da atualização dos dados planimétricos para a geração do mapa planialtimétrico proposto.

6.5.3 Mosaico com resolução 0,60 metros das imagens QuickBird

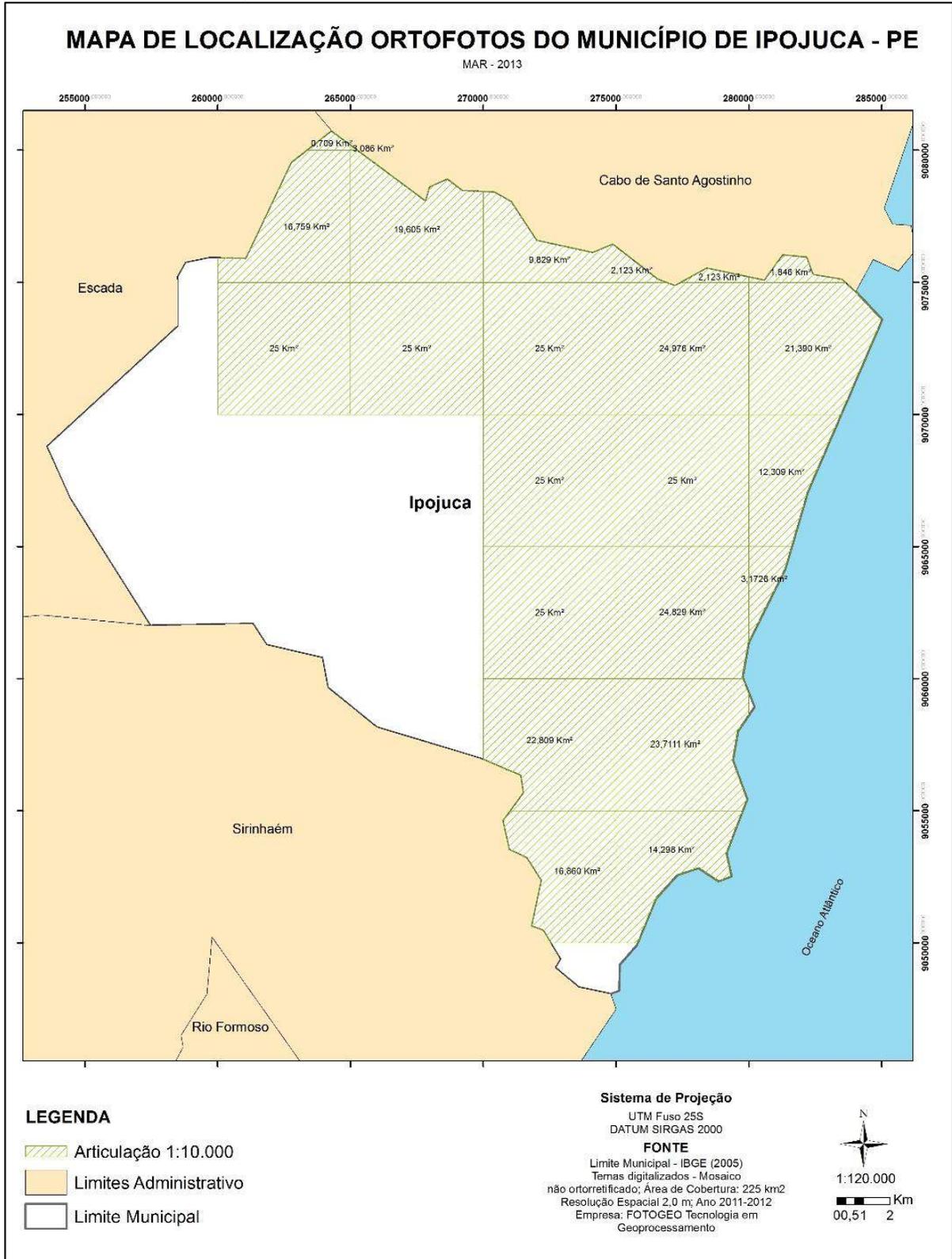
Para iniciar o processo de aquisição das feições vetoriais de hidrografia e de sistema viário atualizados do município de Ipojuca, foram utilizadas imagens de satélite QuickBird de 2005-2006. Nesse processo foi necessária a geração de um mosaico do conjunto de imagens existentes do município, que consistiu na sobreposição dessas imagens com uma mesma área geográfica, de modo que os pontos das imagens que correspondem ao mesmo objeto de uma cena coincidam espacialmente e sejam fundidas digitalmente. Os principais aspectos do processo de mosaicagem com qualidade é a técnica de normalização de imagens para uniformizar a cor da imagem e a técnica de combinação de imagens e junção dos detalhes comuns do conjunto de imagens adjacentes. O mosaico gerado em questão é originado das 38 imagens ortorretificadas dos produtos da fusão das bandas multiespectrais (resolução espacial de 2,4m) com a pancromática (resolução espacial de 0,6m) do satélite Quickbird adquiridas em 2005-2006. O resultado é uma imagem ortorretificada mosaicada de todo o município de Ipojuca. As imagens ortorretificadas estavam referenciadas ao SAD 69 e foi projetado para SIRGAS 2000.

6.5.4 Mapa Planialtimétrico 1:25.000 de todo o município de Ipojuca

A composição do mapa altimétrico na escala 1:25.000 com o mapa planimétrico 1:10.000, Ortofoto cartas (Figura 6.5), foi necessária para a obtenção de feições de hidrografia e sistema viário atualizado para anos mais recentes. Para obter esse produto, é necessário aplicar a generalização cartográfica nos dados 1:10.000 por causa da redução de escala para 1:25.000. Nesse caso, são selecionadas, classificadas e padronizadas as feições cartográficas que sofrerão simplificações, combinações, exageros, redução ou eliminações gráficas para compatibilizar os detalhes 1:10.000 para 1:25.000.

O sucesso da generalização cartográfica é conhecer e selecionar os objetos levando em conta a hierarquia de importância, seguido de outro processo, no qual ocorrem simplificações de forma e estrutura que devem adequar a resolução da escala de origem cartográfica.

Figura 6.5 – Mapa Síntese do Acervo de Ortofoto cartas 1:10.000, equivalente a 365,27 km², restando 160,94 km² de vazio cartográfico na escala 1:10.000.

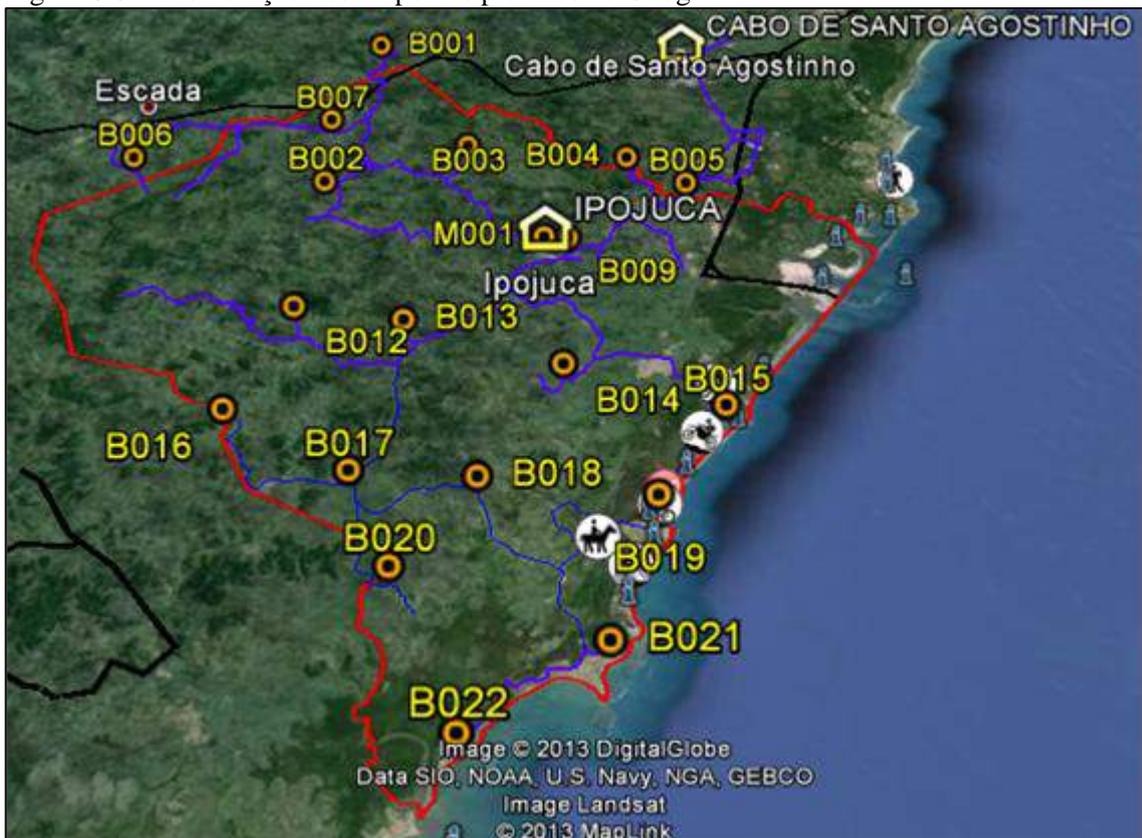


Fonte: Coutinho (2014).

6.5.5 Pontos de controle e georreferenciamento para o mapeamento – escala 1:25.000

Foram levantados e medidos em campo 22 pontos (Figura 6.6) com a finalidade específica de georreferenciamento e de controle. O objetivo dessa atividade é a obtenção de coordenadas planimétricas no terreno e identificáveis na carta. Nessa etapa são produzidos os processamentos dos dados coletados e o resultado do processamento. Esses pontos foram utilizados para o ajustamento de todas as bases cartográficas de modo que fossem compatibilizados todos os mapas em um único sistema de referência.

Figura 6.6 – Distribuição dos 22 pontos plotados no Google Earth



Fonte: Coutinho (2014).

Simultaneamente ao levantamento dos pontos, foram geradas monografias para os 22 pontos de controle e de georreferenciamento. A monografia de pontos medidos tem o objetivo de descrever a localidade nas quais os pontos foram posicionados. Contém o croqui de localização do ponto e o memorial descritivo, que descreve o acesso ao ponto. Também são apresentadas as coordenadas obtidas da medição em campo, precisão obtida e fotografias da região, conforme a Figura 6.7.

Figura 6.7 – Exemplo de monografia dos pontos

MONOGRAFIA DE VÉRTICE GPS						
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO – UFPE						
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA						
PROJETO: CARTA GEOTECTÔNICA		MUNICÍPIO: IPOJUCA		ESTADO: PERNAMBUCO		
MATERIALIZADO:	SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input checked="" type="checkbox"/>	Identificação Ponto: B012		DATA: 26 de Abril de 2013		
BASE UTILIZADA: M001	DATUM: SIRGAS 2000		PROJEÇÃO: UTM			
EQUIPAMENTO UTILIZADO: TOPCON HIPER LITE+	ACHATAMENTO: 298,257222101		ZONA: 25 S			
INICIO DA OCUPAÇÃO: 17:14h	UNIDADE DE MEDIDA: Métrica		MC = -33°			
TÉRMINO DA OCUPAÇÃO: 17:46h	FATOR DE ESCALA: 1,000000		MODELO GEODAL: MAPGEO2010			
ALTURA ANTENA (m): 1,550	SEMI EIXO MAIOR: 6378137000 M		ITRF: 2000 EPOCA 2000.4			
COORDENADAS						
GEODESICAS			UTM			ALT. ORTOMETRICA (m)
PONTO	LATITUDE	LONGITUDE	ALTURA ELIP.	NORTE (m)	ESTE (m)	
B012	-8°26'50,10361"	-35°08'10,28740"	22,337	9065613,018	264804,684	28,017
DESCRIÇÃO: O PONTO FOI COLETADO NAS INTERSEÇÕES DOS EIXOS DAS ESTRDAS.						
LOCALIZAÇÃO						
FOTOGRAFIA 1			FOTOGRAFIA 2			
FOTOGRAFIA 3						

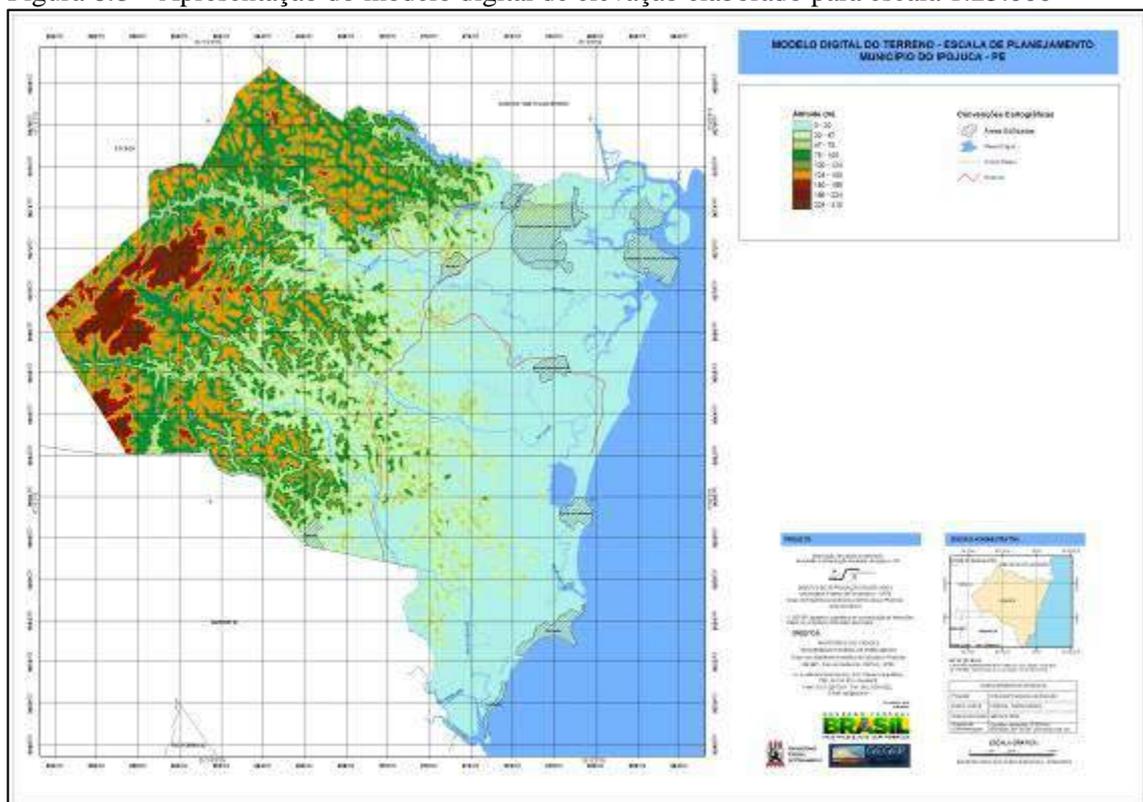
Fonte: Coutinho (2014).

Todos os produtos cartográficos nessa escala e os mosaicos das imagens de satélite foram georreferenciados usando as coordenadas dos 22 pontos medidos em campo com GNSS Hiper Lite + (L1 e L2). Esse processo tem a função de padronizar os produtos cartográficos na mesma rede de pontos de controle e no mesmo referencial geodésico SIRGAS 2000. O georreferenciamento foi realizado usando o ArcMap 10.1, porém, foram utilizados os parâmetros de transformação de acordo com as resoluções.

6.5.6 Modelo digital do terreno de todo o município de Ipojuca (1:25.000)

Este mapa (Figura 6.8) foi gerado a partir das curvas de nível extraídas das cartas topográficas da Sudene, equidistantes de 10 m, escala 1:25.000, vetorizadas no ArcMapTM 10.1. Para a criação da superfície, foram testados alguns interpoladores como Inverse Distance Weighting (IDW) e Krigger, porém, no fim do processo, verificou-se que o melhor interpolador para atendimento das aplicações de hidrologia e geomorfologia foi a interpolação Triangulated Irregular Network (TIN). A Figura 6.8 ilustra o TIN e o Modelo Digital de Terreno (MDT) gerado.

Figura 6.8 – Apresentação do modelo digital de elevação elaborado para escala 1:25.000



Fonte: Coutinho (2014).

6.6 ELABORAÇÃO DO INVENTÁRIO

A realização do inventário voltou-se para dois objetivos. O primeiro, relacionado com a identificação dos principais processos que ocorrem no município do Ipojuca. O segundo, ligado ao mapeamento de cicatrizes de movimentos de massa (movimentos gravitacionais de massa e erosão), a fim de ser utilizado tanto na definição dos pesos dos fatores condicionantes utilizados na modelagem da suscetibilidade como na validação do modelo, o que requer maior precisão na localização das cicatrizes dos movimentos de massa.

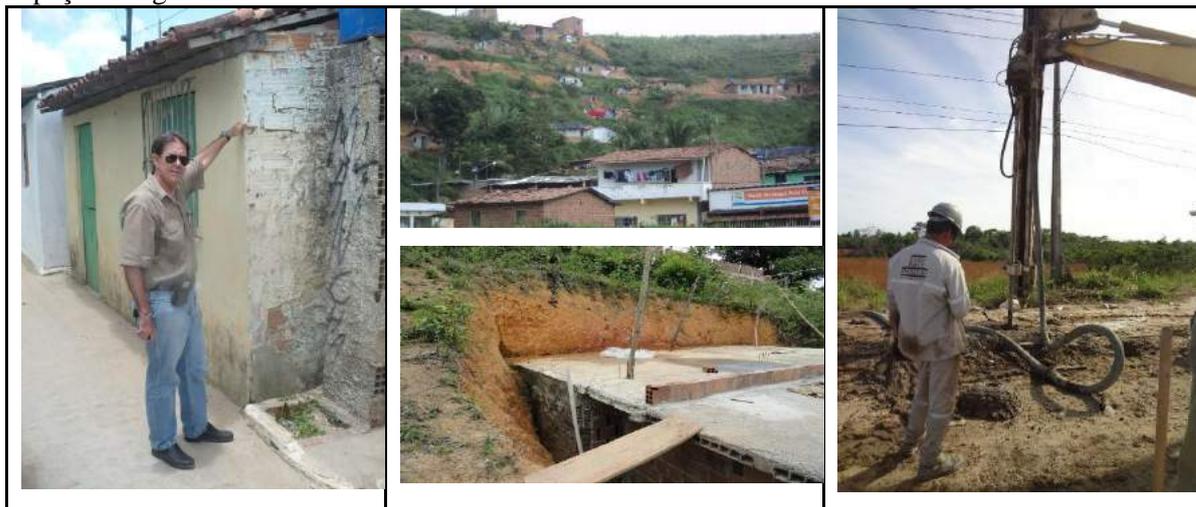
Por meio de uma análise preliminar (visitas aos campos), verificou-se no município do Ipojuca a predominância de movimentos de pequena dimensão, sobressaindo os processos de erosão linear (ravinas e voçorocas), deslizamentos planares superficiais pequenos (mais localizados nas áreas urbanas e ao longo de estradas) e áreas com afloramentos rochosos. Essas últimas consideradas áreas com potencial de queda de blocos (Fotografia 6.4). Também se verificaram problemas com inundação, alagamento, deformação de solos e problemas induzidos pela ocupação (implantação de sistema viário, loteamento, disposição de resíduos) (Fotografia 6.5). Sendo assim, optou-se por representar tais cicatrizes como pontos, diante das escalas de análise (1:25.000).

Fotografia 6.4 – Processos de erosão, deslizamento e queda de bloco, Ipojuca-PE



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Fotografia 6.5 – Da esquerda para a direita: marca d’água de inundação, processos induzidos pela ocupação e argila mole



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Na elaboração e análise do inventário, procurou-se seguir as propostas do Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning, proposto por Fell et al. (2008), que apresentam propostas e observações para o zoneamento de deslizamentos voltados ao planejamento de uso do solo.

Os procedimentos foram, então, divididos em duas etapas: 1) compilação de dados e análise em gabinete; 2) investigação e mapeamento em campo.

6.6.1 Compilação de dados e análise em gabinete

Inicialmente, foram coletadas informações sobre processos que ocorrem no município por meio de documentos elaborados para o município como o Plano Municipal de Redução de Risco (PMRR), desenvolvido em 2007 na escala 1:2.000, bem como o Mapeamento de Vulnerabilidade e Risco realizado pelo Gegep também na escala 1:2.000, finalizado em abril de 2015, que tem um banco de dados com alguns pontos onde ocorreram deslizamentos, alagamentos, inundações, etc.

Para a identificação das cicatrizes dos processos analisados (movimentos gravitacionais de massa, erosão, inundação, solapamentos, solos colapsíveis, dentre outros) utilizaram-se imagens de satélite Quickbird Multiespectral 2005-2006 e Pancromática 2010 e imagem do Google Earth 2013, 2014 e 2015.

Além da utilização das imagens acima descritas, um levantamento de informações históricas sobre eventos ocorridos no município realizou-se mediante pesquisas em jornais e

internet, que relataram os eventos de grande magnitude que ocorreram nos municípios trabalhados.

6.6.2 Investigação e mapeamento em campo

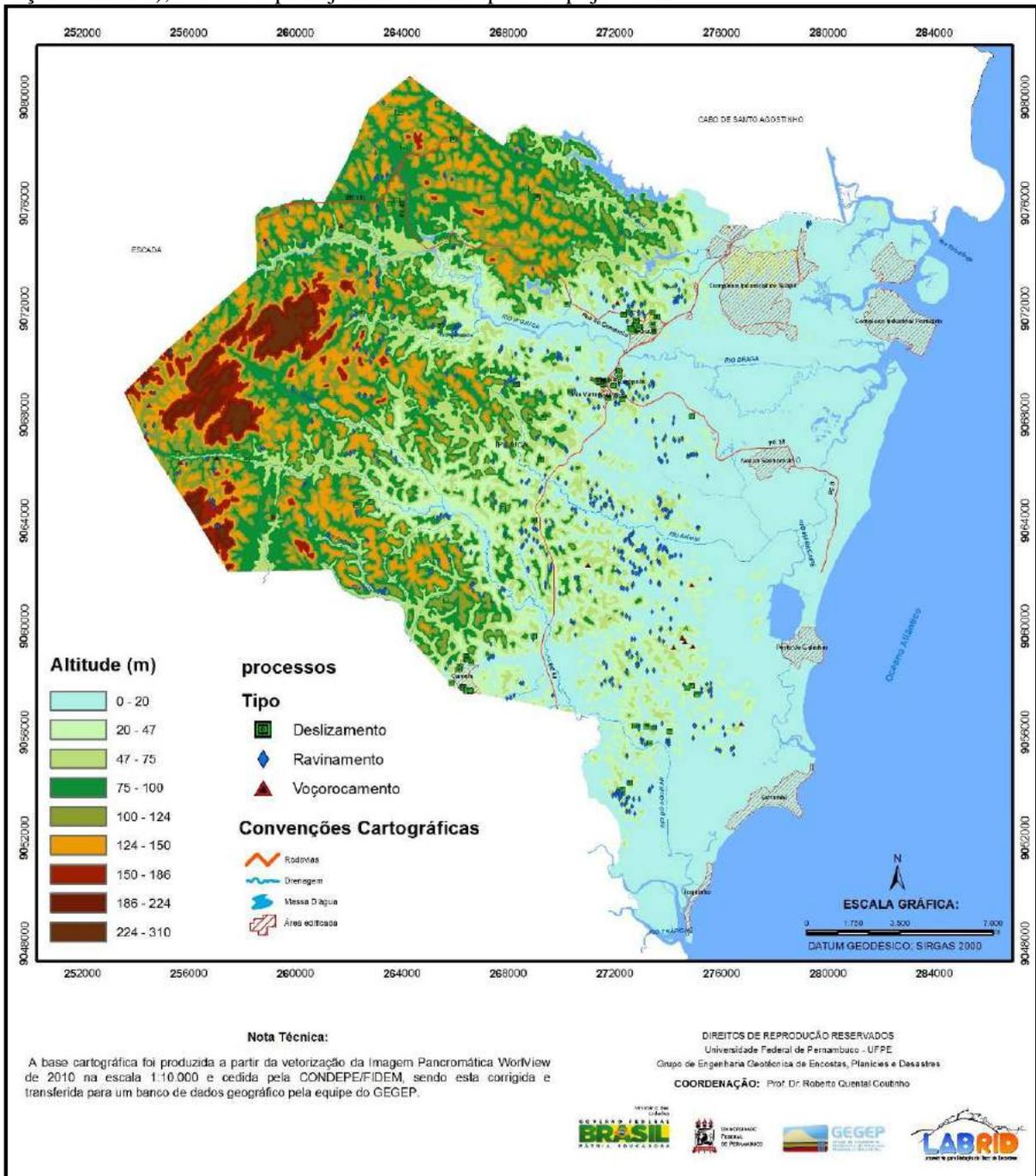
Esta etapa destinou-se a levantamentos expeditos voltados para o reconhecimento dos materiais geológicos presentes, para a checagem das informações derivadas no levantamento de dados em laboratório mediante imagens de satélites e outras fontes, contato com os moradores por meio de entrevista e identificação de feições erosivas e cicatrizes de deslizamento em campo.

Buscou-se, também, seguir as orientações do JTC-1 (FELL et al., 2008), identificando as feições fisiográficas críticas, ou seja, feições historicamente associadas a problemas de desestabilização já observadas ou potenciais, tais como as cabeceiras de drenagem, rupturas de declives positivas e negativas, áreas com afloramentos rochosos e com potencial iminente de queda de blocos; talwegues encaixados e suas vertentes de acentuada declividade, encostas com declividade superior a 30°, feições geológicas de maior instabilidade, presença de matacões e blocos de rochas, áreas de possível atingimento do material proveniente de deslizamentos e fluxos de lama e detritos, áreas ocupadas por lixões, áreas a montante e a jusante das áreas de intervenções antrópicas (cortes e aterros em encostas).

Reunidas as informações que puderam ser devidamente localizadas, elaborou-se uma planilha para compor o mapa de inventário. Essas informações foram lançadas no banco de dados para serem utilizadas e atualizadas em etapas posteriores.

A Figura 6.9 apresenta o mapa de inventário para processos de deslizamento, ravinamento e voçorocamento.

Figura 6.9 – Mapa de inventário de processo do meio físico (deslizamento, ravinamento e voçorocamento), escala de planejamento município do Ipojuca-PE



Fonte: Coutinho (2014).

6.7 ELABORAÇÃO DOS MAPAS BÁSICOS

Nesta seção será apresentado o resultado dos mapas básicos (Geologia e Geomorfologia na escala de 1:25.000), caracterização Pedológica e levantamento de dados geotécnicos (banco de dados de sondagem) que foram elaborados para subsidiar a produção da Carta de Unidades de Terreno.

Para a elaboração dos mapas e cartas, a equipe do Gegep trabalhou sempre que foi possível de forma integrada com o objetivo de se obter melhores resultados. A Fotografia 6.6 apresenta reunião em campo da equipe de Geologia, Geotecnia e Geomorfologia.

Fotografia 6.6 – Trabalho de campo integrado equipe Gegep, Ipojuca-PE



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

6.7.1 Mapa geológico

Para a confecção do mapa geológico na escala 1:25.000 seguiram-se as seguintes etapas: levantamento bibliográfico, fotointerpretação, trabalho de campo e de laboratório.

Visando facilitar a análise geológica necessitou-se da compilação de literaturas existentes em diversas escalas:

- Mapa geológico do estado de Pernambuco, Escala 1:500.000. Destinado à análise regional.
- Mapa geológico na Escala 1:100.000.
- Mapeamento geológico da Folha de Sirinhaém na escala 1:25.000.
- Mapas geofísicos da CPRM, formato digital, escala 1:100.000 (folhas Vitória de Santo Antão e Sirinhaém).
- Fotocópias de fotos aéreas da CPRM, escala 1:30.000.
- Mapa geológico Projeto Sistema de Informações para Gestão Territorial da Região Metropolitana do Recife (Singre).

No trabalho de campo, foram visitados e descritos 136 pontos de afloramentos ao longo da malha de estradas e caminhos disponíveis, bem como leitos de rios e riachos, com o objetivo de observar e descrever as características estratigráficas e sedimentológicas das sequências sedimentares aflorantes, como também realizar o levantamento de dados das feições estruturais e litológicas do embasamento cristalino, especialmente daqueles pontos que apresentam suscetibilidade a deslizamentos. Complementarmente, foram coletadas amostras de rocha para confecção de lâminas petrográficas, visando obter maior conhecimento mineralógico, de microestruturas e metamorfismo do embasamento.

No trabalho de escritório e laboratório, realizaram-se descrições em lâminas delgadas das amostras, visando estudos mineralógicos, de microestruturas e metamorfismo. Houve também o registro microfotográfico das principais feições observadas. Por fim, fez-se a integração das interpretações e informações adquiridas em todas as etapas do trabalho, para a elaboração deste relatório e do mapa geológico final.

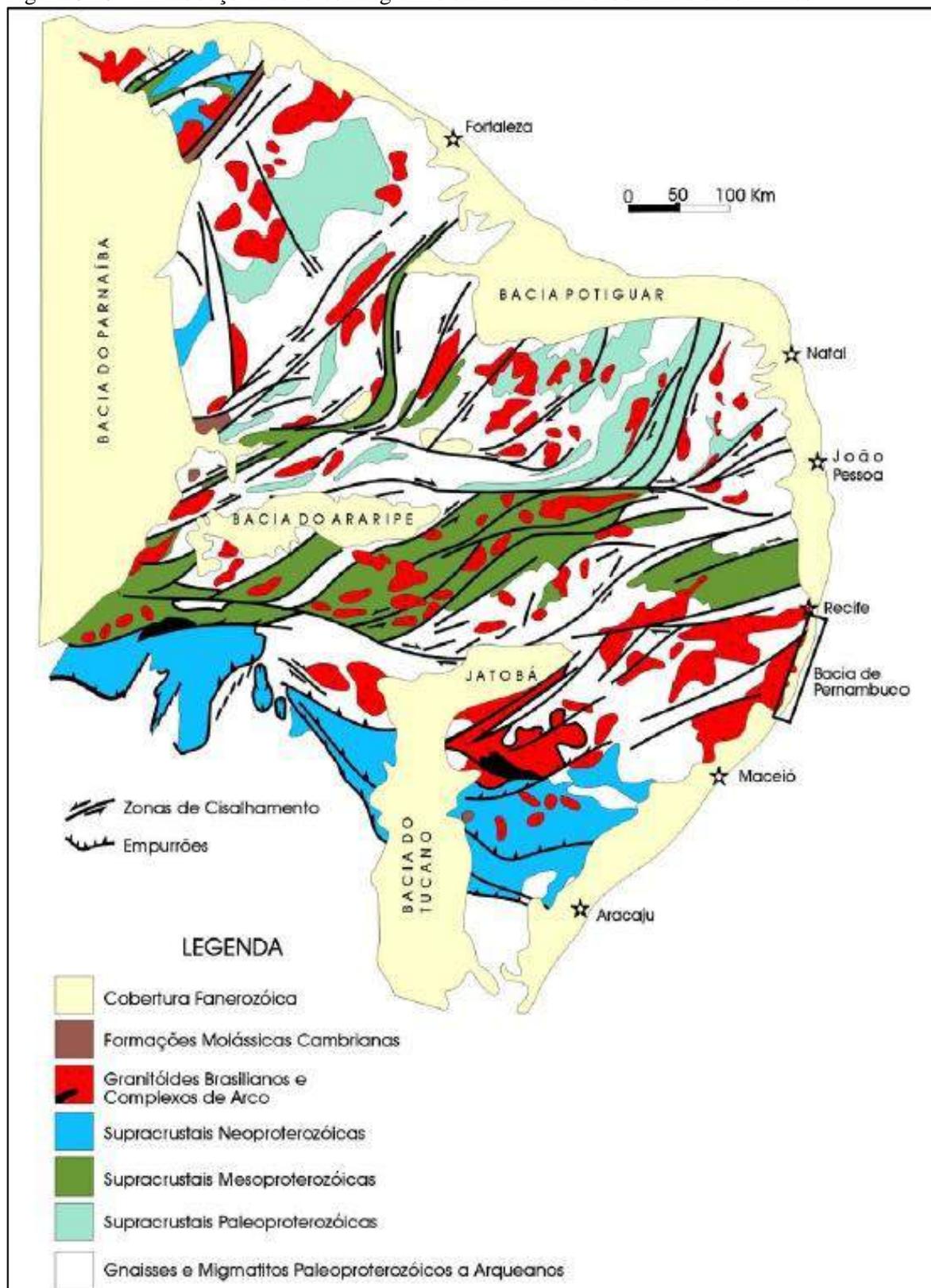
Feita esta introdução acerca dos trabalhos e etapas para a elaboração do mapa geológico, o texto que se segue toma como base Coutinho (2014) e Gonçalves (2014).

GEOLOGIA REGIONAL

Província Borborema

Assim chamada por Almeida et al. (1977), a Província Borborema é um domínio geológico-estrutural no Nordeste do Brasil, limitado ao sul pelo Cráton São Francisco, a oeste pela Bacia do Parnaíba e a norte e leste pelas bacias marginais costeiras (Figura 6.16). Inicialmente foi descrita como um conjunto de maciços e sistemas de dobramentos estruturados durante a Orogênese Brasileira (600 ± 50 Ma) no fim do Neoproterozóico (BRITO NEVES, 1975; ALMEIDA et al., 1977). Posteriormente, a Província Borborema passou a ser interpretada como o resultado da ocorrência e superposição de mais de uma orogênese ao longo do tempo, e sua complexidade tectônica foi atribuída à aglutinação de terrenos alóctones, separados por grandes zonas de cisalhamento (JARDIM DE SÁ, 1994; JARDIM DE SÁ et al., 1992; SANTOS, 1995). No entanto, alguns pesquisadores defendem a existência apenas de faixas dobradas ensiálicas, cujos sedimentos neoproterozóicos, depositados sobre um embasamento arqueano a paleoproterozóico foram deformados e metamorfizados na Orogênese Brasileira (NEVES 2003; NEVES et al., 2006).

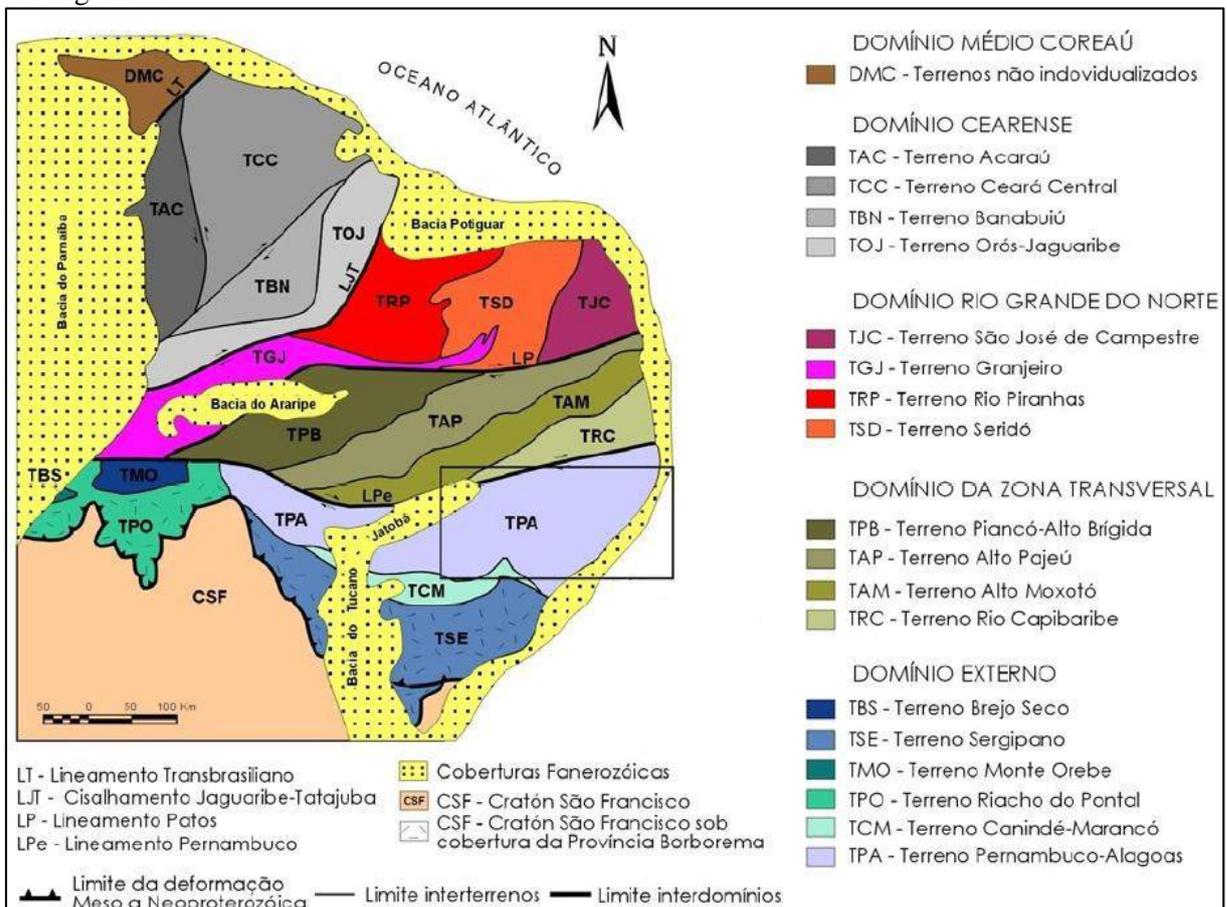
Figura 6.10 – Arcabouço tectono-estratigráfico da Província Borborema e seus limites



Terreno Pernambuco-Alagoas (TPA)

Estudada há pelo menos três décadas, esta unidade geológica já foi interpretada como alto tectônico (BRITO NEVES et al., 1973), área cratônica (MELLO et al., 1977) ou maciço (BRITO NEVES, 1975). Santos (1995) considerou essa unidade como um dos principais terrenos da Província Borborema, compondo uma porção do chamado domínio externo (Figura 6.17). Silva Filho, Guimarães e Van Schmus (2002) sugeriram a utilização do termo “Complexo Pernambuco-Alagoas”, tendo em vista a ocorrência de diferentes litotipos na área de abrangência desse terreno. Limita-se ao norte pelo Lineamento Pernambuco, ao sul pelo terreno Canindé-Marancó e Faixa Sergipana, a oeste pelo terreno Riacho do Pontal e a leste pelas bacias sedimentares de Pernambuco e de Alagoas.

Figura 6.11 – Compartimentação da Província Borborema em domínios e terrenos tectono-estratigráficos



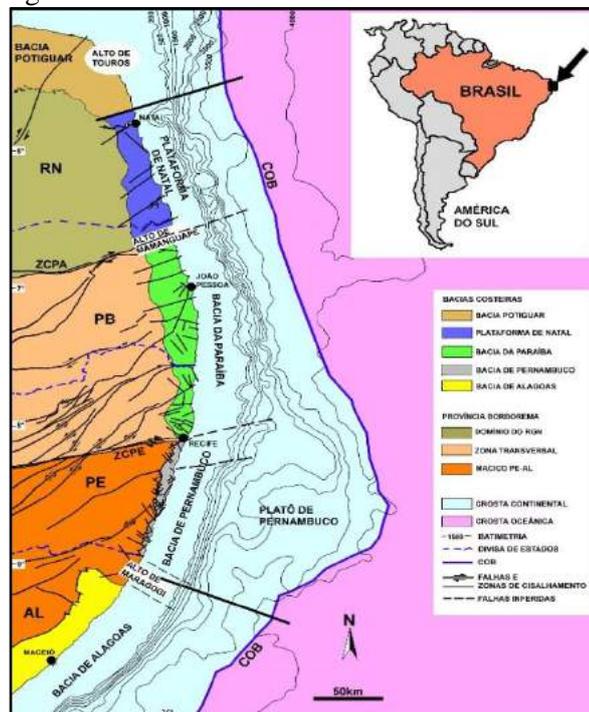
Fonte: Gonçalves (2014).

Segmento Leste do TPA

Neste setor, as seqüências relacionadas com o Complexo Cabrobó são compostas por regiões onde há o predomínio de paragneisses, migmatitos de protólitos paraderivados, quartzitos e raras lentes de mármore, ora com abundância de anfibolitos, ou com meta-arcóseos e quartzitos. A porção do Complexo Belém do São Francisco, englobada neste setor do TPA, constitui-se basicamente de ortogneisses e migmatitos. Portanto, as rochas que afloram nas proximidades da Bacia de Pernambuco são compostas por litotipos pertencentes aos complexos Cabrobó e Belém do São Francisco, além da presença de vários plútons neoproterozóicos (Figura 6.18).

Esse magmatismo, segundo Gomes (2001), é representado por intrusões sin- a pós-tectônicas e compreende granitoides sienograníticos a monzoníticos, porfiríticos (tipo Itaporanga), com enclaves dioríticos, monzonitos e sienitos de granulação média, quartzo dioritos/monzonitos monzogranitos. Silva Filho, Guimarães e Van Schmus (2002) identificaram cinco grandes batólitos graníticos neste segmento do Terreno Pernambuco-Alagoas (TPA), dos quais dois fazem parte do embasamento da Bacia de Pernambuco: Ipojuca-Atalaia (plútons Ipojuca e Rio Formoso) e Garanhuns (plútons Chã Grande, Pedra Selada e Massauassú).

Figura 6.12 – Limites da Bacia Pernambuco de acordo com Feijó 1994



Fonte: Gonçalves (2014).

Arcabouço Estrutural

Lima Filho (1998) propôs a subdivisão do arcabouço estrutural da Bacia Pernambuco em dois elementos morfoestruturais, detectados por meio de interpretação geofísica, que são os grabens assimétricos de Piedade e Cupe e o alto interno do Cabo de Santo Agostinho. Nos grabens, ocorrem as maiores espessuras da Formação Cabo, assim como os centros vulcânicos mais expressivos. O Alto do Cabo de Santo Agostinho apresenta direção aproximadamente NW-SE, separando os grabens, e aparentemente está centrado no corpo granítico homônimo e as rochas vulcânicas da região entre a Vila de Suape e o Engenho Algoduais.

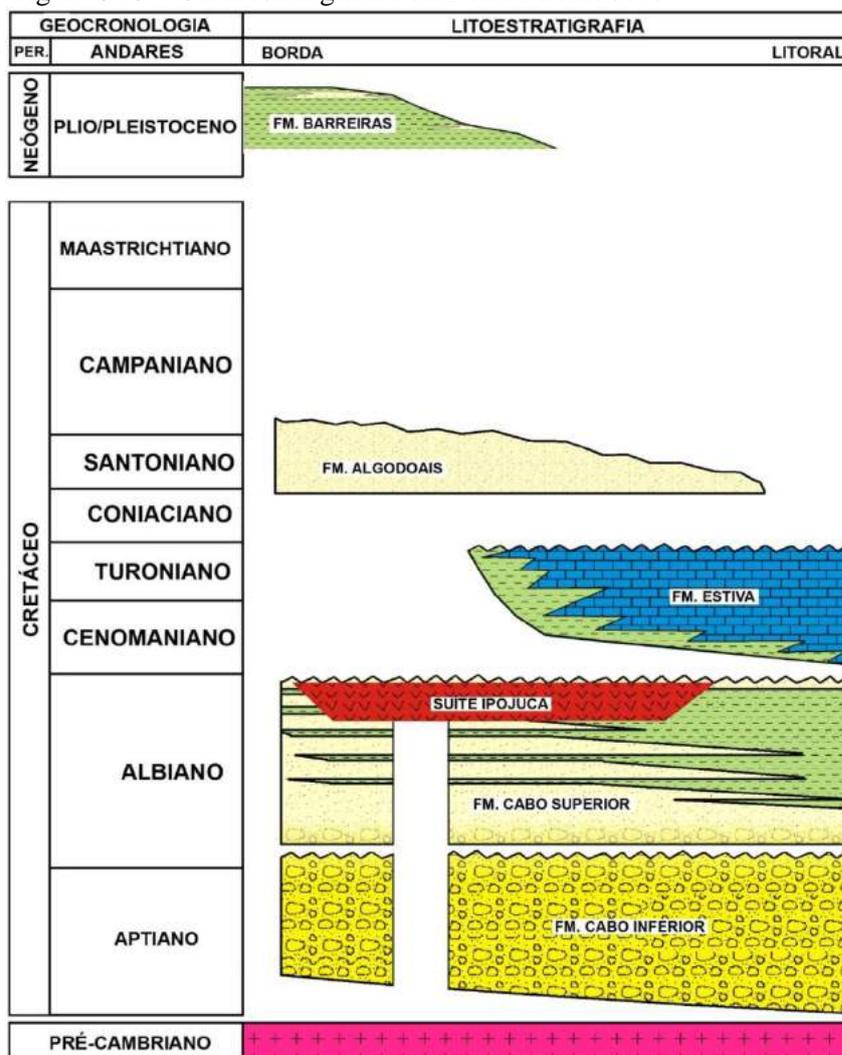
Segundo Polônia (1997) e Lima Filho (1998), o arcabouço é controlado por um duplo sistema de falhas, representadas por falhas de borda e falhas internas à bacia, com trend NE, de rejeito normal, e falhas transcorrentes dextrais, com trend NW/W. Recentemente, Jardim de Sá et al. (2003) reconheceram um terceiro sistema, caracterizado por falhas de deslocamento distensionais.

Estratigrafia

Kegel (1959) sugeriu a primeira coluna estratigráfica para a hoje denominada Bacia Pernambuco, com o apoio exclusivo de observações de campo. Vinte anos depois, Amaral e Menor (1979) sugeriram uma nova coluna adicionando as formações Cabo e Estiva e aplicando o termo Formação Ipojuca para as rochas ígneas.

Lima Filho (1998) realizou uma análise estratigráfica da Bacia Pernambuco e sugeriu uma nova litoestratigrafia para ela (Figura 6.13); de acordo com o autor, a Bacia Pernambuco seria composta pelas Formações Cabo, Estiva e Algoduais. Há cerca de 100 milhões de anos, a bacia foi palco de um intenso magmatismo, conhecido como Suíte Ipojuca. Sobrepondo-se às unidades mencionadas, ocorrem ainda a Formação Barreiras (Paleógeno), terraços pleistocênicos, holocênicos e sedimentos (Neógeno).

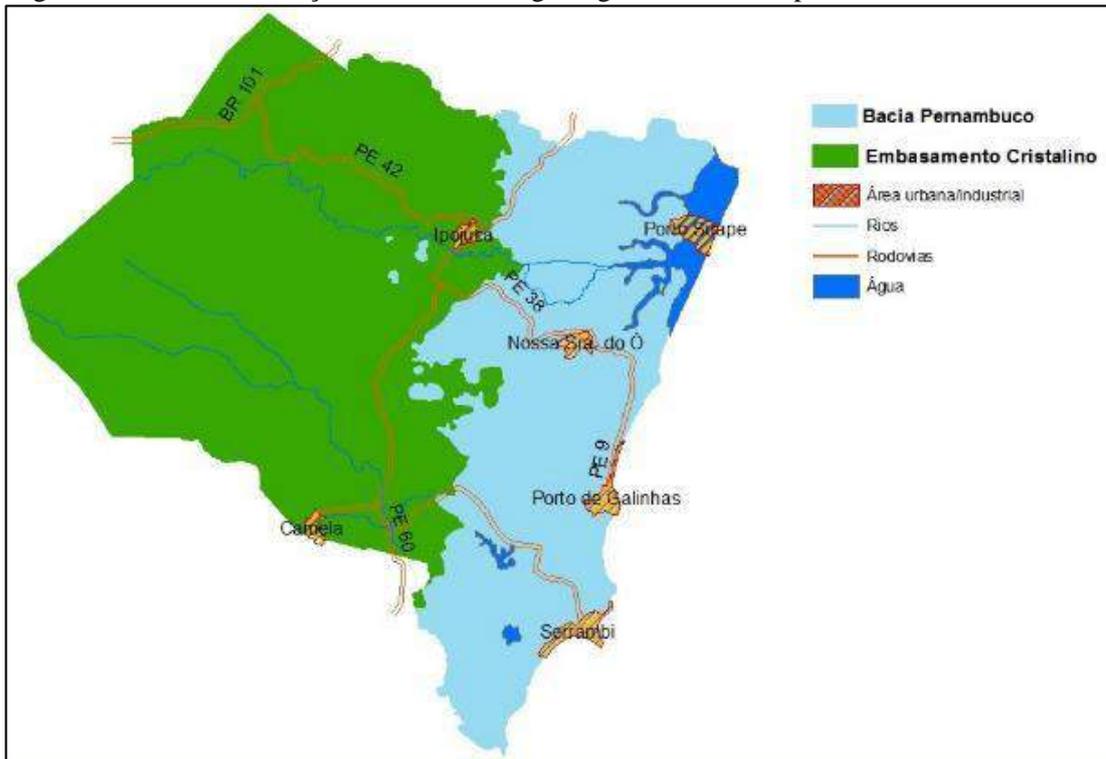
Figura 6.13 – Carta estratigráfica da Bacia Pernambuco



Fonte: Gonçalves (2014) adaptada de Lima Filho (1998).

Serão apresentadas, a seguir, informações das unidades geológicas do município de Ipojuca, tratadas em dois grandes grupos: a) as rochas do embasamento cristalino; b) as rochas da Bacia Pernambuco (Figura 6.14).

Figura 6.14 – Caracterização dos ambientes geológicos da área mapeada



Fonte: Gonçalves (2014).

a) EMBASAMENTO CRISTALINO

a.1 Complexo Gnáissico-migmatítico – Unidade Px

É a litologia mais abrangente de toda a área do município de Ipojuca, ocupando cerca de 50% do embasamento cristalino. Aflora em cortes de estrada, leitos e margens dos rios/riachos e em grandes lajedos e matacões (Fotografia 6.7).

Na região ao sul de Escada, encontram-se ortognaisses e milonitos de composição granodiorítica com foliação subvertical (Fotografia 6.8) pela influência de uma zona de cisalhamento com cinemática dextral, preenchida por veios pegmatíticos semiconcordantes com a foliação; é comum a presença de porfiroblastos assimétricos.

Na zona mais central do município, os ortognaisses assumem uma composição mais granítica, foliação mais horizontalizada e pouco visível na rocha. Nessa região também se encontram migmatitos (Fotografia 6.9) com leucossomas (partes claras-litologias de natureza ácida) com textura pegmatóide e dobras pitgmáticas, apresentando cristais de feldspatos anédricos a euédricos com até 7 cm de comprimento, dispostos em faixas concordantes. Especificamente no migmatito localizado no eixo da Barragem Maranhão, nota-se uma diferenciação nos leucossomas, em que se observam k-feldspato a oeste e plagioclásio a leste.

Fotografia 6.7 – Grandes matacões



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Fotografia 6.8 – Foliação subvertical



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Fotografia 6.9 – Migmatito apresentando dobras pitgmáticas



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

a.2 Biotita-granito – Unidade Ny3

Litologia que, com o Complexo Gnaissico-Migmatítico (Unidade Px), ocupa a maior parte da área do embasamento cristalino do município, distribuída em dois corpos: um ao sul de Escada e outro se estendendo das cidades de Ipojuca até Camela. Aflora geralmente na forma de blocos em meio às plantações de cana (Fotografia 6.10), de forma bem consistente nas margens de alguns riachos, e também em blocos soltos compondo o perfil dos solos (Fotografia 6.11); nesta última forma de ocorrência, a rocha está quase sempre bastante intemperizada.

Fotografia 6.10 – Matacões da Unidade Ny3



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Fotografia 6.11 – Horizonte C do solo, mostrando blocos da rocha mãe, parcialmente intemperizada (Unidade Ny3)



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

a.3) Biotita-granito porfirítico – Unidade Ny2

Litologia que ocupa área razoavelmente pequena no município e se encontra a sul de Escada. Aflora nas cotas mais elevadas do município, ocorrendo geralmente sob um capeamento de 2-3 m, na forma de bloco e pequenos matacões dentro do perfil de intemperismo. Às vezes, com marcante esfoliação esferoidal (Fotografia 6.12).

Destaca-se pela presença de cristais de feldspatos chegando até 2 cm de comprimento, dispersos em uma matriz de granulação média, porém de textura fanerítica. Tem uma coloração cinza a creme, levemente esverdeada, em alguns casos, pela presença de anfibólios.

Fotografia 6.12 – Esfoliação esferoidal do granito (Unidade Ny2)



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

a.4) Quartzo sienito – Unidade Ny5

Esta litologia aparece restrita a um pequeno corpo na região central do município. Aflora na forma de matacões com dimensões métricas e em leitos de riachos. Rocha de textura fanerítica, granulação média, inequigranular e coloração cinza claro. É cortada por veios pegmatíticos (Fotografia 6.13) com notável presença de lamelas de biotita com até 3 cm de comprimento e raras granadas milimétricas.

De acordo com as relações de campo, constatou-se que apenas a unidade Ny5 (Quartzo Sienito) tem caráter intrusivo, ficando, assim, acima das demais unidades litológicas do embasamento na coluna estratigráfica.

Fotografia 6.13 – Veio com textura pegmatóide, cortando a Unidade Ny5



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

b) BACIA PERNAMBUCO

b.1 Formação Cabo – Unidade Kc

Bem presente na área leste do município. Aflora na forma de pequenos morros, geralmente identificados nos cortes de estradas (Fotografia 6.14).

Na fácies proximal (notadamente suportada pelos blocos, mais blocos do que matriz), é um conglomerado polimítico (blocos de diferentes tipos de rocha) com blocos de granitoides, gnaisses e migmatitos oriundos do embasamento cristalino (Fotografia 6.15) e matriz arcoseana (arenito com mais de 25% de feldspatos) avermelhada. Os blocos são semiarredondados a arredondados (indicando transporte em longo trajeto), variando de 10 cm a 2 m de diâmetro (Fotografia 6.16). Na fácies medial (suportada pela matriz, mais matriz do que blocos), torna-se um conglomerado de matriz arcoseana com blocos menores, não passando dos 40 cm de diâmetro (Fotografia 6.17).

Fotografia 6.14 – Corte de estrada exibindo a Formação Cabo



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Fotografia 6.15 – Blocos de gnaisses, migmatitos e granitoides compondo o conglomerado da Formação Cabo



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Fotografia 6.16 – Variação dos tamanhos dos blocos maiores suportados por blocos



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Fotografia 6.17 – Conglomerado da Formação Cabo com blocos menores e suportados pela matriz no pacote entre as linhas de marcação



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

b.2 Suíte Magmática Ipojuca – vulcanismo bimodal

Basaltos - Kibs

Rocha afanítica de coloração marrom/roxa/preta, encontrada como derrames basálticos (em forma de soleiras), em geral, bastante alterados, com esfoliação basáltica bem visível (Fotografia 6.18) e com poucas vesículas. Apresenta-se também na forma de soleiras (Fotografia 6.19) de espessura bem variável, depositadas entre e sobre as rochas da Formação Cabo e necks vulcânicos de riolitos/traquitos.

Fotografia 6.18 – Esfoliação esferoidal em rocha basáltica



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Fotografia 6.19 – Soleiras de basalto alterado, indicado pelas setas



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

b.3 Suíte Magmática Ipojuca – Traquitos/Riolitos – Kitq/Kirl

Rochas de coloração cinza claro a bege, poucas vesículas, matriz afanítica (minerais não são identificáveis a olho nu) e fenocristais de feldspato (traquito) ou feldspato e quartzo (riolito). Afloram em necks vulcânicos próximos ao Engenho Ipojuca e afloramento de grande porte na região do Complexo Industrial Portuário de Suape (próximo à refinaria). Apresentam disjunções colunares verticais e horizontais (Fotografias 6.20 e 6.21), por vezes com as fraturas preenchidas por material silicoso formando uma distinta estrutura que lembra um *stockwork* (Fotografia 6.22), e também na forma de diques e soleiras, bastante alterados, cortando os conglomerados da Formação Cabo.

Fotografia 6.20 – Disjunções verticais



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Fotografia 6.21 – Disjunções horizontais



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Fotografia 6.22 – Disjunções colunares preenchidas por material silicoso em uma estrutura que lembra um *stockwork* (afloramento em vista de topo)



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

b.4 Suíte Magmática Ipojuca – Ignimbrito - Kiig

Aflora em um único corpo ao sul da cidade de Ipojuca, particularmente próximo à estrada de acesso a Porto de Galinhas, atualmente uma pedreira explorada pelo grupo empresarial João Santos (Fotografia 6.23). A substância explorada caracteriza-se como argila e aglomerado vulcânico, explorada em uma área de 625 hectares. O material é utilizado como pozzolana natural, na fabricação de cimento. Rocha piroclástica de coloração cinza, com vesículas marcantes, resultante da deposição de materiais provenientes de um fluxo piroclástico (corrente de alta temperatura formada por partículas, clastos de rocha vulcânica e gases que fluem rapidamente de um vulcão em uma erupção explosiva) e fragmentos de rochas do embasamento, cimentados por magma de natureza riolítica (Fotografia 6.24).

Fotografia 6.23 – Vista do Ignimbrito na pedreira do Grupo João Santos



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Fotografia 6.24 – Vesículas e fragmentos de rocha



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

b.5 Formação Algodoads – Ka

Aflora em pequenos morros na área leste do município, visível nos cortes de estrada e afins, especialmente na região do Porto de Suape. Constituída por um conglomerado polimítico (blocos oriundos de diferentes tipos de rochas vulcânicas) sustentado por uma matriz arcoseana amarelada, granulação média e com seixos subangulosos a subarredondados, variando de 5-25 cm de diâmetro, constituídos por rochas vulcânicas oriundas da Formação Ipojuca (Fotografia 6.25 e 6.26). O pacote de conglomerado encontra-se também interestratificado com soleiras de basalto e/ou vulcânicas ácidas (traquitos/riolitos). A alteração/intemperismo gera materiais expansivos.

Fotografia 6.25 – Cláustos de vulcânicas, destacando-se basaltos (cor preta)



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Fotografia 6.26 – Soleiras de basalto e/ou vulcânicas ácidas (traquitos/riolitos)



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

c) GRUPO BARREIRAS - Nqb

Aflora na região sul do município na forma de sedimentos argiloarenosos, com granulação variando de fina a média, localmente conglomerática, com níveis argilosos ou ricos em óxidos e hidróxidos de ferro (Fotografia 6.27); localmente esses níveis apresentam raras estratificações cruzadas.

Fotografia 6.27 – Afloramento do Grupo Barreiras evidenciando os níveis de argila estratificados



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

d) COBERTURA RECENTE

Na área litorânea, todas as unidades litológicas anteriormente descritas, especialmente da Bacia Pernambuco, estão recobertas por sedimentos recentes.

d.1 Terraços Marinheiros Pleistocênicos (Qtp) – são pequenas plataformas acima do nível do mar, formados por areias quartzosas de granulação fina a média.

d.2 Terraços Marinheiros Holocênicos (Qth) – semelhantes aos pleistocênicos em geomorfologia e composição, diferenciando-se pela presença de restos de conchas.

d.3 Sedimentos de Praia (Qp) – depósitos recentes constituídos por areias quartzosas com fragmentos de conchas.

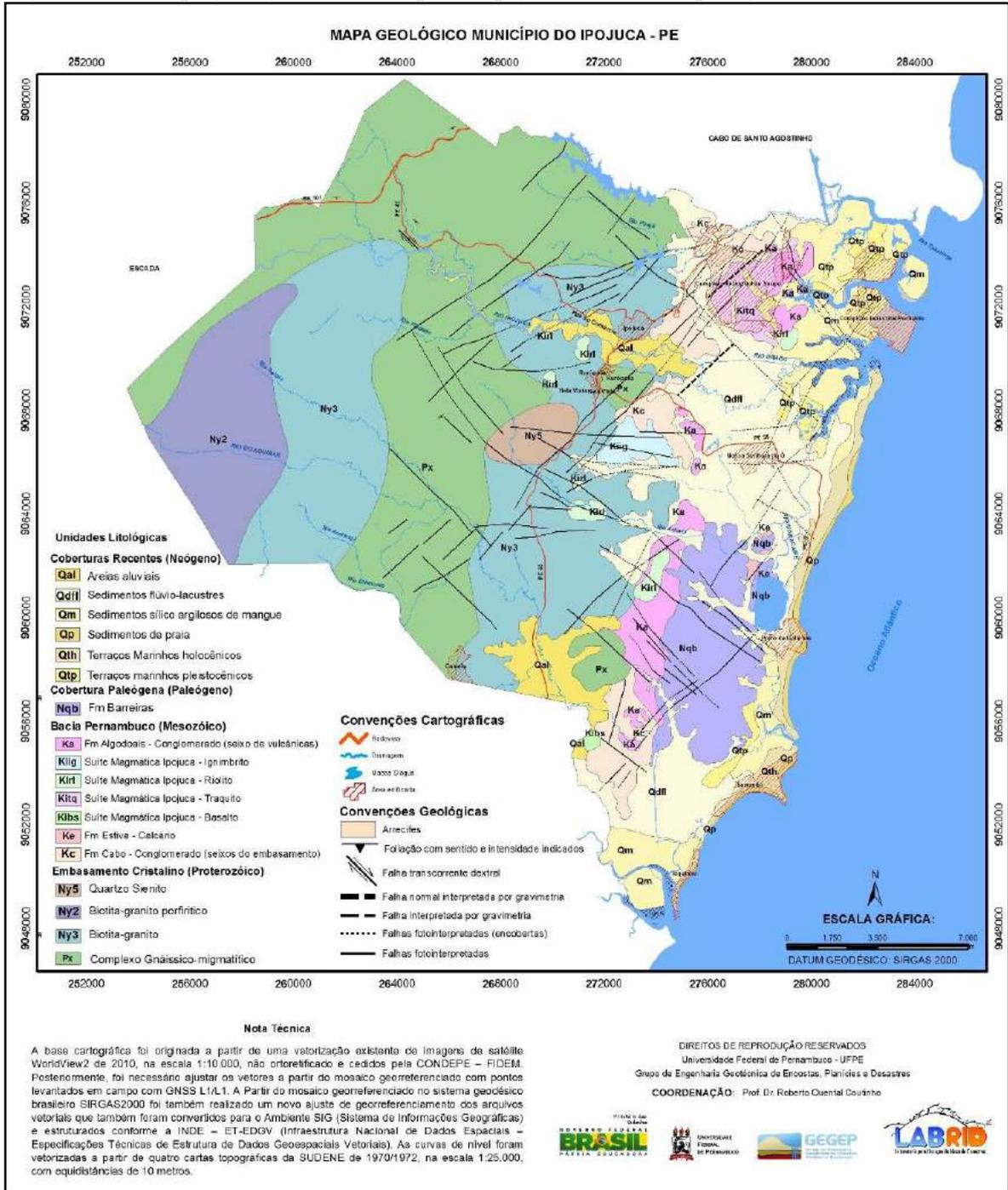
d.4 Sedimentos Silicoargilosos de Mangue (Qm) – formado por argilas, siltes, areias finas, carapaças de diatomáceas (algas), espículas de espongiários, restos orgânicos e conchas. A maioria das áreas de ocorrência estava inundada à época do mapeamento.

d.5 Sedimentos fluviolacustres (Qdf) – são constituídos por areias finas, siltes, argilas, vasas diatomáceas e sedimentos turfosos. A maioria das áreas de ocorrência estava inundada à época do mapeamento.

d.6) Areias aluviais (Qal) – são depósitos formados por materiais arenosos e arenoargilosos; distribuem-se nas planícies de inundação dos grandes rios da região.

A Figura 6.15 corresponde ao mapa geológico do município do Ipojuca na escala 1:25.000.

Figura 6.15 – Mapa geológico do município do Ipojuca na escala de planejamento



Fonte: Coutinho (2014).

6.7.2 Mapa geomorfológico

O mapa geomorfológico do município de Ipojuca, elaborado na escala 1:25.000, abrange até aspectos do quinto nível taxonômico estabelecido por Ross (1992). Na delimitação dos padrões de relevo, foram utilizadas imagens de satélite QuickBird e curvas de nível extraídas de cartas topográficas elaboradas pela Sudene na escala 1:25.000.

Para os fins deste trabalho, a modelagem digital do terreno visando ressaltar as morfoestruturas foi elaborada por meio de dados Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) ajustados para resolução de 30 metros pelo Projeto Topodata, e curvas de nível no software ArcGis 10.1. Posteriormente, ambos os produtos foram relacionados com dados geológicos do mapa geológico do município do Ipojuca na escala de planejamento, para que se fosse possível confeccionar um mapa morfoestrutural para delimitar (em caráter regional) as feições na área de estudo.

Por conseguinte, a confecção do Triangulated Irregular Network (TIN) por meio das curvas de nível no software ArcGis 10.1, em que se sobrepueram as imagens de satélite para que se desse o processo de fotointerpretação que envolve, inicialmente, a identificação das imagens com os objetos e a análise das relações entre as imagens. Finalmente, a avaliação do significado e função dos objetos bem como suas relações. Para tal, seguiram-se três procedimentos principais:

- fotoleitura, que abrange o reconhecimento e identificação dos elementos das imagens com os objetos correspondentes e sua repartição;
- fotoanálise, responsável por analisar a textura e estrutura da imagem de satélite, definição de zonas homólogas e limites, análise das formas de drenagem e análise das formas de relevo;
- fotointerpretação, definida mediante o reconhecimento nas fotografias de aspectos relacionados com a geologia e as formas de relevo.

Delimitaram-se as formas de relevo que correspondem às informações sobre os níveis de dissecação do relevo, tipo de topos, tipo de vales e formas das vertentes, que resultam da interpretação visual das fotografias aéreas e imagens de satélite representados de acordo com as simbologias adotadas e/ou adaptadas das propostas de Cunha (2011), Gustavsson, Kolstrup, e Seijmonsbergen (2006), do IBGE (2009), IPT (1981), Ross e Moroz (1996) e Silva (2010).

A fim de validar os dados obtidos por fotointerpretação e corrigir possíveis falhas, realizaram-se trabalhos de campo na região, onde foi possível avaliar as características morfológicas e ocupacionais no município.

No que se refere à simbologia adotada para as formas de relevo, estabeleceram-se os seguintes critérios:

Processos morfogenéticos – representados pela letra D quando o relevo for denudacional ou pela letra A quando o relevo for de acumulação, sendo este último subdividido em (c) para colúvios, (fl) para acumulação fluvial, (fm) fluviomarinha, (fv) fundo de vale, (m) marinho,

(pf) planície fluvial, (r) restinga, (tf) terraço fluvial, (tm) terraço marinho e (tms) terraço marinho superior.

Tipos de vale – representados pelas letras (u) quando apresenta formas côncavas, (a) quando aberto e (v) quando encaixado.

Dissecação – representada pelo número correspondente aos dados matriciais apresentado no Quadro 6.2.

Quadro 6.2 – Matriz dos índices de dissecação do relevo

Grau de entalhamento dos vales	Dimensão interfluvial média				
	Muito grande (1) >3750 m	Grande (2) 1750-3750 m	Média (3) 750-1750 m	Pequena (4) 250-750 m	Muito pequena (5) <250 m
Muito fraco (1) <20 m	11	12	13	14	15
Fraco (2) 20-40 m	21	22	23	24	25
Médio (3) 40-80 m	31	32	33	34	35
Forte (4) 80-160 m	41	42	43	44	45
Muito forte (5) > 160 m	51	52	53	54	55

Fonte: Coutinho (2014) modificado de Ross e Moroz (1996, p. 46).

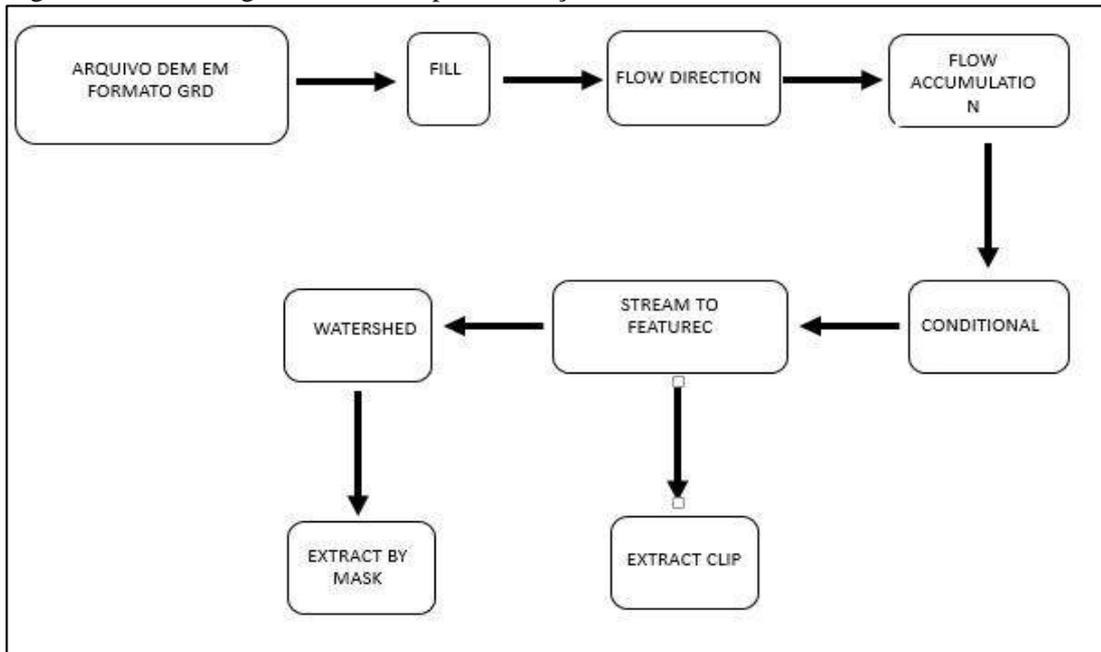
Variáveis morfométricas

As variáveis morfométricas (Curvatura das vertentes, direção de fluxo e orientação das vertentes) foi obtida pelo uso do MDE obtido por meio da junção das imagens de satélite de alta resolução com os dados altimétricos extraídos das cartas da Sudene em escala de 1:25.000, utilizando o software ArcGis 10.1, em que foi possível criar uma grade regular que definirá as direções de fluxo, tomando-se como base a linha de maior declividade do terreno.

Direção de fluxo

Desse modo, um mapa de direção de fluxo foi criado por meio do MDE, possibilitando a observação da direção de escoamento de água nas vertentes, além da visualização do relevo (ALVES SOBRINHO et al., 2010). As rotinas computacionais serão realizadas conforme metodologia proposta por Medeiros, Ferreira e Ferreira (2009) – Figura 6.16.

Figura 6.16 – Fluxograma da rotina para obtenção de dados morfométricos



Fonte: Coutinho (2014) adaptado de Medeiros, Ferreira e Ferreira (2009).

A fim de realçar os grandes padrões das variáveis originadas e de eliminar alguma possível imperfeição no MDE, partindo-se da premissa de que a maioria das mudanças de feição espacial na natureza ocorre de forma gradual, como a elevação, curvatura, mudança de paisagem, entre outros, utilizará a técnica bastante difundida em sensoriamento remoto para suavizar os detalhes de uma imagem de satélite (ROSENFELD, 1978).

Orientação das vertentes

Utilizou-se a carta topográfica para o município de Ipojuca (Folhas Cabo SC.25-V-A-II/4-NE, Ponta da Gamboa SC.25-V-A-III/3-SO, Ipojuca SC.25-V-A-II-4-SE, Escada SC.25-V-A-II-4-NO, Pedra Selada SC.25-V-A-II-4-SO, Camela SC.25-V-A-V-2-NO, Sirinhaém SC.25-V-A-V-2-NE) obtidas na Sudene na escala 1:25.000, da qual se originou o MDE hidrologicamente consistente, por intermédio do ArcGis 10. Por meio do MDE, gerou-se o mapa temático para o fator topográfico de orientação das vertentes.

A abordagem dos aspectos geomorfológicos na escala de 1:25.000 citados acima permitiu caracterizar as unidades geomorfológicas do município de Ipojuca, levando-se em consideração os cinco primeiros níveis taxonômicos, enfatizando os Padrões de relevo (4º táxon) e algumas formas de relevo (5º táxon). A seguir, serão descritas as unidades geomorfológicas da área de estudo.

a) Modelados denudacionais

As colinas caracterizam-se pelo relevo suavemente ondulado a ondulado; isolados entre si, ocorrendo em todo o município, exceto nas áreas de planície. Têm pequenas a médias elevações e são circundados por sedimentos de origem fluvial, fluviomarina, fluvio-lagunar e colúvios, interdigitando-se com eles. Como as diversas colinas apresentam características geomorfológicas distintas, agruparam-se em três subunidades gerais.

A primeira subunidade, denominada Colinas com topos aguçados e vales encaixados (Dgv), tem 52,97 km² de área e é relativa às colinas que têm maior variação altimétrica de 131 a 310 metros. O relevo varia de ondulado a fortemente ondulado e é sustentado por rochas do embasamento cristalino – biotita-granito-porfirítico nas partes mais elevadas e biotita-granito nas menores cotas. Predominam vales encaixados, com grau de entalhamento que varia de forte a muito forte, com declividade entre 17° a 27°, além dos setores mais altos com declividade acima de 27°. Têm topos aguçados com dimensões interfluviais que variam de pequena a muito pequena, com presença de blocos aflorando ao longo de toda a colina (Fotografias 6.28 e 6.29). Em termos de cobertura pedológica, englobam manchas de Argissolo Vermelho-Amarelo e Latossolos Amarelos recobrimo as colinas e Gleissolos no fundo de vales.

Fotografia 6.28 – Interflúvios estreitos e “encaixados” entre as colinas, demonstrando grau de entalhamento forte



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Fotografia 6.29 – Afloramentos de rocha nos topos mais aguçados das colinas no setor oeste do município do Ipojuca



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Em um patamar altimétrico do que as feições anteriores, há as Colinas com topos arredondados e vales encaixados (Drv) que estão em uma cota altimétrica que varia de 93 metros a 153 metros. Abrangem uma área de 104,92 km², onde o relevo predominante é ondulado devido a uma litologia cristalina do Complexo Gnáissico-migmatítico, que é mais facilmente intemperizada do que as demais litologias do embasamento cristalino no município. Predominam os vales encaixados (Fotografia 6.30), com grau de entalhamento forte e declividade variante de 17° a 27° predominantemente, com declividade acima de 27° para os setores mais elevados. Ao contrário do compartimento anterior, essas colinas têm topos arredondados apesar de ainda apresentarem um grau de entalhamento forte e dimensões interfluviais que variam de pequena a muito pequena, onde ainda é possível encontrar alguns afloramentos sob a forma de blocos e matacões de menor dimensão que nas colinas identificadas anteriormente (Fotografia 6.31). O manto de intemperismo é bastante espesso e com grande concentração de argila, o que mostra o grande amadurecimento da cobertura pedológica, variando entre Latossolos Amarelos e Argissolo Vermelho-Amarelo e Amarelo.

Fotografia 6.30 – Colinas com topos arredondados e vales encaixados



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Fotografia 6.31 – Matações aflorando no topo das colinas e no destaque um dos matações bastante próximo das edificações



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

A terceira subunidade – Colinas com topos arredondados e vales côncavos (Dru) – apresenta abrangência total de 123,17 km² com altitudes variantes de cerca de 30 metros (setor sudeste do município), passando de colinas com 80 metros até chegar à altitude máxima de colinas com cerca de 150 metros. A declividade das vertentes é predominantemente variante de 11° a 17° com pontos com declividade até 27°. Os topos das colinas são arredondados com vales côncavos (Fotografia 6.32), com grau de entalhamento predominantemente forte, com alguns setores médios e dimensão interfluvial pequeno (variante de 250 a 750 metros). Essas colinas estão sob litologia predominantemente do embasamento cristalino, compostas por Biotita-granito, Quartzo-Sienítico e Complexo Gnáissico-migmatítico, onde ocorre cobertura pedológica bastante desenvolvida e intemperizada que variam entre Latossolos Amarelos, Argissolo Vermelho-Amarelo e Argissolo Amarelo. No setor sudeste do município, já próximo ao litoral e à divisa com o município de Sirinhaém, essas colinas passam a se formar por sedimentos da Formação Barreiras, dos conglomerados da Formação Algodoads e pequenas manchas riolíticas da Suíte Magmática Ipojuca. Assim, como as colinas assentadas sobre o embasamento cristalino, elas são formadas por manto de intemperismo argiloarenosos bastante espessos e bastante suscetíveis à erosão.

Fotografia 6.32 – Colinas representando os setores com vales côncavos e topos convexos



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Nessas três primeiras subunidades ocorrem manchas de Latossolos Amarelos, caracterizado pela elevada quantidade de concreções ferruginosas ao longo do perfil, com textura geralmente argilosa.

A última subunidade que engloba as Colinas com topos arredondados e vales abertos (Dra) tem uma área de 64,28 km², que se estende ao longo do litoral ao redor das planícies fluviais, com grau de entalhamento que varia de fraca (20 a 40 metros) a média (40 a 80 metros), formada, litologicamente, no setor nordeste do município (próximo ao Complexo Industrial Portuário de Suape), por conglomerados do embasamento cristalino da Formação Cabo e do Traquito da Suíte Magmática Ipojuca e por pequenas manchas dos conglomerados vulcânicos da Formação Algodoads. À medida que se desloca para o setor leste e sudeste do município, há a predominância litológica da Formação Algodoads e sedimentos da Formação Barreiras. As vertentes são predominantemente convexas com declividade de 11° a 17° de inclinação e com topos arredondados. Por ter canais hídricos permanentes, formam vales fluviais significativos ao longo das drenagens principais (Fotografia 6.33), porém se inserem em uma classe de dissecação muito fraca em razão do grau de entalhamento dos vales. Contudo têm dimensão interfluvial que varia de média a pequena. A cobertura pedológica nas colinas vai variar entre Argissolos Amarelos e Argissolos Vermelho-Amarelo, além de uma pequena porção de Nitossolo Vermelho na porção norte do município.

Fotografia 6.33 – Colinas com topos arredondados e vales abertos. Detalhe para o comportamento extenso dos vales entre as colinas



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Os segmentos de vertentes côncavas também funcionam como concentradores dos fluxos hídricos, nesses casos, em direção ao fundo dos vales em decorrência do escoamento superficial concentrado. Nas vertentes côncavas, em geral, os solos são bem desenvolvidos. Nas altas e médias vertentes, nos setores com maior declividade do terreno, os solos apresentam espessuras menores em relação às baixas vertentes. O escoamento superficial difuso e concentrado supera o escoamento subsuperficial e a infiltração em razão de sua morfologia.

Ao contrário das vertentes côncavas, as vertentes com elementos retilíneos e convexas apresentam-se como áreas de dispersão dos fluxos das águas pluviais e fluviais. Nessas morfologias, os processos de escoamento superficial difuso passando a concentrado são

predominantes em consequência das características morfológicas. Essas vertentes apresentam um manto de alteração espesso – no caso do município de Ipojuca, ocorre nas áreas de vales abertos. Na base de algumas vertentes convexas, observam-se os depósitos coluvionares que serão abordados a seguir.

b) Modelados de acumulação

b.1 Acumulação coluvial

A unidade das coberturas coluviais tem 6,57 km² da área do município e altitudes que variam entre 20 e 153 metros, e refere-se aos locais onde ocorre acúmulo/deposição dos sedimentos de origem coluvial e de tálus, que são originados das diversas colinas do município.

Predominantemente, têm vertentes convexas, levemente retilinizadas nas porções mais baixas, apresentando declividade média a baixa. Formam-se sobre essa unidade os Argissolos Vermelho-Amarelo e Argissolos Amarelos nas áreas mais próximas a encostas, além dos solos saturados hidricamente à medida que se aproximam dos cursos d'água, sejam os Gleissolos próximo às calhas dos rios e Solos de Mangue nas áreas de influência do manguezal.

A deposição do material sedimentar forma rampas suaves que recobrem o sopé das colinas, e interdigitam-se com as planícies fluviais (Fotografias 6.34 e 6.35). Por não ser possível o estabelecimento dos limites precisos entre as áreas coluviais e as planícies fluviais, essa unidade foi delimitada em uma área de transição com base em critérios topográficos, para demonstrar o limite aproximado entre essas unidades.

Fotografia 6.34 – Exemplo de rampa de colúvio próximo ao distrito de Camela, município do Ipojuca



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Fotografia 6.35 – Limite inferior da rampa de colúvio próximo ao distrito de Camela



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Do mesmo modo como ocorre nos modelados denudacionais, vale a pena destacar as características pedológicas das áreas de ocorrência dos colúvios, em que o Argissolo Vermelho-Amarelo apresenta textura média/argilosa, desenvolvida a partir do substrato cristalino e relevo suave ondulado a ondulado. No município, são solos extremamente profundos (espessura >150 cm) e bem drenados. A textura associada à declividade caracteriza essa e as unidades denudacionais do mapeamento geomorfológico com erodibilidade moderada a alta. O horizonte C é composto por rochas graníticas em diversos estágios de alteração.

c) Planície fluvial/fundo de vales

A unidade geomorfológica Planície Fluvial tem área total de 28,62 km², que varia de 5 a 10 metros. É formado por aluviões indiferenciados na porção mais central (areias, argilas, siltes e cascalhos) e por depósitos fluviais interconectados com os depósitos coluviais em áreas mais afastadas do leito do rio. Caracterizada por formas planas e/ou côncavas com declividade, são muito baixas, sempre inferiores a 7° e sujeitas a inundações ao longo da rede de drenagem (Fotografia 6.36). Os solos formados nessa unidade são predominantemente Gleissolos de textura média e argilosa e em áreas de transição com os manguezais, solos de mangue. Esses

solos relacionam-se com zonas que apresentam má drenagem (permeabilidade), favorecendo os processos de hidromorfismo.

Fotografia 6.36 – Planície fluvial do rio Ipojuca nas proximidades do distrito sede do município do Ipojuca



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Ainda nas unidades de acumulação fluvial, há a ocorrência de planícies isoladas e fundos de vale, responsáveis por ocupar 19,2 km² e por serem áreas de deposição de sedimentos fluviais em altitude variante entre 100 e 200 metros. Em alguns pontos mais elevados do município, ocorre o estreitamento abrupto dos vales fluviais, que são observados pelo leito rochoso dos rios. Os fundos de vale, propriamente ditos, são as áreas de convergência entre várias vertentes, responsáveis pela concentração do escoamento superficial e subsuperficial, sendo, portanto, áreas sujeitas a inundações (Figura 6.49).

Fotografia 6.37 – Exemplo de fundos de vale em áreas de colinas com topos arredondados e vales em côncavos



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

d) Plano aluvial

Essa unidade desenvolve-se simetricamente em relação ao canal e, lateralmente ao canal, com a ocorrência de diques marginais contínuos, com até 5 metros acima do nível do curso do rio. Ocupa uma área de cerca de 2 km² e é formada por cobertura pedológica de Gleissolos. O contato na parte proximal com os depósitos coluviais e colinas é bem marcado por uma superfície erosiva (Fotografia 6.38). A declividade da superfície é muito baixa, com o ângulo de mergulho em direção ao rio. O plano é predominantemente formado por areia fina maciça de coloração mais clara do que a cobertura superficial em razão da perda de argila e óxidos de ferro.

Fotografia 6.38 – Depósitos coluviais e colinas bem marcados por uma superfície erosiva



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

e) Acumulação fluviolagunar

Estes depósitos, também conhecidos como depósito lagunar-lacustre/fluviolagunar-lacustre, têm uma ligação direta com os depósitos lagunares, originado da ação fluvial em depressões, constituído de sedimentos arenossiltosos, frequentemente ricos em matéria orgânica. No município, ocupam uma área total de 12,3 km² e são influenciados pela ação direta das marés. Situam-se nas depressões da planície costeira em função das oscilações positivas e negativas do nível médio do mar e são caracterizadas por áreas de baixios alagados.

f) Terraços Marinhos Superiores

Ocorre em 19,86 km² do município e caracterizam-se por terrenos planos com distribuição descontínua ao longo do litoral, levemente inclinados, apresentando ruptura de declive em comparação com as áreas com influência direta das marés. Estão a uma altitude média de 5 metros e tem origem relacionada com o penúltimo evento transgressivo que ocorreu há cerca de 120.000 anos, alcançando um máximo de 8 a 10 metros acima do nível médio atual.

A cobertura pedológica é variante entre Neossolos Quartzarênicos e Espodossolos Hidromórficos e Solos de Mangue.

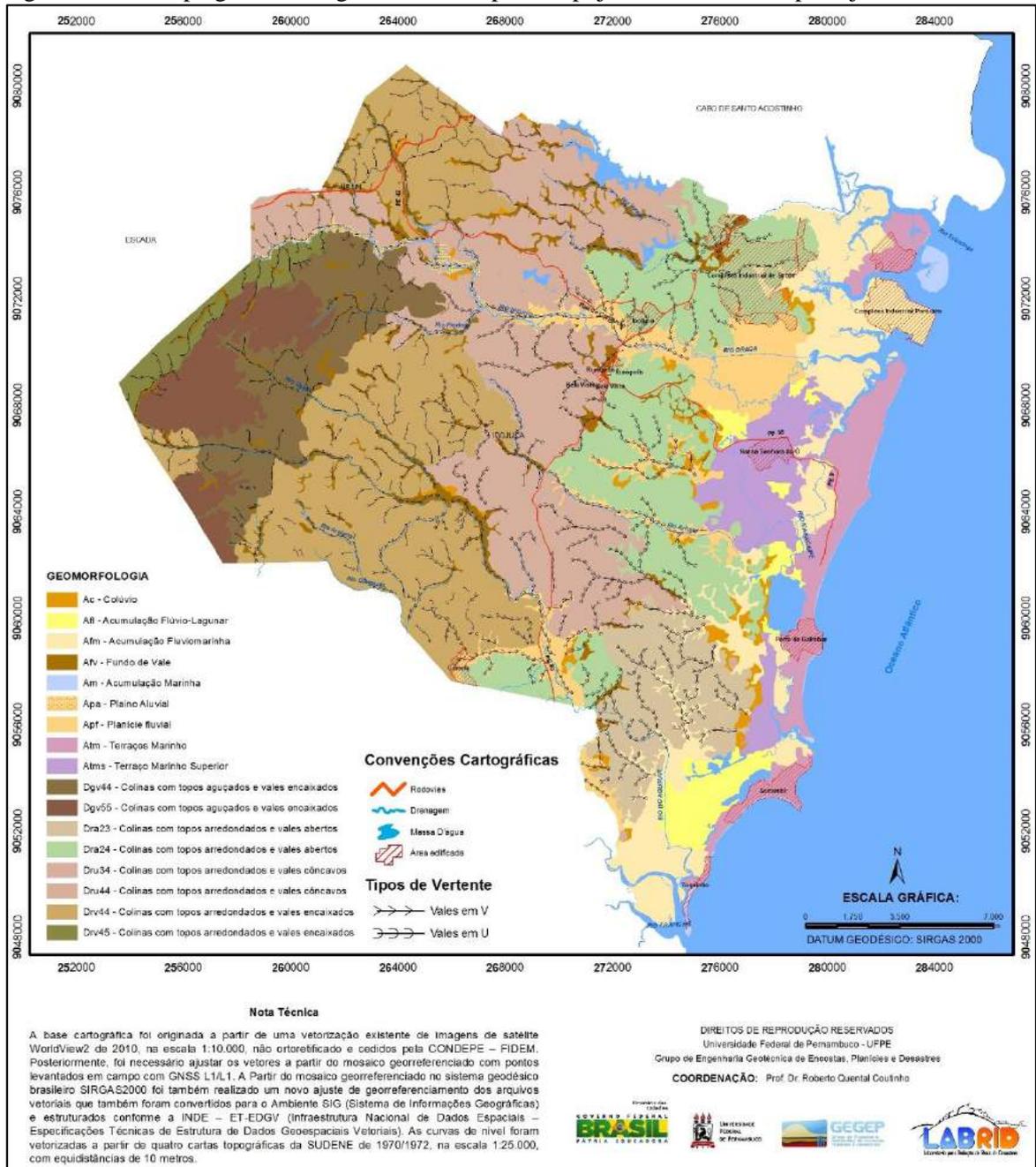
g) Terraços Marinhos Inferiores

Esse compartimento constitui-se de uma barreira arenosa situada ao longo da orla marítima em contato direto com a praia. Sua origem relaciona-se com a última transgressão marinha ocorrida há 5.100 anos, no Holoceno, em que o mar subiu cerca de cinco metros acima do nível do mar atual. Ocupa 23,35 km² do município de Ipojuca e é uma unidade mais rebaixada que a unidade anterior, contando com altitude máxima de 3 metros. Seus depósitos estão submetidos à erosão marinha constantemente. São formadas por Neossolos Marinhos, que são areias friáveis e pobres em materiais fossilíferos, de alta permeabilidade, com nível freático baixo, portanto suscetíveis à contaminação.

h) Acumulação fluviomarinha

Com área total de 45 km² do município de Ipojuca, localizada nas áreas de baixo curso dos principais rios que drenam o município, é uma unidade correspondente a uma combinação de processos deposicionais de origem fluvial e de origem marinha, controlados pela dinâmica das marés que avançam por boa parte do baixo curso dos rios. Os depósitos de origem fluviomarinha possibilitam a ocorrência de espécies típicas de manguezal, e correspondem à atual planície de marés. A Figura 6.17 ilustra o mapa de unidades geomorfológicas.

Figura 6.17 – Mapa geomorfológico do município do Ipojuca-PE, escala de planejamento



Fonte: Coutinho (2014).

6.7.3 Caracterização pedológica

Os estudos pedológicos, envolvendo mapeamento, gênese, morfologia e classificação pedológica trazem indicações sobre o perfil típico, peculiaridades dos horizontes diagnósticos subsuperficiais e superficiais, estrutura do solo (macroestrutura), cor, mecanismo e condição hidráulica de formação, material de origem, atividade das argilas, saturação por alumínio, por sódio e demais bases trocáveis, cátions ou íons predominantes, acidez (pH), salinidade e

condutividade elétrica, presença de material orgânico, fósforo assimilável, textura, pedregosidade, rochosidade, drenagem, profundidade do lençol freático, relevo, declividade, vegetação, clima, material de origem, espessura dos solos superficiais, presença de mineral expansivo, dispersividade das argilas, erodibilidade, grau de laterização, plasticidade, permeabilidade dos solos porosos, profundidade da rocha, seu detalhamento quando próxima à superfície, indicações para uso agrícola, etc.

Todas essas informações são utilizadas para a explicação da distribuição geográfica das unidades de mapeamento dos solos que estão presentes nos levantamentos pedológicos. Os levantamentos pedológicos, portanto, constituem-se em uma ferramenta importante nas análises geotécnicas dos potenciais de erosão, deslizamento, expansão, colapso e outros fenômenos do meio físico (AMORIM, 2004).

O mapeamento pedológico existente no município do Ipojuca foi desenvolvido na escala de 1:100.000 e faz parte do Zoneamento Agroecológico de Pernambuco – Zape (SILVA et al., 2001). Dessa forma, em uma tentativa de precisar melhor os limites entre as classes de solos do referido município, fizeram-se alguns exames morfológicos para subsidiar as informações da carta de aptidão à urbanização.

Para efetivação da caracterização pedológica dos solos do município do Ipojuca, fez-se um reconhecimento morfológico dos solos da área, em conformidade com o manual de descrição e coleta de solo no campo (SANTOS et al., 2005), e observando os procedimentos normativos de levantamentos pedológicos (EMBRAPA, 1995). A classificação taxonômica dos solos foi realizada conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006). O reconhecimento morfológicomorfológico foi realizado por meio de exames de solos percorrendo-se as estradas que davam acesso à área do município conforme em (MENESES et al., 2010).

Na área foram realizados 7 (sete) exames morfológicos de solos aproveitando os cortes de estradas e exposição de barreiras. Para todos os pontos foram coletadas amostras nos diferentes horizontes pedogenéticos, com destaque para o horizonte C, onde a proximidade com a rocha matriz inalterada e impermeável define os planos de rupturas dos deslizamentos. Foram também anotados as características de profundidade, textura (ao tato), impedimentos, drenagem, presença de pedras e cor, sendo esta última baseada na caderneta de Munsell (MUNSELL COLOR COMPANY, 1975). Além das informações ambientais (relevo, vegetação, uso da terra, pedregosidade, rochosidade e erosão) e as coordenadas dos pontos. Em outros locais, observaram-se as características apenas do horizonte mais representativo do

ponto de vista geotécnico. Os dados morfológicos foram armazenados em fichas de campo conforme a Figura 6.18.

Figura 6.18 – Modelo da ficha de descrição dos perfis dos solos utilizadas no reconhecimento das classes de solos mais representativos da área de estudo

PONTO 1935									
Coordenadas: 0272436/90695767 GPS: 605									
Pedregosidade: ausente									
Rochosidade: ausente									
Erosão: Laminar forte Relevo: Forte Ondulado									
Uso Atual: cana-de-açúcar									
ARGISSOLO VERMELHO- AMARELO		HORIZ	P R O F. (cm)	COR (UMIDA)	MOSQUEADO (ESTIMATIVA)				TEXTURA
					QUAN	TAM	CONT	COR (UMIDA)	
		Ap	0-10	7,5YR 3/3					Franco-arenosa+
		BA	10-50	7,5YR 4/4					argila-arenosa
		Bt1	50-80	5YR 4/3					Argila
		Bt2	80-115	2,5YR 4/4					Muito argilosa
		Bt4	115-200	2,5YR 4/6					Muito argilosa
		Bt5	200-260	2,5YR 4/6					Muito argilosa
OBSERVAÇÕES		1 - Impedimento:							
		2 - Drenagem:							
		3 - Outras: presença de rocha alterada dentro dos dois últimos horizontes. Sendo que o predomínio é solo. A rocha matriz aparentemente trata-se de um granito intrudido.							

Fonte: Elaboração do autor.

Os pontos examinados foram devidamente georreferenciados e ainda foram feitas fotos para compor o material iconográfico da descrição dos perfis e do local (Fotografia 6.39).

Depois do mapeamento morfológico dos solos no campo, como descrito anteriormente, foram escolhidas as áreas com os solos mais representativos para descrição e coleta de amostras dos diferentes horizontes, acondicionadas e etiquetadas em sacos plásticos para posterior realização de ensaios de caracterização geotécnica (Fotografia 6.40).

Fotografia 6.39 – Exemplo de perfil de solo, Ipojuca-PE



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Os solos amostrados na área de estudo foram submetidos a ensaios de laboratório, no qual foram executados ensaios para avaliação de parâmetros de comportamento geotécnico de interesse.

No escritório, os pontos de descrição dos perfis foram transformados em arquivo digital do tipo shapefile em que a cada ponto foram atribuídos os dados observados no campo.

Fotografia 6.40 – Coleta de amostras amolgadas de solos em diferentes horizontes



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

O mapa de unidades de mapeamento de solos foi elaborado a partir dos geodados do Zape na escala 1:100.000 (SILVA et al., 2001). Ressalte-se que o mapa de unidades de mapeamento apresenta para cada unidade associações de mais de uma classe de solos (Quadro 6.3).

Quadro 6.3 – Relação das unidades de mapeamento de solos e os solos componentes por unidade que ocorrem no município do Ipojuca

Unidades de Mapeamento	Solos Componentes
AM	Areias quartzosas marinhas (70%) + Espodossolo (30%)
AQ1	Areias Quartzosas
G1	Gleissolo (25%) + Cambissolo (25%) + Solos Aluviais (25%) + Argissolos Amarelos e Acinzentados (25%)
G2	Gleissolo (40%) + Cambissolo (30%) + Solos Aluviais (30%)
G5	Gleissolo (50%) + Espodossolo (50%)
Hp1	Espodossolo
LA8	Latossolo Amarelo (65%) + Argissolo Amarelo e Vermelho-Amarelo (35%)
LA9	Latossolo Amarelo (40%) + Argissolo Amarelo e Vermelho-Amarelo (40%) + Gleissolo e Cambissolo (20%)
PA3	Argissolo Amarelo e Vermelho-Amarelo (40%) + Latossolo Amarelo (25%) + Argissolo Acinzentado (20%) + Afloramentos rochosos (15%)
PA4	Argissolo Amarelo e Vermelho Amarelo (60%) + Argissolo Vermelho-Amarelo (40%)
PA6	Argissolo Amarelo (40%) + Argissolo Acinzentado (30%) + Gleissolo (30%)
PA7	Argissolo Amarelo e Vermelho-Amarelo (35%) + Argissolo Amarelo e Vermelho-Amarelo (25%) + Latossolo Amarelo (25%) + Gleissolo e Cambissolo (15%)
PV2	Argissolo Vermelho-Amarelo (50%) + Argissolo Vermelho-Amarelo (30%) + Cambissolo (20%)
PV3	Argissolo Vermelho-Amarelo (50%) + Cambissolo (25%) + Solo Litólicos (25%)
PV6	Argissolo Vermelho-Amarelo (50%) + Argissolo Amarelo (30%) + Argissolo Vermelho-Escuro (20%)
SM	Solos de Mangue
TR	Nitossolo

Fonte: Coutinho (2014).

Por conseguinte, em ordem de ocorrência, as principais Unidades de Solos presentes no município do Ipojuca são: LA9 (26%), SM (12%), PV3(11%), PA'4(10%), G2 (9%), G1 (6%), AM (4%) PV2 (4%) PA7 (3%), G5 (2%), PV6, HP1 e AQ1 com 1% de ocorrência na área do município e TR, PA6, LA8 e PA3 com menos de 1%. Sendo assim, o município do Ipojuca é composto, predominantemente, pela classe Argissolo, seguida por Latossolo, gerados pela alteração das rochas do embasamento cristalino na porção oeste do município, os Gleissolos

que são encontrados nos aluviões e os Nitossolos, encontrados em uma pequena área na porção nordeste do município.

Pela faixa litorânea, podem-se encontrar, como resultado da alteração dos sedimentos mais recentes, os Solos Indiscriminados de Mangue, os Neossolos Quartzarênicos e nas proximidades do Complexo Industrial Portuário podem ser observados os Espodossolos.

A seguir serão descritas as características pedológicas e geotécnicas dos solos. As informações geotécnicas apresadadas foram inferidas a partir da pedologia.

Argissolos

É uma classe composta por grande variedade de solos minerais, não hidromórficos, com uma significativa diferença de estrutura entre o horizonte superficial A (textura mais arenosa) e o de subsuperfície B textural (Bt), que geralmente ocorre bem diferenciado no perfil do solo. O horizonte B é concentrado em argilas e, em geral, apresenta cerosidade, isto é, película coloidal com aspecto brilhante quando úmido.

O horizonte Bt é bem heterogêneo com subhorizontes facilmente delimitáveis e estrutura, geralmente, em forma de blocos ou prismática.

Tratando-se das características geotécnicas, os Argissolos apresentam horizonte A relativamente espesso, em geral, essencialmente arenoso; textura do horizonte B, em geral, argilosa, e do horizonte C, variável em função da composição textural e mineral da rocha subjacente; o horizonte B apresenta moderada a baixa permeabilidade, baixa compressibilidade, expansividade nula a moderada, fácil a moderada escavabilidade, moderada a alta erodibilidade, moderada resistência ao desmoronamento, dependendo da quantidade e disposição de fendas abertas.

Esses solos apresentam alta suscetibilidade à erosão por ravinas e voçorocas por meio de pequenas concentrações de águas pluviais e/ou servidas.

As classes de Argissolos encontrados no município são os Argissolos Amarelo, Vermelho-Amarelo e os Acizentados.

Latossolos

São solos minerais não hidromórficos, em avançado estágio de intemperização, apresentando sequência de horizontes A-B-C com pouca diferenciação textural entre os horizontes A e B. O horizonte B é geralmente muito espesso, nunca inferior a 50 cm, com

estrutura, em geral, microagregada ou maciço-porosa. Raramente o horizonte C é observado dentro de uma profundidade de 2 metros.

A fração argila, com alto grau de flocculação, é constituída, predominantemente por óxidos de ferro (hematita, goetita), óxidos de alumínio (gibbsita) e argilominerais do grupo 1:1 (caolinita). O horizonte C é em geral espesso, refletindo as características texturais e mineralógicas do material de origem.

No município em estudo, ocorrem os Latossolos Amarelos, que têm horizonte B latossólico de coloração amarelada, fração argila, essencialmente caulinítica e, na grande maioria dos casos, baixos teores de óxidos de ferro.

Esses solos apresentam baixa erodibilidade. Entretanto, quando submetidos à concentração d'água proveniente da ocupação antrópica, podem desenvolver ravinas profundas, e quando interceptado o lençol freático, voçorocas. Fato que pode ser verificado em Ipojuca, já que a maior parte das áreas onde existe esse tipo de solo está ocupada pelo cultivo da cana-de-açúcar.

Gleissolos

São solos minerais hidromórficos com horizonte glei iniciando dentro de 50 cm da superfície do solo ou entre 50 e 125 cm desde que precedido por horizontes com presença de mosqueados abundantes com cores de redução. Compreendem solos mal e muito mal drenados, formados em terrenos baixos, e têm características que resultam da influência do excesso de umidade permanente ou temporária em consequência do lençol freático elevado ou mesmo à superfície durante um determinado período do ano.

A fração argila é de baixo grau de flocculação, podendo apresentar, entre seus constituintes, ilita, esmectita e camadas mistas, responsáveis por fenômenos de expansividade e contração.

Nitossolos

Solos profundos, predominantemente cauliníticos, geralmente bem drenados, constituídos por um material mineral com horizonte B nítico, textura argilosa ou muito argilosa, não hidromórficos, com estrutura em blocos subangulares ou angulares, ou prismática, de grau moderado ou forte, com cerosidade expressiva nas superfícies dos agregados e baixa permeabilidade.

Solos Indiscriminados de Mangue (SM)

Ocorrem no litoral do município do Ipojuca. São solos alomórficos muito pouco desenvolvidos, escuros e lamacentos, com alto conteúdo de sais provenientes da água do mar, formados em ambientes de mangues a partir de sedimentos recentes de natureza e granulometria variada, referidos ao Holoceno, em mistura com detritos orgânicos.

Apresentam lençol freático praticamente aflorante, alta compressibilidade e baixa resistência e são impróprios para a instalação de fossas e infiltração (SALOMÃO; ANTUNES, 1998). Os fatores de formação desses solos (relevo, clima e dinâmica das marés) influenciam diretamente no estabelecimento da vegetação de mangue (manguezais). É um ambiente de alta relevância para a preservação da fauna e flora, e é indispensável sua preservação para manutenção do equilíbrio ecológico desse ecossistema.

Neossolos Quartzarênicos

Anteriormente denominados de Areias Quartzosas, os Neossolos Quartzarênicos, podem ser encontrados no município do Ipojuca; na sua porção costeira, os Neossolos Quartzarênicos Marinhos (AM), e próximo ao Distrito de Nossa Senhora do Ó, os Neossolos Quartzarênicos (AQ1). São solos minerais, essencialmente arenoquartzosos, não hidromórficos ou hidromórficos sem contato lítico dentro de 50 cm de profundidade da superfície. Normalmente, são solos profundos a muito profundos, com textura areia ou areia franca ao longo de, pelo menos, uma profundidade de 150 cm da superfície ou até o contato lítico. São excessivamente drenados, desprovidos ou com baixo percentual (menos de 4%) de minerais primários facilmente intemperizáveis e de baixa capacidade de retenção de umidade.

Ocorrem em áreas de topografia suave, como planícies marinhas, fluviomarinhas e aluviais, como produto da pedogênese de sedimentos e em colinas, e morrotes como produto de alteração de rochas predominantemente quartzosas.

Como características geotécnicas importantes, esses solos apresentam lençol freático profundo, abaixo do horizonte C; textura arenosa tanto no horizonte A como no C; são impróprios para aterros compactados, a não ser quando misturados com material argiloso; horizontes A e C apresentam alta permeabilidade, baixa compressibilidade, expansividade nula, boa capacidade de carga e baixa escavabilidade.

Apresentam uma variável suscetibilidade à erosão em razão da declividade, baixa em planícies e alta em colinas e morrotes; sendo assim, pequenas concentrações de águas pluviais e/ou servidas podem provocar ravinas e, quando interceptado pelo lençol freático, voçorocas.

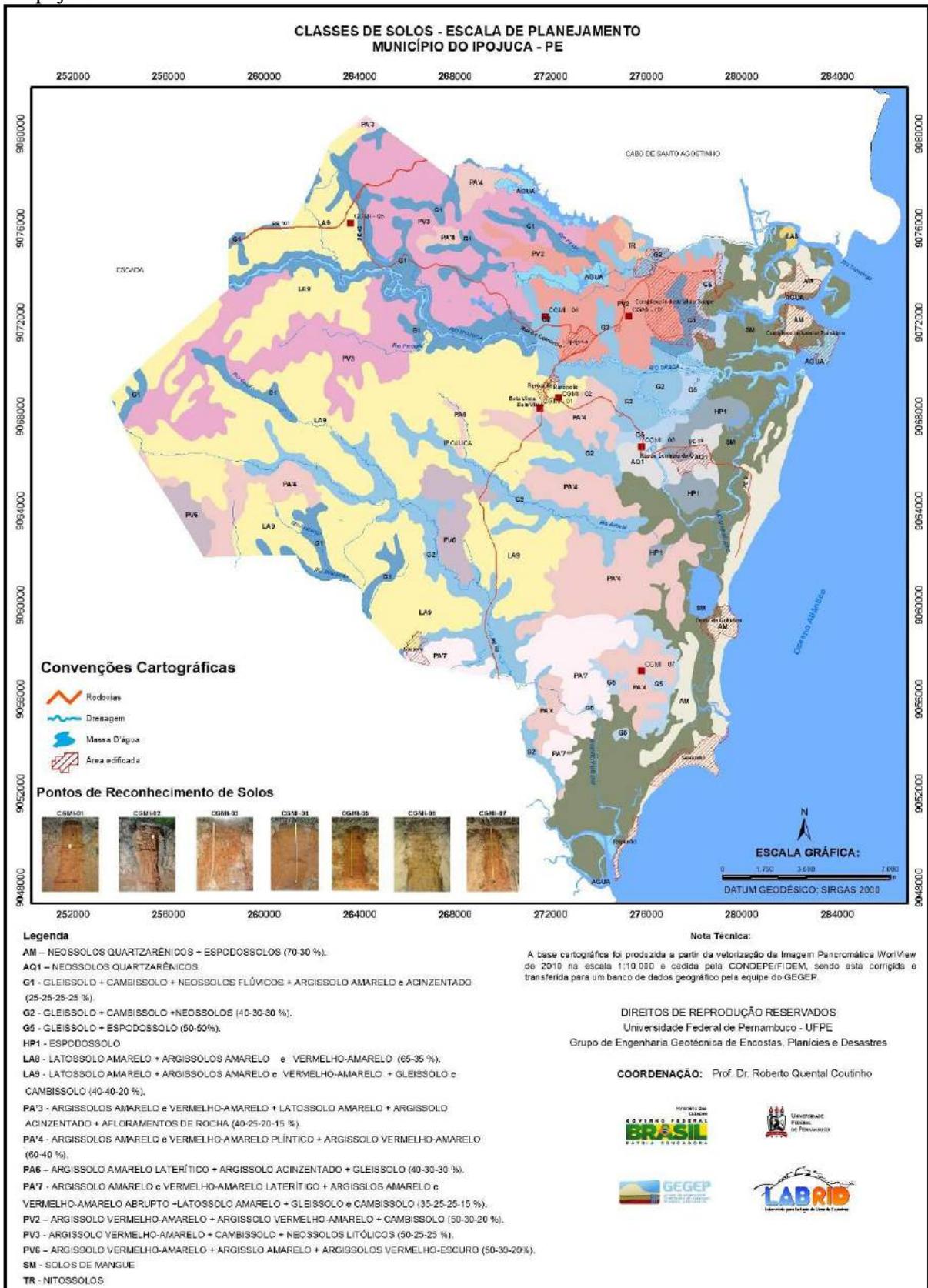
Espodossolos

Solos constituídos por material mineral com horizonte B espódico subjacente a horizonte eluvial E, ou subjacente a horizonte A. São originados dos sedimentos arenosos de origem marinha que formam os cordões litorâneos. Apresentam, usualmente, sequência de horizontes A, E, B espódico, C, com nítida diferenciação de horizontes. São solos transportados, de alta permeabilidade, muito suscetíveis à erosão, com granulometria predominantemente arenosa.

Como características geotécnicas importantes, são solos com lençol freático próximo à superfície, com aspecto ferruginoso e/ou contaminado por compostos orgânicos; horizontes A e E essencialmente arenosos; horizonte Bs fortemente cimentado por compostos de ferro, constituindo uma camada mais resistente do que os compostos suprajacentes e subjacentes, interferindo na drenagem desses solos; tornam-se impróprios para a instalação de fossas de infiltração, quando ocorrem em áreas onde o lençol localiza-se próximo à superfície do terreno.

A distribuição dos pontos de reconhecimento morfológico de solo e as das Unidades de Mapeamento de Solos no município do Ipojuca pode ser visualizada na Figura 6.19.

Figura 6.19 – Mapa da distribuição dos pontos de reconhecimento morfológico de solos do município do Ipojuca



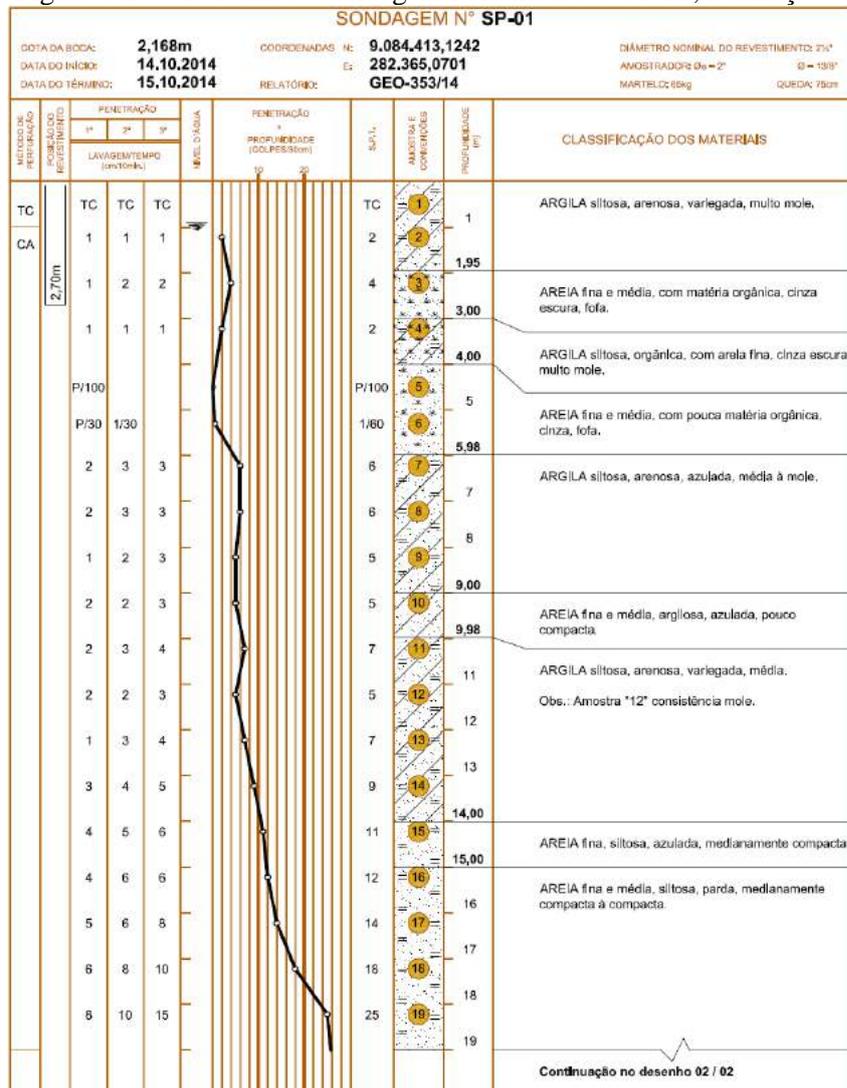
Fonte: Coutinho (2014) adaptado de Silva et al. (2001).

6.8 CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DA ÁREA DE ESTUDO

6.8.1 Sondagem SPT

Com o objetivo de caracterizar geotecnicamente a área de estudo, buscou-se adquirir resultados de ensaios que estivessem disponíveis em empresas do ramo, prefeituras e pelos órgãos governamentais do estado de Pernambuco. Pelo fato de ser amplamente difundida e realizada, pela sondagem Standard Penetration Test (SPT) é que se obtêm dados mais facilmente e em maior número, sendo este, portanto, o que foi pesquisado em um primeiro momento. Com essa finalidade, reuniu-se um conjunto de mais de 500 boletins de sondagens, as quais estavam disponíveis em papel e digital para consulta. A Figura 6.20 ilustra um exemplo de boletim de sondagem.

Figura 6.20 – Boletim de Sondagem Pertencente a UT 12, Formação Cabo

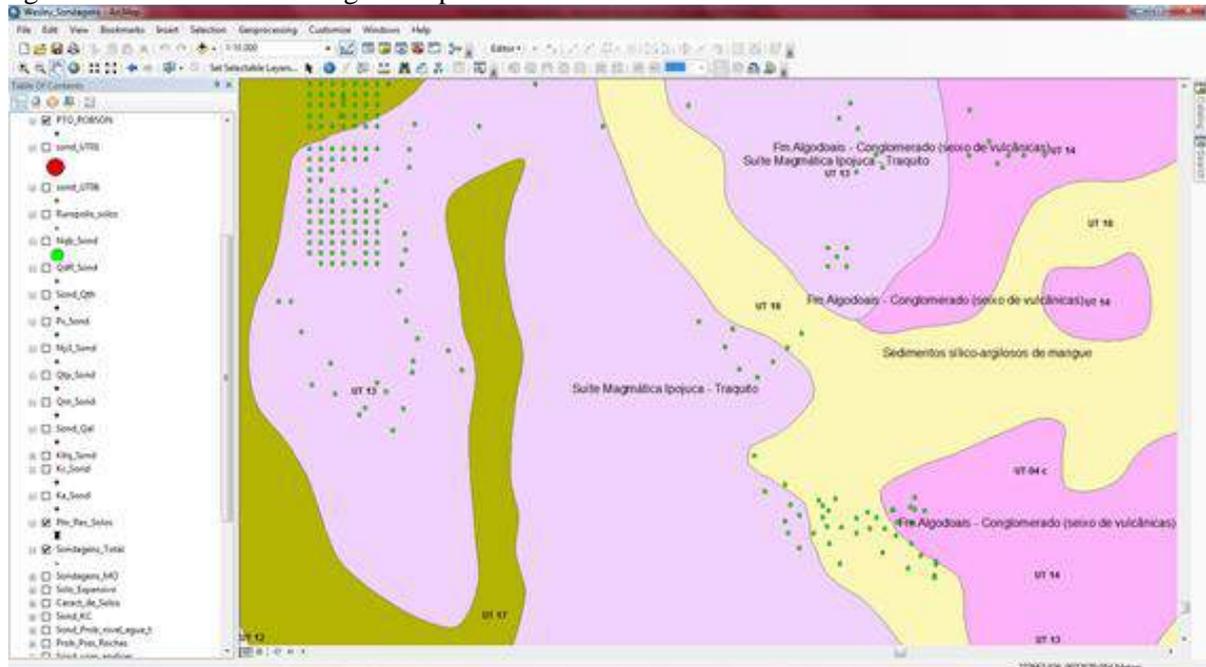


Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

As sondagens de simples reconhecimento (SPT) podem fornecer várias informações de subsuperfície como descrição táctil visual (textura e cor), índice de resistência à penetração, espessura dos materiais inconsolidados, nível d'água, e são de grande importância para a elaboração do mapeamento geotécnico. Com as sondagens, é possível definir as propriedades dos materiais ao longo da linha de perfuração, descrevendo os testemunhos, as variações litológicas e as características geotécnicas.

Para fazer uso dessas informações, elaborou-se uma tabela no banco de dados, com a inserção, de forma manual, de cada furo. Cada sondagem foi descrita metro a metro, com a sua coordenada geográfica, o valor de N_{SPT} , descrição abreviada de todas as camadas, as diferentes camadas de solo, a posição do nível d'água (se houver), dentre outras informações. Na Figura 6.21, mostra-se um exemplo da disposição desses dados.

Figura 6.21 – Furos de sondagens disponibilizados no ArcGIS



Fonte: O autor.

Os resultados foram agrupados em ambiente SIG integrando um banco de dados geotécnico espacial. Por meio da observação dessas sondagens, foram obtidas informações acerca, principalmente, da textura, espessura dos materiais inconsolidados, do nível do lençol freático e do índice de resistência à penetração.

Os dados existentes de SPT melhoraram a qualidade da definição das unidades, favorecendo, assim, o aspecto quantitativo da amostragem por unidade de área. Cabe ressaltar que pode haver uma pequena variação nos resultados das sondagens devido à mudança do corpo

técnico e, eventualmente, alguma diferença de procedimento ou equipamento, uma vez que os dados foram fornecidos por quatro empresas distintas.

6.8.2 Ensaios de caracterização geotécnica

Os ensaios de caracterização física dos solos, para a avaliação do comportamento potencial dos materiais inconsolidados, realizaram-se no Laboratório de Mecânica dos Solos da UFPE de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). As análises e ensaios de laboratório desta pesquisa realizaram-se com base em amostras coletadas nos trabalhos de campo.

Para a realização dos ensaios clássicos de caracterização geotécnica – análise granulométrica, limites de Atterberg e densidade dos grãos –, coletaram-se amostras deformadas, preparadas para os ensaios de acordo com a Norma Brasileira (NBR) 6457/86 da ABNT (1986): Amostras de solo: preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.

A análise granulométrica por peneiramento e sedimentação dos solos realizou-se de acordo com a ABNT (1984a), NBR 7181/84: Solo: análise granulométrica. Os resultados são expressos em função da escala granulométrica da ABNT (1995) dada pela NBR 6502/95, rochas e solos.

Os ensaios de limites de Atterberg: limite de liquidez e limite de plasticidade, realizaram-se de acordo com as especificações da ABNT (1984b), NBR 6459/84 (Solo – Determinação do limite de liquidez) e ABNT (1984c), NBR 7180/84 (Solo – Determinação do limite de plasticidade).

A determinação da massa específica real dos grãos realizou-se pelo método do picnômetro, conforme a norma ABNT (1984d) NBR 6508/84 (Grãos de solo que passam pela peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica).

Uma vez terminada a etapa de verificação das informações obtidas nos ensaios, foram inseridos no SIG, com o objetivo de complementar as informações de interesse para a avaliação do comportamento dos identificados na área de estudo diante da implantação de obras civis urbanas.

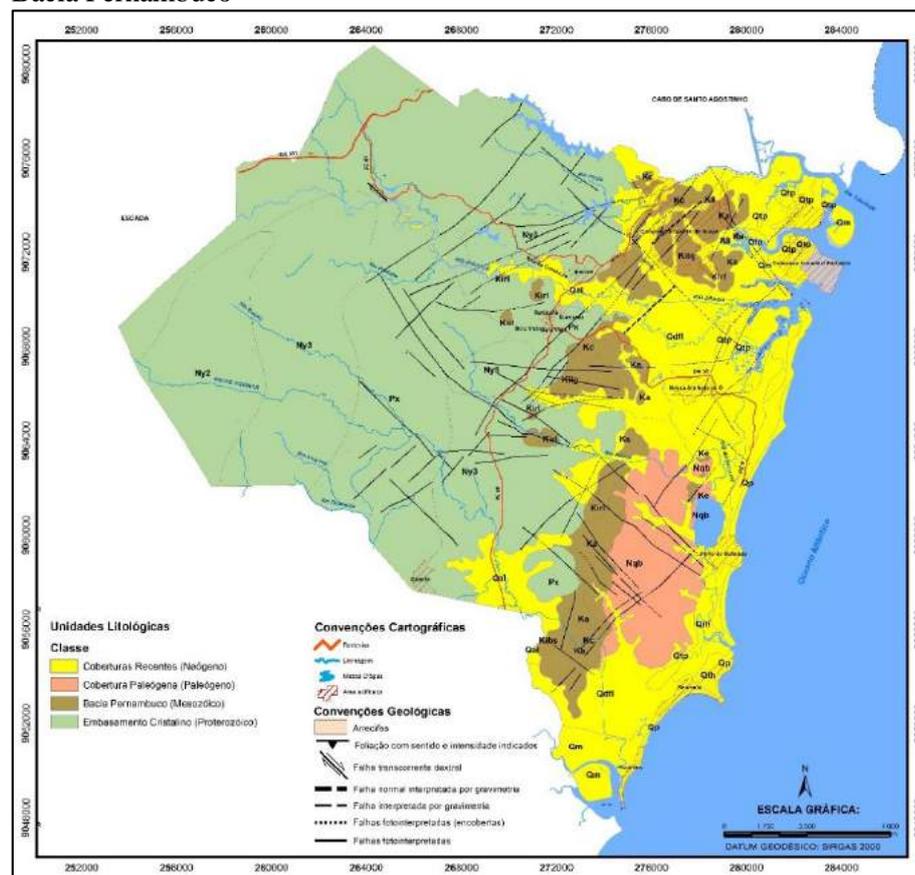
6.9 MAPA DAS UNIDADES DE TERRENO (UT)

Após a criação dos mapas básicos, realizaram-se os cruzamentos e as sobreposições de informações dos mapas geológico, geomorfológico e pedológico para a definição das UT com trabalhos de campo, investigações geotécnicas para os devidos ajustes; seguindo a metodologia do Gegep-UFPE conforme a Figura 4.4 na seção 4.5.

Nas áreas do Embasamento Cristalino, oeste do município, onde os processos morfogenéticos estão fortemente relacionados com o solo residual, apresentando declividades mais acentuadas e vertentes que podem favorecer a ocorrência de movimento de massa, a delimitação das Unidades de Terreno define-se por meio dos dados geomorfológicos (Figura 6.22).

Nas áreas da Bacia Pernambuco, leste do município, no qual encontramos baixa declividade e vertentes com baixo potencial de movimento de massa, onde os processos morfogenéticos estão fortemente relacionados com as estruturas e mineralogia das rochas, a delimitação das UT ocorre em função dos dados geológicos.

Figura 6.22 – Contextos geológicos distintos, a oeste o Embasamento Cristalino e a leste a Bacia Pernambuco



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Para cada UT são descritas as formas de relevo predominantes extraídas do Mapa Geomorfológico com informações morfométricas, tais como formas de encostas (Mapa de Formas de Vertentes); cotas altimétricas (curvas de nível); amplitude de relevo (Mapa Geomorfológico) e classes de declividade (Mapa de Declividade); informações sobre a descrição da litologia com textura e estrutura da rocha (Mapa Geológico) e informações pedológicas como classes de solos, textura, profundidade, atividade das argilas (Mapa Pedológico).

Avaliação dos mapas de geomorfologia e geologia para identificar qual feição foi considerada na delimitação da Unidade de Terreno por meio da discussão científica envolvendo as equipes para determinar qual feição estaria mais fortemente relacionada com os processos morfogenéticos.

A partir de então, realizou-se o cruzamento dos mapas mediante análises topológicas no software ArcGIS 10.1.

A etapa seguinte consistiu na composição da tabela de atributos das Unidades de Terreno. Para compor a tabela de atributos das feições (UT), extraíram-se as informações através de análises topológicas (clip), classificação e cálculos de percentuais sobre:

- as formas de relevo predominantes extraídas do Mapa Geomorfológico com informações morfométricas, tais como formas de encostas (Mapa de Formas de Vertentes); cotas altimétricas (curvas de nível); amplitude de relevo (Mapa Geomorfológico) e classes de declividade (Mapa de Declividade);
- informações sobre a descrição da litologia com textura e estrutura da rocha (Mapa Geológico);
- informações pedológicas como classes de solos, textura, profundidade, atividade das argilas (Mapa Pedológico);
- banco de dados de sondagens com as seguintes informações: o valor de NSPT, descrição abreviada de todas camadas, as diferentes camadas de solo, a posição do nível d'água (se houver), dentre outras informações;
- resultados dos ensaios de caracterização geotécnica dos solos coletados e georeferenciados.

Após todos os processos de edições, cruzamentos e classificações, ajustes das unidades por meio de trabalhos de campo e investigações geotécnicas, o mapa de UTs ficou disponível no ArcGIS 10.1.

6.10 MAPAS TEMÁTICOS

Além dos mapas básicos, foram usados mapas complementares aqui denominados de mapas temáticos (uso e ocupação da terra, zonas de proteção ambiental e mapa de zoneamento para exploração de agregados para a construção civil). Esses mapas foram construídos no SIG para que, posteriormente, suas unidades pudessem ser integradas ao mapa de unidades de terreno para subsidiar a produção da Carta de Aptidão à Urbanização do município, conforme metodologia apresentada no Quadro 4.4, seção 4.5.

6.10.1 Mapa de uso e ocupação da terra

O mapa de uso e ocupação do solo procura representar a forma como o espaço está sendo ocupado pelas diversas atividades desenvolvidas pelo homem. O conhecimento das características da ocupação de um determinado uso como um dos fatores condicionantes do perigo e da vulnerabilidade é fundamental nas avaliações de risco e limitações do uso da terra para determinados fins (FUJIMOTO et al. 1996; HOLL; VEDOVELLO; SILVA, 2001; ROSSINI-PENTEADO; FERREIRA; GIBERTI, 2007).

O tema uso do solo inclui informações sobre todo tipo de uso e cobertura encontrados na área estudada. Aparecem, geralmente, três grandes classes nesse tipo de mapeamento: zonas urbanas, zonas agrícolas e áreas de vegetação natural. O grau de detalhamento, no interior de cada uma dessas classes, varia conforme a escala de trabalho e os fins para os quais o levantamento foi realizado. Zonas urbanas, em geral, têm uma série de outros mapas e informações complementares, como rede viária, zoneamento de usos do solo urbano (comercial, residencial, mista, industrial e institucional), parques e praças.

O histórico da ocupação da área a ser zoneada, ou seja, a evolução em termos de uso da terra tem de ser cuidadosamente considerada, pois as atividades humanas podem alterar o ambiente de instabilidade da encosta e modificar a suscetibilidade e a probabilidade de ocorrência dos processos de encosta, tanto os intensificando ou diminuindo a frequência (FELL et al., 2008).

A dinâmica da ocupação no município do Ipojuca foi avaliada com uma análise histórica por meio de pesquisa bibliográfica e a utilização de imagens de satélite de alta resolução, procurando identificar os tipos de uso e as formas de ocupação do município, influenciado ora pela monocultura da cana-de-açúcar, ora pela expansão do Complexo Industrial Portuário de Suape.

Procurou-se analisar, também, o Plano Diretor do município do Ipojuca e outras leis ligadas ao ordenamento territorial, que contemplem em seus conteúdos sugestões para minimizar o risco a processos do meio físico. O uso e a cobertura da terra influenciam direta ou indiretamente no desencadeamento ou prevenção de processos erosivos e de movimentos gravitacionais de massa, sendo aquela uma variável importante a ser utilizada na análise da suscetibilidade a tais processos. Por isso, elaboraram-se mapas de uso e cobertura da terra para o município do Ipojuca nas escalas 1:25.000 com o objetivo de verificar quanto as formas de uso da terra agravam os processos morfodinâmicos na área estudada.

Para a produção do mapa de uso e ocupação da terra do município de Ipojuca, realizou-se a interpretação e vetorização das imagens WorldView 2010 e QuickBird 2006, que foram transportadas para o software ArcGis 10.1, e a aplicação da classificação das unidades do manual técnico de uso da terra do IBGE (2013).

Posteriormente, a realização de campo permitiu melhor averiguação e definição entre os limites das classes encontradas, que, para a escala 1:25.000, as menores feições mapeadas foram de 5 metros. Determinaram-se, então, dez classes de uso para o município do Ipojuca, a saber: Áreas Industriais, Comerciais ou Transporte, Áreas Urbanizadas, Corpos d'Água, Culturas Permanentes, Culturas Temporárias (cana-de-açúcar), Espaços abertos com pouca ou nenhuma cobertura, Florestas, Mineração e Terras Úmidas Interiores (mangue).

Os procedimentos metodológicos para a elaboração do mapa de uso da terra na escala 1:25.000 seguiram a metodologia do IBGE (2013), procurando atender ao terceiro nível das classes de uso. Todavia, para melhorar a compreensão da área, foi necessário modificar algumas classes para a realidade do município e para atender aos objetivos do trabalho, propondo, assim, uma nova classificação.

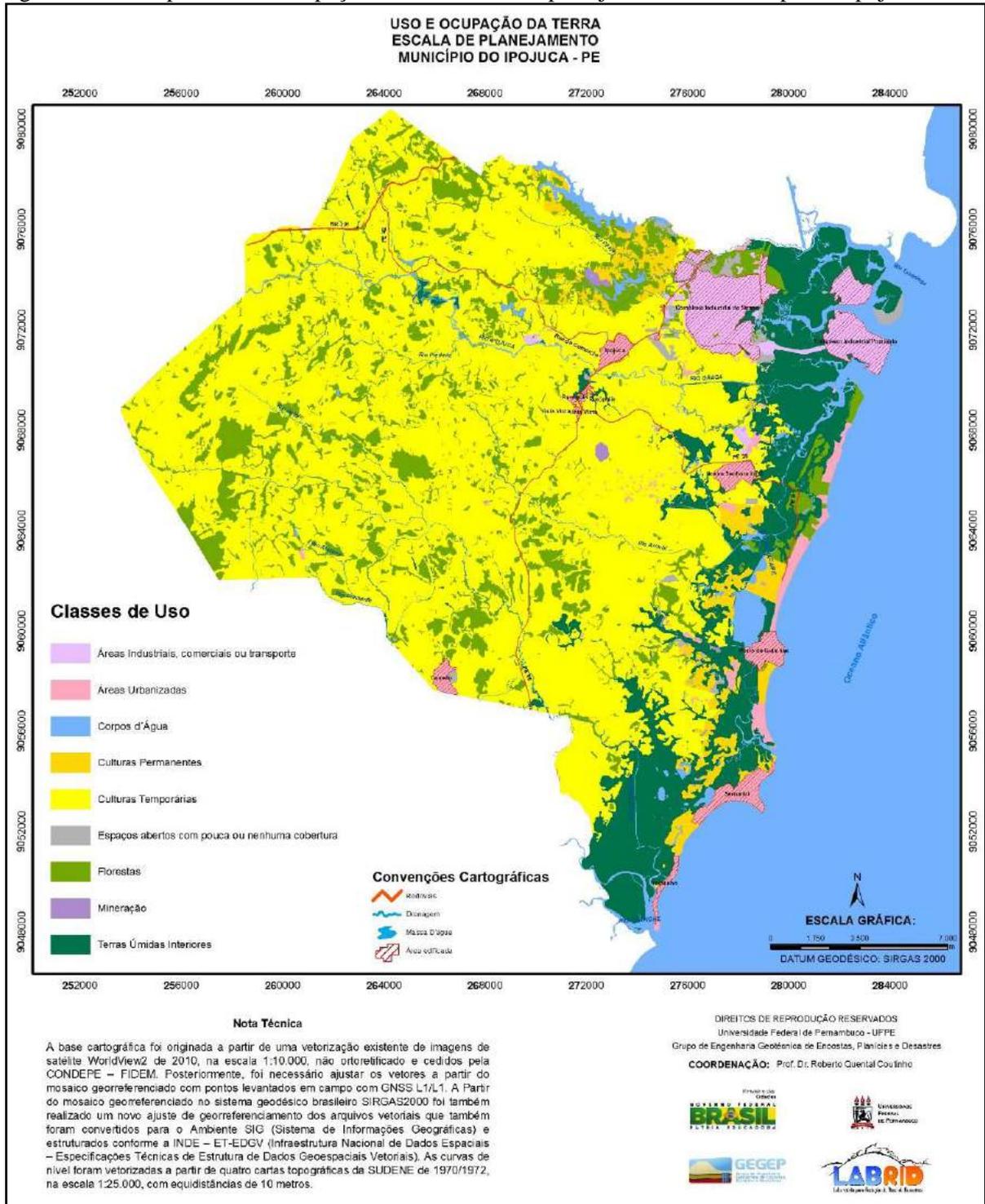
A Figura 6.23 apresenta a carta de uso e ocupação do município. Como se observa na figura, diferenciam-se as seguintes unidades:

Áreas Industriais comerciais ou transporte, que incluem as unidades industriais e comerciais; as redes viárias, ferrovias e espaços associados concentram-se no extremo nordeste do município e ocupam 17 km², correspondente a 3% da região. Estão vinculadas às usinas de cana-de-açúcar, estabelecimento de ensino e pesquisa e, principalmente, com relação ao Complexo Industrial Portuário de Suape.

As Áreas Urbanizadas, considerando a área urbana contínua (centros urbanos) e descontínua (habitações unifamiliares e assentamentos informais) ocupam 13 km² (2%). Os centros urbanos representam-se por espaços compostos pelos núcleos urbanos dos distritos de Ipojuca Sede, Nossa Senhora do Ó e Camela, pelas áreas urbanizadas das praias de Porto de

Galinhas, Serrambi e Toquinho e por loteamentos na orla entre essas praias. Os assentamentos informais representam-se pelas Zeis de Rurópolis e Bela Vista e por pequenas áreas ao longo das rodovias. As habitações unifamiliares representam alguns pequenos vilarejos próximos aos engenhos de cana-de-açúcar.

Figura 6.23 – Mapa de uso e ocupação da terra escala de planejamento do município do Ipojuca-PE



Fonte: Coutinho (2014).

Os Corpos d'Água, concentrados principalmente no litoral, representam 16 km² (3%) da área, e neles estão inclusos os reservatórios, como as represas, diques e barragens, além dos rios, lagos e lagoas.

As Culturas Permanentes incluem o cultivo de frutas, que pode ser representado pelos coqueirais, representam 16 km² (3%), com maior concentração no litoral e extremo norte do município. As Culturas Temporárias estão representadas pela cana-de-açúcar, que correspondem a 316 km² (60%) do município.

As áreas ocupadas por espaços abertos, com pouca ou nenhuma cobertura, englobam as áreas de solo exposto (solo exposto para construção, solo exposto por erosão e praias), ocupam 5 km² (1%) do município. Apresentam-se espalhadas por todo o município, mas há uma predominância na porção norte das áreas de solo exposto para construção nas proximidades do Complexo Industrial Portuário de Suape e na porção sudeste nas áreas ocupadas pelas formações Algoduais e Barreiras.

As áreas de Florestas compostas pelas Formações Florestais (Mata, Mata Ciliar e Restinga) ocupam 68 km², 13% da área do município. As matas (resquícios de mata atlântica) e matas ciliares encontram-se espalhadas pelo município em pequenas porções entre as áreas de cana-de-açúcar.

No município do Ipojuca, existem pontos importantes de extração a “céu aberto”. Áreas consideradas como área de empréstimo de argila, uma mina de Ignibrito, a qual é propriedade do Grupo João Santos, outras minas de agregados (pedra britada, areia e saibro).

As Terras Úmidas (Mangues) ainda ocupam uma área expressiva (73 km²/14%) na porção leste do município, áreas consideradas de preservação permanente, principalmente a porção sul do município formada pela Zona Especial de Proteção Integral (Zepi) composta pela APA de Sirinhaém e Maracaípe e a RPPN de Nossa Senhora do Oiteiro. Outra área expressiva localiza-se na porção norte onde se situa o Complexo Industrial Portuário de Suape.

O Quadro 6.4 apresenta as classes de uso trabalhadas na escala 1:25.000 referente ao nível III e sua relação com os demais níveis de uso.

Quadro 6.4 – Relação das classes de uso da terra para a escala de planejamento, 1:25.000

Nível I	Nível II	Nível III	Nível IV
1. Áreas Antrópicas Não Agrícolas (IBGE)	11. Áreas Urbanizadas	111. Área Urbana Contínua	1111. Centros Urbanos
		112. Área Urbana Descontínua	1121. Habitações Unifamiliares 1122. Aglomerados Subormais
	12. Áreas Industriais, comerciais ou transporte	121. Unidades Industriais e Comerciais	1211. Complexo Industrial 1212. Área Comercial 1213. Usina de Cana de Açúcar 1214. Estabelecimentos de Ensino e Pesquisa
		122. Redes Viárias Ferroviárias e espaços associados	1221. Estradas
	13. Mineração	132. Área de Extração Mineral	1321. Extração a céu aberto
	14. Espaços Abertos com Pouca ou Nenhuma Cobertura	141. Solo Exposto	1411. Solo exposto para construção 1412. Solo exposto por erosão 1413. Praia
2. Áreas Antrópicas Agrícolas	21. Culturas Temporárias	211. Cultivo de Cana de Açúcar	2111. Cana de açúcar
		212. Cultivo de Horticultura	2121. Cultivos de horticultura
	22. Culturas Permanentes	221. Cultivo de Frutas	2211. Coqueiral
23. Cultivos Diversificados	231 Cultivos diversificados	2311. Cultivos diversificados	
3. Áreas de Vegetação Natural	31. Florestas	312. Formações Florestais	3111. Mata 3112. Mata ciliar 3113. Restinga
4. Água	41. Corpos d'água continental	412. Corpos d'água	4121. Corpos d'água
5. Terras Úmidas	51. Terras Úmidas Interiores e Costeiras	511. Arbóreo	5111. Mangue
		512. Arbustivo Herbáceo	5211. Áreas alagadas

Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

6.10.2 Mapa de zonas de proteção ambiental

A elaboração do mapa de zonas de proteção ambiental do município tomou como referência a legislação ambiental federal, estadual e municipal. Inicialmente, reuniram-se as leis ambientais, resoluções e portarias, no âmbito federal, estadual e municipal, diretamente relacionadas com as áreas de preservação de mananciais, Área de Proteção Ambiental (APA),

Área de Preservação Permanente (APP), Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN), Zona Especial de Proteção Integral (Zepi), Estação Ecológica (Esec) e/ou outras áreas que possam ser protegidas por lei. Resgataram-se os mapeamentos oficiais existentes na área com os órgãos competentes, para obtenção de dados georreferenciados que comporão o mapa, e procurou-se obter dados da hidrografia do município, validados e atualizados na escala do projeto. Dentre as leis pesquisadas nesta etapa, estão:

1. Para os cursos d'água que tenham menos de 10 m de largura, cria-se um buffer de APP para margem de 30 m do rio conforme as leis a seguir: Lei n.º 7.803, de 18 de julho de 1989 (BRASIL, 1989). Lei n.º 12.651, Novo Código Florestal, de 25 de maio de 2012, artigo 4.º, Capítulo I (BRASIL, 2012d).
2. Para os cursos d'água que tenham entre 10 e 50 m de largura, cria-se um buffer de APP para margem de 50 m do rio conforme as leis a seguir: Área de Preservação Permanente (APP) definidas pela Lei Federal n.º 4.771, de 5 de setembro de 1965, Código Florestal (BRASIL, 1965), Lei n.º 7.803, de 18 de julho de 1989. Novo Código Florestal, Lei n.º 12.651, de 25 de maio de 2012, artigo 4.º, Capítulo I.
3. Ao redor dos lagos e lagoas, são aplicadas a Lei Federal n.º 4.771, de 5 de setembro de 1965 (Código Florestal), o Novo Código Florestal, Lei n.º 12.651, de 25 de maio de 2012, artigo 4.º, Capítulo I.
4. Às áreas alagadas, aplicam-se a Lei Federal n.º 4.771, de 5 de setembro de 1965 (Código Florestal), o Novo Código Florestal, Lei n.º 12.651, de 25 de maio de 2012, artigo 4.º, Capítulo I.
5. Para a área de proteção de mananciais, utilizaram-se os dados do mapeamento de Área de Proteção de Mananciais da região metropolitana do Recife, realizado pela Condepe/Fidem com base na Lei n.º 9.860 de 12 de agosto de 1986 (PERNAMBUCO, 1986a).
6. Nos manguezais, utilizaram-se os dados georreferenciados da Base Cartográfica Cadastro de Áreas Comprometidas com Intervenções (Caci) do Território Estratégico de Suape (TES), Escala 1:10.000, Agência Condepe/Fidem, 2012, com base no Novo Código Florestal, Lei n.º 12.651, de 25 de maio de 2012, artigo 4, Capítulo XIII (BRASIL, 2012d); define Manguezal como ecossistema litorâneo que ocorre em terrenos baixos, sujeitos à ação das marés, formado por vasas lodosas recentes ou arenosas, às quais se associa, predominantemente, a vegetação natural conhecida como mangue, com influência fluviomarinha, típica de solos limosos de

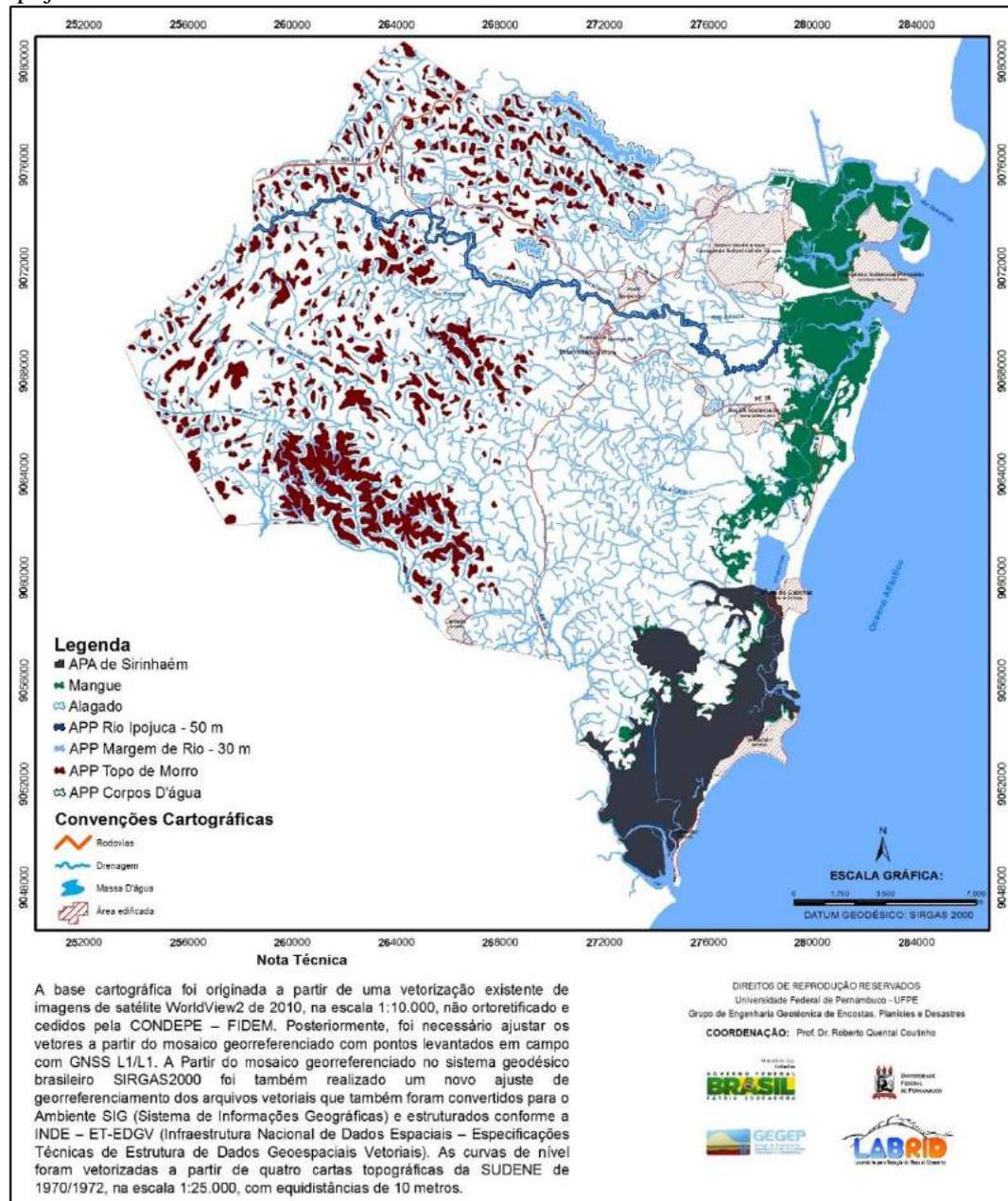
regiões estuarinas e com dispersão descontínua ao longo da costa brasileira, entre os Estados do Amapá e de Santa Catarina.

7. Nas áreas de topo de morro, a partir do MDT e do mapa de declividade Novo Código Florestal - IX - no topo de morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100 (cem) metros e inclinação média maior que 25° as áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 (dois terços) da altura mínima da elevação sempre em relação à base, sendo esta definida pelo plano horizontal determinado por planície ou espelho d'água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota do ponto de sela mais próximo da elevação; Resolução CONAMA 2002- “Art. 30 Constitui Área de preservação permanente a área situada: [...] V – no topo de morros e montanhas, em áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a dois terços da altura mínima da elevação em relação a base.”
8. A margem esquerda da linha de costa 33 m – proíbe-se construção fixa ou equipamento permanente na faixa de praia, medida a partir da linha máxima de preamar (33 m em direção ao continente). Decreto Estadual n.º 21.972 de 29 de dezembro de 1999 (PERNAMBUCO, 1999). Zoneamento Ecológico Econômico Costeiro (ZEEC) do litoral sul de Pernambuco, em sua Seção IV, subseção II (Da Zona de Turismo, Veraneio e Lazer), parágrafo 3º.
9. O Plano diretor do município do Ipojuca – Prefeitura, Lei n.º 1490, de 30 de junho de 2008, por meio do Memorial descritivo define a Zona Especial de Proteção Integral (Zepi) n.º 1.
10. A Reserva Nacional de Patrimônio Natural Nossa Senhora do Outeiro, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) – Portaria n.º 58 de 29 de setembro de 2000 (BRASIL, 2000).
11. A APA dos rios Sirinhaém-Maracaípe está definida pela Lei n.º 9.931 de 11 de dezembro de 1986 (PERNAMBUCO, 1986b).
12. A Esec de Bitá e Utinga, localizada nos municípios do Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca, estado de Pernambuco, totaliza uma área de 2.467,1 ha (dois mil quatrocentos e sessenta e sete hectares e um are), conforme Memorial Descritivo e delimitação geográfica contidas no Decreto. A criação de que trata o artigo 1.º tem por objetivos: contribuir para a preservação e a restauração da diversidade ecológica do Bioma Mata Atlântica; contribuir para a conservação dos recursos hídricos; proteger as espécies endêmicas, raras e ameaçadas de extinção; promover e apoiar atividades de pesquisas, estudos e monitoramento ambiental; favorecer condições

e promover atividades ecopedagógicas; e incentivar ações de recuperação das áreas degradadas. Decreto Estadual n.º 38.261 de 5 de junho de 2012 (PERNAMBUCO, 2012).

Esses dados são representados de forma sintética de modo que permita uma visualização conjunta dos diferentes tipos de informações das zonas de proteção ambiental. Na Figura 6.24, o mapa de zonas de proteção ambiental apresentando as áreas que têm restrições ambientais, garantidas por lei.

Figura 6.24 – Mapa apresentando as zonas de proteção ambiental identificadas no município do Ipojuca-PE



Fonte: Coutinho (2014).

6.10.3 Mapa de zoneamento para o aproveitamento de agregados para a construção civil

Os agregados para a indústria da construção civil são os insumos minerais mais consumidos no mundo. O termo “agregados para a construção civil” é empregado no Brasil para identificar um segmento do setor mineral que produz matéria-prima mineral bruta ou beneficiada de emprego imediato na indústria da construção civil. São basicamente a areia e a rocha britada.

A produção de agregados para construção civil na região metropolitana do Recife destina-se a atender à implantação e manutenção de obras de infraestrutura, bem como às necessidades básicas da população como habitação, sistema viário, reservatório de água, esgotamento sanitário e outros. De acordo com o Anuário Mineral Estadual, produzido pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), em 2013, foram produzidos 8 milhões de toneladas de rocha britada e cascalho no estado, valor 55% maior em comparativo com a produção de 2010.

Uma característica importante da produção de rocha britada é que, por se tratar de uma matéria-prima de baixo valor unitário, requer que a jazida esteja o mais próximo possível do mercado consumidor, diminuindo, assim, os custos associados ao transporte e garantindo a viabilidade econômica do empreendimento. Por esse fator, normalmente a extração ocorre em jazidas que se localizam nas periferias dos centros consumidores.

Os conflitos decorrentes desse tipo de empreendimento, em áreas urbanas principalmente, são causados pela falta de conhecimento e informação sobre as atividades de mineração pela comunidade, pela geração de impactos ambientais e desconforto para a população, por disputas sobre o uso e ocupação da terra e pelo crescimento desordenado e sem planejamento das cidades.

Esses conflitos envolvem a responsabilidade mútua entre as empresas de mineração, o governo e a comunidade. A ausência de ações efetivas do governo ao longo dos anos para atender à demanda de habitação e regularizar as áreas ocupadas permite a invasão de áreas adjacentes, resultando em ocupações desordenadas nas proximidades de pedreiras. Por outro lado, a atividade de mineração gera vibração no solo, sopro de ar, ruído, poeira e gases, que são considerados os principais impactos que geram desconforto para a população. Os moradores, ao sentirem tais impactos, não são capazes de avaliar sua possível gravidade.

Segundo Calaes et al. (2008), a intensificação dessas situações de conflitos efetivos e potenciais evidencia a importância do planejamento estratégico comprometido com a sustentabilidade ambiental, de forma a contribuir a um só tempo para o ajuste de políticas

públicas de Ordenamento Territorial e para o aprimoramento da exploração e aproveitamento dos recursos minerais. Sendo assim, o Ordenamento Territorial é essencial para o planejamento e a gestão da produção de agregados para a construção, seja no âmbito dos empreendimentos isolados, seja no de polos produtores, notadamente os de regiões metropolitanas.

Soluções parciais e de curto prazo apenas adiam ou estendem os conflitos. Os caminhos para a mediação de conflitos exigem que estratégias educacionais e informativas sejam aplicadas aos diferentes atores sociais, sendo necessário promover uma visão partilhada e complexa dos conflitos entre todos os atores sociais em um contexto de cooperação, promover mudanças na concepção de empresas e governo, ampliar a compreensão de conflitos; igualmente, a legislação e tecnologia, além de promover o conhecimento técnico e científico da comunidade local, com a ampliação de sua participação na gestão de recursos naturais.

Fica evidente a necessidade de considerar a mineração inserida no planejamento socioeconômico do município e integrado regionalmente, permitindo racionalizar o aproveitamento dos recursos minerais e compatibilizar seu aproveitamento com as demais atividades já estabelecidas ou previstas.

Com a criação e expansão do Distrito Portuário e Industrial de Suape, o município tem atravessado um período de grandes transformações na paisagem natural, sobretudo pela influência de grandes obras industriais, como o Porto de Suape e a expansão do Distrito Industrial. Conforme já discutido no item 5.4. Essa construção e expansão de Suape requer do município uma demanda por agregados em grande escala. Desta forma, para atender a lei n.º 12.608/12, em seu artigo 22.º, inciso V, pretende-se elaborar o mapa de zoneamento para o aproveitamento de agregados para a construção civil apresentando a aptidão (ou potencialidade) do município ao delimitar zonas com potencial geológico para prospecção de bens minerais, no caso, o objeto de estudo foram pedra britada, areia para construção, argila, materiais de empréstimo e calcário, que se destacam entre os insumos minerais de uso na construção civil e são encontrados no município.

Para elaboração do zoneamento, foram considerados diversos fatores que têm relação direta com as atividades de mineração, tais como a potencialidade mineral (contexto geológico), uso e ocupação da terra, zonas de proteção ambiental e cadastramento mineral pertencente ao Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM).

A base de dados do DNPM consiste em duas plataformas de informações minerárias. Os primeiros dados levantados foram pelo Sistema Cadastro Mineiro, onde existe um banco de informações minerárias, da qual se extraíram informações de todos os processos Ativos (2004-2016) e Inativos (1968-2015) existentes no município de Ipojuca. A segunda parte das

A partir de então, utilizaram-se as informações do DNPM em formato vetorial, em seguida extraíram-se os processos, realizou-se o cruzamento das informações do DNPM com os documentos cartográficos citados. Foi também consultado as informações contidas em CPRM, 2012. Assim, foi possível ter-se uma visão panorâmica sobre o potencial mineral do município, indicando áreas mais favoráveis à exploração mineira, assim como aquelas que apresentam restrições quanto a essa atividade. O estudo teve o objetivo de fornecer elementos para planejadores municipais e empresários do setor mineral.

Na sequência, faz-se uma descrição das principais potências minerais do município, ilustradas na Figura 6.26.

Terraço Marinho (areia quartzosa inconsolidada, branca a cinza clara, fina a média, algumas vezes apresentando conchas em sua formação). São coberturas recentes, sendo plataformas acima do nível do mar. Área com alta produção de areia e de alto potencial. São os mais importantes depósitos de areia do município. Na área encontramos a extração de areias para construção civil realizada pelas empresas Suape Complexo Industrial Portuário Governador Eraldo Gueiros, Salgado Empreendimentos Imobiliários S.A, José Paulo Cavalcanti Neto e Manoel Anastácio de Souza. Entretanto, o potencial de uso futuro desses depósitos está ameaçado em consequência de conflitos com os demais usos do solo, tais como avanço da zona urbana, a agricultura, a ampliação da área industrial e o zoneamento ambiental. Em alguns casos, a queda de produção ocorre pela exaustão das reservas.

Foram identificadas onze áreas, das quais, seis estão com algum tipo de extração mineral, e dessas seis áreas, cinco estão em fase de licenciamento para extração de areias para construção civil, entretanto identificou-se áreas sem registros no banco do DNPM. A sul do município encontramos terraços em ZEPI – APA – Sirinhaém – Zona Especial de Proteção Integral, instituída pelo Plano diretor do município do Ipojuca, Lei nº 1490 de 30/06/2008; E a lei que rege a área de Mangue, que são definidas como áreas de proteção ambiental, nos termos do art. 9º, inciso VI da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, as reservas biológicas situadas no litoral do Estado de Pernambuco, constituídas pelas áreas estuarinas. Lei Estadual nº 9.931, 11/12/1986.

Depósito aluvionar, de canais (leitos ativos) e terraços fluviais (Neógeno). Esta área já foi grande produtora de areia, tem alto potencial. Atualmente, a produção é moderada em razão da atuação dos órgãos ambientais, conflitos com proprietários de usinas canavieiras e/ou a ampliação do parque industrial. Um dos grandes depósitos aluvionar, que produz os maiores volumes de areia lavada, encontra-se no Rio Ipojuca.

Depósito aluvionar de planície de inundação ou várzea de rios e riachos (Neógeno).

Área com alta produção de argila e de alto potencial. São os mais importantes depósitos de argila. Encontra-se situada em área de multiuso, com sérias restrições para expansão da atividade mineira; disputa espaço com a ocupação urbana, a agricultura, as plantas industriais e áreas sob impedimentos ambientais.

Identificou-se duas grandes áreas minerárias de areia para construção civil em processo de licenciamento e outras quatro áreas de argilas em processos de pesquisa. Foram encontradas três áreas onde estão ocorrendo a exploração das areias. As empresas que possuem o licenciamento são: Ana Carolina Vilhalba Souza Leite e Fábio Vilhalba de Souza Leite. A lei ambiental que vigora na área está ligada a APP Rio Ipojuca - 50 m do Novo Código Florestal, Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012, Art. 4º, Cap. II. Lei N.º 7.803, de 18/07/1989.

Formação Algodoads, originados por ação intempérica in situ a partir de rochas vulcânicas ácidas da Suíte Vulcânica de Ipojuca (Cretáceo). Área produtora de caulim de alto potencial. Um dos materiais importantes encontrados nessa formação é o saibro (material sílico-argiloso, coloração rosa clara e amarela), material nobre, com valor de mercado consideravelmente mais alto, é utilizado na mistura de acabamentos de paredes internas e externas, sendo também utilizado em preparos de jardins e quadra de tênis.

Empresa que atua nesta área na aquisição de areias para construção civil é a Salgado Empreendimentos Imobiliários S A.

No entanto, tem produção moderada por entrar em conflito com a urbanização e o zoneamento de proteção ambiental. Essa área é também explorada para produção de material de empréstimo.

Existem duas áreas com proteção ambiental, a primeira com maior extensão faz parte da APA do rio Sirinhaém e a segunda trata-se de uma APP de corpos d'água.

Rochas vulcânicas, principalmente, riólito, traquito e tufo vulcânico (ignimbrito) da Suíte Vulcânica de Ipojuca. Área de alto potencial para material cerâmico e cimento pozolânico. Ocorrência dos ignimbritos do Engenho Saco, não está protegida por nenhum tipo de unidade de conservação e por nenhum órgão de proteção. Além disso, boa parte da exposição dessas rochas encontra-se na Pedreira do Engenho Saco, sob os cuidados da Empresa Nassau, junto ao Grupo João Santos. O material lá encontrado é utilizado para fabricar cimento pozzolânico.

Foram observadas dez áreas de Suíte Magmática (suíte vulcânica) que vão da parte nordeste a sul do município, das quais sete são Riólitos, estão localizados na parte central do município; o Ignimbrito ocupa uma área significativa na parte central do município, que está

em fase processual de concessão de lavra, para exploração de argilas, minerais potenciais para usos na indústria cerâmica e de cimento. Na área encontram-se APP's de 30m do Rio Ipojuca.

Arenitos do Grupo Barreiras (Paleógeno) e das Formações Algoduais e Cabo (Cretáceo); solos intemperizados de granitoide e ortognaisse do embasamento cristalino pré-cambriano e de traquito da Suite Vulcânica de Ipojuca. Fornece grandes volumes de material de empréstimo e tem alto potencial de uso futuro.

A formação Barreiras está localizada a sul do município, nela encontramos áreas com processos em fase de licenciamento para extração de areias para construção civil lideradas pelas empresas: Mineração Miranda Ltda., Salgadinho Empreendimentos Imobiliários S.A e José de Albuquerque Queiroz Filho. Outras áreas estão em fase processual de pesquisa para extração de argila industrial. Também, observa-se áreas de empréstimo que não estão cadastradas junto ao DNPM. Nessa formação encontramos três áreas protegidas por lei, a APA do rio Sirinhaém, as APP's de 30m dos rios e a RPPN (Reserva Natural do Patrimônio Nacional).

Formação Estiva (Cretáceo). Depósitos de calcário da Sub-Bacia do Cabo não são economicamente importantes. Existem poucas exposições dessas rochas em superfície. O calcário da formação Estiva possui aspecto maciço, granulação fina, coloração cinza e creme, fossilífero, com alto teor de magnésio. Essa formação tem uma pequena representação no território, está localizada a sudeste do município, no momento, a exploração desse depósito não é viável economicamente.

Biotita-Granito, área de alto potencial e de alta produtividade para pedras britada a Pedreira Anhanguera situada na Barragem do Bitá, lavra duas minas. Uma explora o biotita granitoide do batolito Ipojuca, produzindo pedra britada, e a outra se encontra na sua proximidade, produzindo blocos de grandes dimensões (1 a 2m), utilizados na construção do píer do Porto de Suape. Na parte norte da unidade temos a Companhia Industrial de Vidro Civ, que faz a extração de argilas, encontramos na parte Sudeste a Cbe Companhia Brasileira de Equipamento com uma área para extração de traquito. Essa é uma das maiores formações geológicas encontrada no território municipal de Ipojuca. Além de seu potencial para exploração de britas e pedras, existem processos de pesquisa para exploração de argilas.

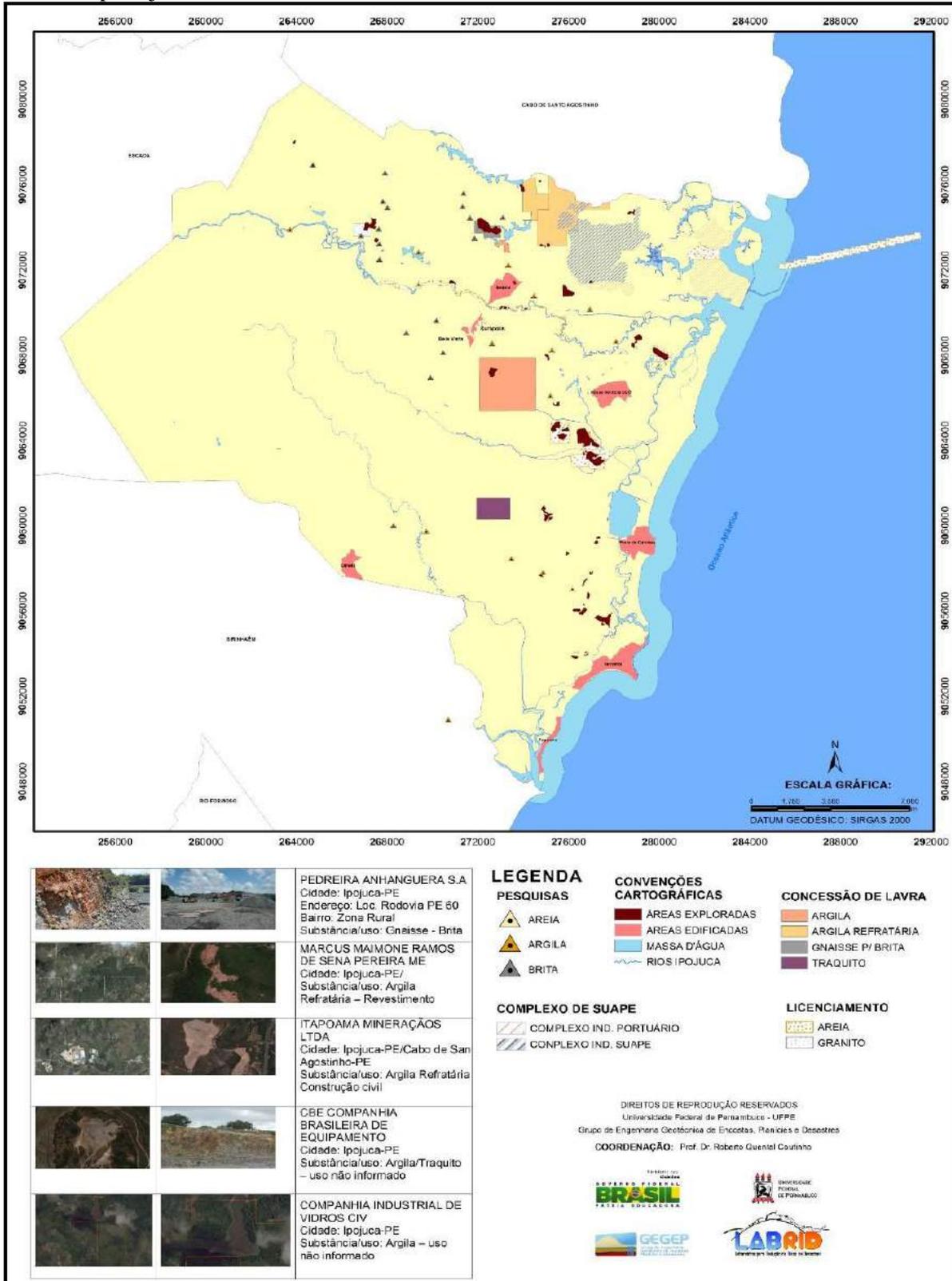
Na unidade existe muitas áreas de APP's Topo de Morro regida pela Lei Federal N.º 4.771 de 5 de setembro de 1965 (Código Florestal), Novo Código Florestal, Lei N.º 12.651, de 25 de maio de 2012, Art. 4º, Cap. IX; e APP's de corpos d'água regidas pela Lei N.º 12.651, de 25 de maio de 2012, Art. 4º, Cap. II. Lei Federal N.º 4.771 de 5 de setembro de 1965 (Código Florestal), Além da APP Rio Ipojuca de 50m, regida pela Lei N.º 12.651, de 25 de maio de 2012, Art. 4º, Cap. II. Lei N.º 7.803, de 18/07/1989 (Novo código Florestal).

Complexo Gnássico-Migmatito, área de alto potencial para pedras britada. Localiza-se ao oeste do município. Possui duas áreas de extração mineral, a primeira faz parte da pedreira Pedras Express LTDa Me, a área está em fase processual de Licenciamento para extração de granitos para brita, a segunda faz parte da Pedreira Anhaguera S.A., a área está em fase processual de Concessão de Lavra para extração gnaisse para britas.

Na unidade existe muitas áreas de APP's Topo de Morro regida pela Lei Federal N.º 4.771 de 5 de setembro de 1965 (Código Florestal), Novo Código Florestal, Lei N.º 12.651, de 25 de maio de 2012, Art. 4º, Cap. IX; e APP's de corpos d'água regidas pela Lei N.º 12.651, de 25 de maio de 2012, Art. 4º, Cap. II. Lei Federal N.º 4.771 de 5 de setembro de 1965 (Código Florestal); APP Rio Ipojuca de 50m, regida pela Lei N.º 12.651, de 25 de maio de 2012, Art. 4º, Cap. II. Lei N.º 7.803, de 18/07/1989 (Novo código Florestal); e também existe a Área de Proteção de Mananciais, que são delimitadas como áreas de proteção dos mananciais de interesse da Região Metropolitana do Recife – RMR, na Lei Estadual n.º 9.860 de 12/08/1986.

Esta carta deve trabalhar em conjunto com o mapa de geologia, uso e ocupação da terra e o mapa de zonas de proteção ambiental. Recomenda-se a atualização periódica desse documento.

Figura 6.26 – Mapa de zoneamento para o aproveitamento de agregados para a construção civil em escala de planejamento



Fonte: Elaboração do autor.

6.11 CARTAS GEOTÉCNICAS DE SUSCETIBILIDADE

O mapeamento da suscetibilidade aos movimentos de massa e às inundações na escala de 1:25.000 representa igualmente subsídios para definir níveis potenciais de ocorrência de deslizamento e inundações para uma determinada área.

Nesta seção serão apresentadas de forma resumida as metodologias para a elaboração da Carta de Suscetibilidade a Movimento de Massa – Movimento Gravitacional de Massa (MGM) e erosão – Carta de Suscetibilidade a Inundação do rio Ipojuca.

6.11.1 Metodologia para elaboração de carta de suscetibilidade a movimento de massa

A elaboração do mapa de suscetibilidade a movimento de massa pode ser realizada de acordo com diversas abordagens. Um modelo qualitativo, indireto, baseado na sobreposição de mapas de índices e parâmetros e no conhecimento prévio acerca do comportamento do terreno diante da ocorrência de processos de movimentos de massa por especialistas (Knowledge Based), para o município do Ipojuca na escala 1:25.000, já foi realizado por Coutinho (2014), podendo também ser encontrado em Coutinho et al. (2015), CPRM (2016), Duarte (2015) e Torres (2014). Sendo assim, a elaboração da carta de suscetibilidade está baseada em Coutinho et al. (2015) e Torres (2014), que apresentam informações mais detalhadas sobre o desenvolvimento desta carta.

Para o mapeamento da suscetibilidade, fez-se uso do método heurístico, que é um método qualitativo e subjetivo orientado por um especialista na classificação dos parâmetros que influenciam na ocorrência dos processos de erosão e deslizamentos (SUJATHA; KUMARAVEL; RAJAMANICKAM, 2014). Optou-se, então, pela aplicação da análise multicritério com base na técnica de Processo Analítico Hierárquico – Analytic Hierarchy Process (AHP) – em ambiente de Sistema de Informações Geográficas por meio do software ArcGIS 10.1.

De forma resumida, os procedimentos metodológicos realizaram-se na seguinte sequência:

- 1) Inventário e elaboração dos mapas (as metodologias dessas etapas já foram apresentadas na seção 6).
- 2) Classificação dos fatores condicionantes quanto ao grau de suscetibilidade: cada tema recebeu uma classificação, variando de 1 a 3 (baixa, média e alta respectivamente), de acordo com suas características em função da suscetibilidade a MGM. Em

seguida, os mapas de uso e ocupação da terra, geologia e pedologia (que estavam no formato vetorial) foram transformados em raster (dados matriciais) contendo as classes originais e posteriormente reclassificados com valores de 1 a 3. Já as informações relacionadas com a declividade e formas de vertentes, como já estavam em raster foram somente reclassificadas em relação ao grau de suscetibilidade.

- 3) Aplicação da análise multicritério AHP: para cruzamento dos mapas e determinação do grau de suscetibilidade para todo o município do Ipojuca, aplicou-se a técnica AHP, desenvolvido por Saaty (1987), baseada na lógica de comparação pareada, em que é montada uma matriz quadrada, onde os critérios, neste caso os mapas temáticos, são comparados com eles mesmos. Essa ponderação leva em conta a intensidade de importância de um critério em relação ao outro. Para isso, utiliza-se a escala recomendada por Saaty (1977), que varia de 1 (menos importância) até 9 (importância absoluta).
- 4) Validação do resultado: depois da finalização da carta de suscetibilidade, o resultado desta foi comparado com o mapa de inventário de cicatrizes.

Verificou-se que as áreas com baixa suscetibilidade estão predominantemente localizadas no litoral do município, composto pelos terraços marinhos, sedimentos fluviolacustres, manguezais e pelos depósitos aluvionares, áreas onde encontramos baixa declividade e vertentes com baixo potencial de movimentação gravitacional. Os pontos de média suscetibilidade e alta suscetibilidade estão situados, principalmente, no embasamento cristalino, a oeste do município, apresentando declividades mais acentuadas e vertentes que podem favorecer a ocorrência de movimentos gravitacionais.

Cabe ressaltar que, ao sul do município, se destacou a maior concentração das áreas mais críticas com alta suscetibilidade nas Formações Cabo, Algoduais e Barreiras, o que sugere maior atenção e estudos geotécnicos. Convém, portanto, atualizações periódicas dessa carta em razão da dinâmica espacial e econômica da região.

O resultado do zoneamento da suscetibilidade a movimentos de massa foi cruzado com a o mapa de UT, fornecendo critérios para a hierarquização quanto ao grau de aptidão à urbanização das unidades de aptidão.

A Figura 6.27 apresenta os resultados da carta de suscetibilidade a movimento de massa do município do Ipojuca na escala de planejamento indicando as áreas de baixa, média e alta restrição.

6.11.2 Metodologia para elaboração de Carta de Suscetibilidade a Inundação do rio Ipojuca na escala de planejamento

A metodologia consiste na simulação hidrológico-hidráulica para o baixo curso do rio Ipojuca com uso dos modelos HEC-HMS e HEC-RAS do Hydrologic Engineering Center (HEC) do Corpo de Engenheiros do Exército Americano – United States Army Corps of Engineers (USACE). A simulação hidrológica é necessária para determinação da vazão máxima no rio para diferentes tempos de retorno, ou seja, o intervalo de tempo médio (medido em anos) que um determinado evento deve ser igualado ou superado. A vazão gerada no modelo hidrológico do tipo chuva-vazão será utilizada como entrada do modelo hidráulico que simula o perfil da linha d'água no rio para a região de interesse, que, nesse caso, engloba a sede e áreas de expansão do município. Com o perfil da linha da água, pode-se determinar o mapa de inundação nas áreas de interesse.

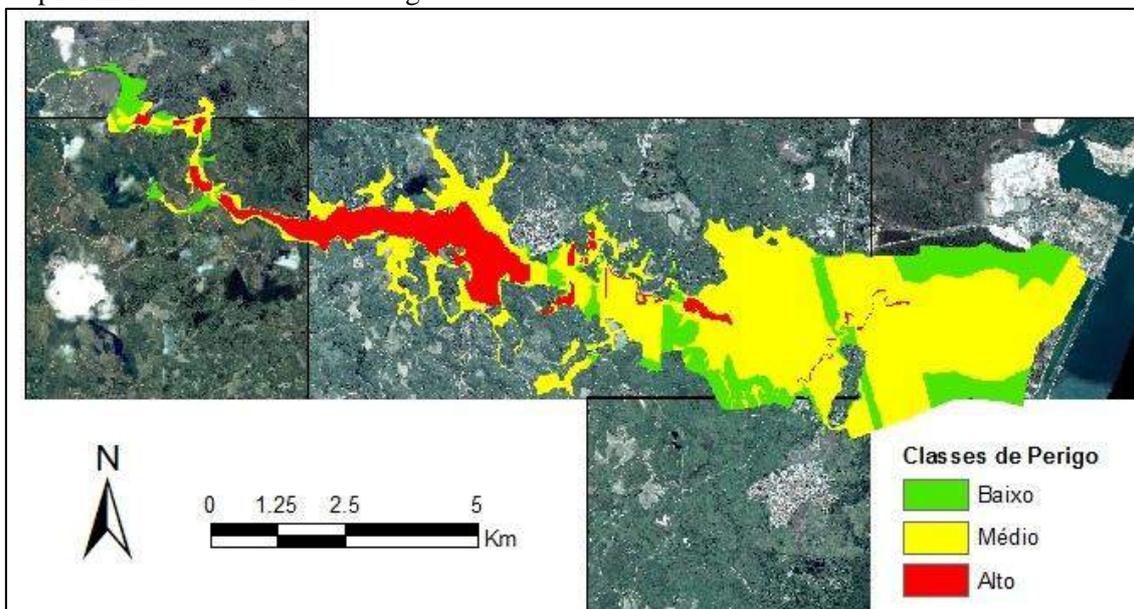
As áreas suscetíveis à inundação foram definidas pelo modelo Height Above the Nearest Drainage (HAND), o qual analisa e fornece classificação relativa às características hidrológicas e topográficas do terreno, além de contribuir para a avaliação dos parâmetros físicos necessários à modelagem hidrológico-hidráulica.

O HEC-HMS é um modelo que interpreta de modo simplificado o ciclo hidrológico e todos os processos que o compõe, da precipitação ao escoamento. Utiliza-se de uma representação discretizada da bacia, que se divide em sub-bacias, simbolizada em trechos, junções, reservatórios, desvios, fontes e exutório. O programa fornece hidrogramas com a vazão para cada uma das sub-bacias definidas. Tais hidrogramas são então aplicados diretamente no modelo hidrodinâmico. O HEC-RAS, por sua vez, vai caracterizar a propagação de cheias no rio, demonstrando o escoamento ao longo do canal.

Assim como no pré, após as simulações, o pós-processamento e aquisição dos mapas referentes aos indicadores de perigo são desenvolvidos por meio do uso do (HEC-GeoHMS) e HEC-GeoRAS. Esses últimos são extensões do ArcGIS/ESRI, Sistema de Informações Geográficas também amplamente utilizado. Paralelamente, realizou-se extensa revisão bibliográfica e definição de quadro conceitual do risco de inundação e de seus devidos componentes. Assim, definiram-se os limiares, criaram-se os mapas dos indicadores (profundidade da água, velocidade da água e intensidade) e fez-se a classificação para áreas de alto, médio ou baixo perigo de inundação.

Os três níveis de perigo são apresentados na Figura 6.28. Optou-se por fazer a análise de perigo tomando como base os resultados das simulações do tempo de retorno de 100 anos. O Quadro 6.5 apresenta os limiares utilizados no modelo.

Figura 6.28 – Mapa de perigo decorrente de enchente para o tempo de retorno de 100 anos: combinação da profundidade e velocidade da água



Fonte: Coutinho (2014).

Quadro 6.5 – Limiares dos indicadores para geração de mapa de perigo

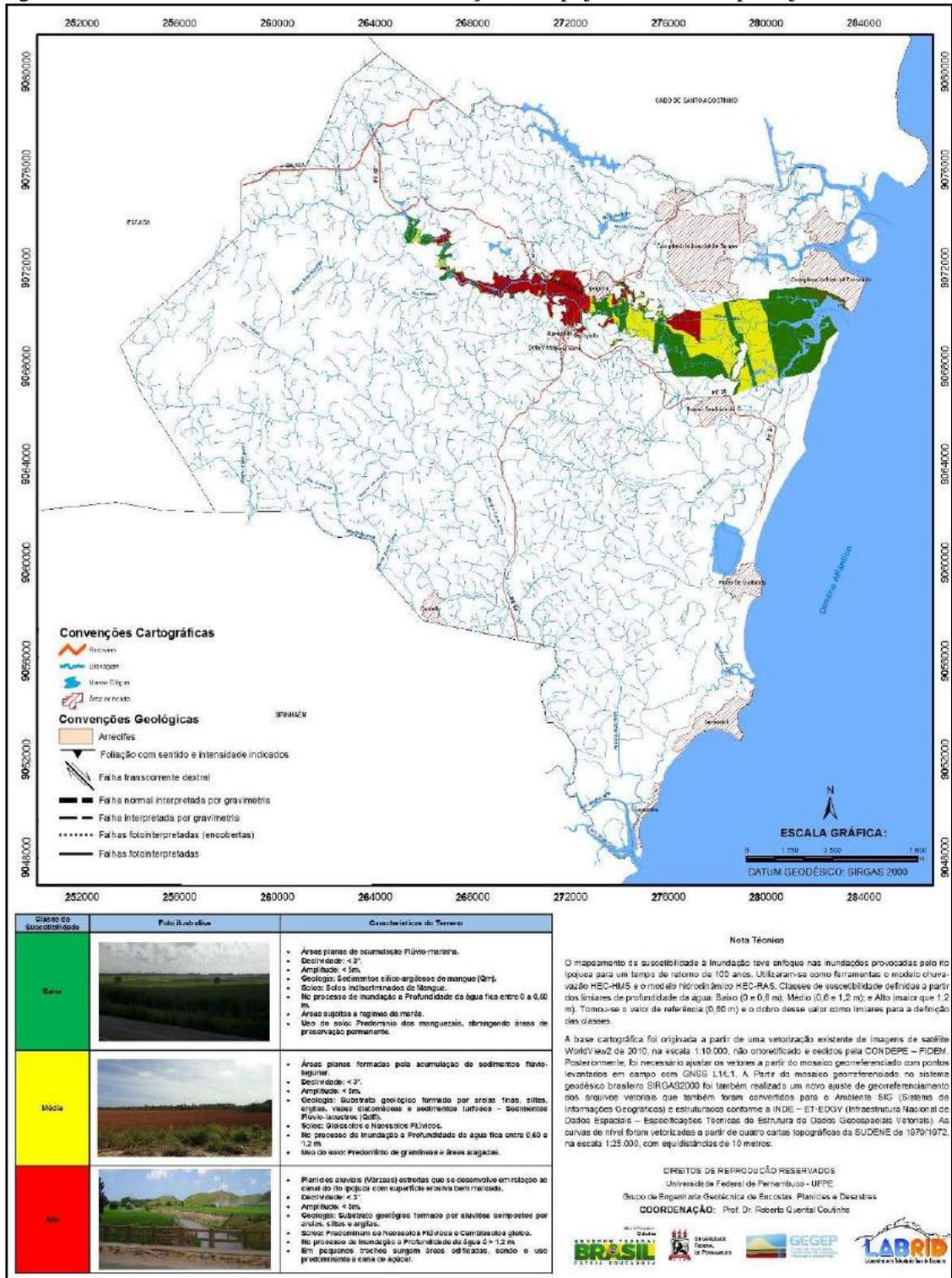
Indicador	Baixo	Médio	Alto
Profundidade da água	0-0,60 m	0,60-1,20 m	> 1,20 m
Velocidade da água	0-0,60 m/s	0,60-1,20 m/s	> 1,20 m/s
Carga de Energia	0-1,00 m	1,00-2,00 m	> 2,00 m
Força do Escoamento	0-1,00 m ³ /s ²	1,00-2,00 m ³ /s ²	> 2,00 m ³ /s ²
Intensidade	0-0,36 m ² /s	0,36-1,50 m ² /s	> 1,50 m ² /s

Fonte: Coutinho (2014).

Cruzando as informações referentes ao meio físico (UTs) com as informações da Carta de Suscetibilidade a Inundação do rio Ipojuca, foi possível definir áreas inundáveis na carta de aptidão. Informações mais detalhada sobre o desenvolvimento dessa metodologia podem ser encontradas em Ribeiro Neto, Batista e Coutinho (2016).

A Figura 6.29 apresenta os resultados da Carta de Suscetibilidade a Inundação do rio Ipojuca na escala de planejamento indicando as áreas de baixa, média e alta restrição.

Figura 6.29 – Carta de Suscetibilidade a Inundação, rio Ipojuca, escala de planejamento



Fonte: Coutinho (2014).

6.12 CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO

O trabalho optou pela elaboração de uma carta geotécnica de fácil compreensão e aplicação voltada, principalmente, para planejamento municipal, fornecendo dados que contribuam para as avaliações e ações do gestor público. As classes contidas na Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização estão representadas por quatro cores, vermelho, laranja e amarelo, e verde. Elaborou-se um quadro-legenda apresentando as principais características da unidade de aptidão, os tipos de processo que ocorrem na unidade e as diretrizes e recomendações diferenciadas em cada unidade, um relatório técnico apresentando uma síntese com todas as informações e o banco de dados para armazenamento dos dados, atualizações, gerenciamento, consultas e análises.

Cruzando as informações utilizando o software ArcGis 10.1 referentes ao meio físico (UTs) com as informações de uso de solo, zonas de proteção ambiental e de processos geodinâmicos instalados ao longo de toda a área do município (suscetibilidade a movimento de massa e inundação), foi possível definir as áreas impróprias, restritas a ocupação ou não, e elaborar diretrizes de ocupação e uso do solo, considerando os atributos levantados anteriormente.

Após a realização de todas as etapas citadas anteriormente, o trabalho considerou 3 classes de aptidão: Alta Aptidão à Urbanização, Média Aptidão à Urbanização, Baixa Aptidão à Urbanização.

Obviamente, esses resultados obtidos foram avaliados diante da realização de saídas a campo e reuniões técnicas com a equipe de pesquisadores, coordenação e dos gestores e técnicos municipais de diversas secretarias do município, ou seja, um processo de construção conjunta conforme já comentado na seção 6.3.

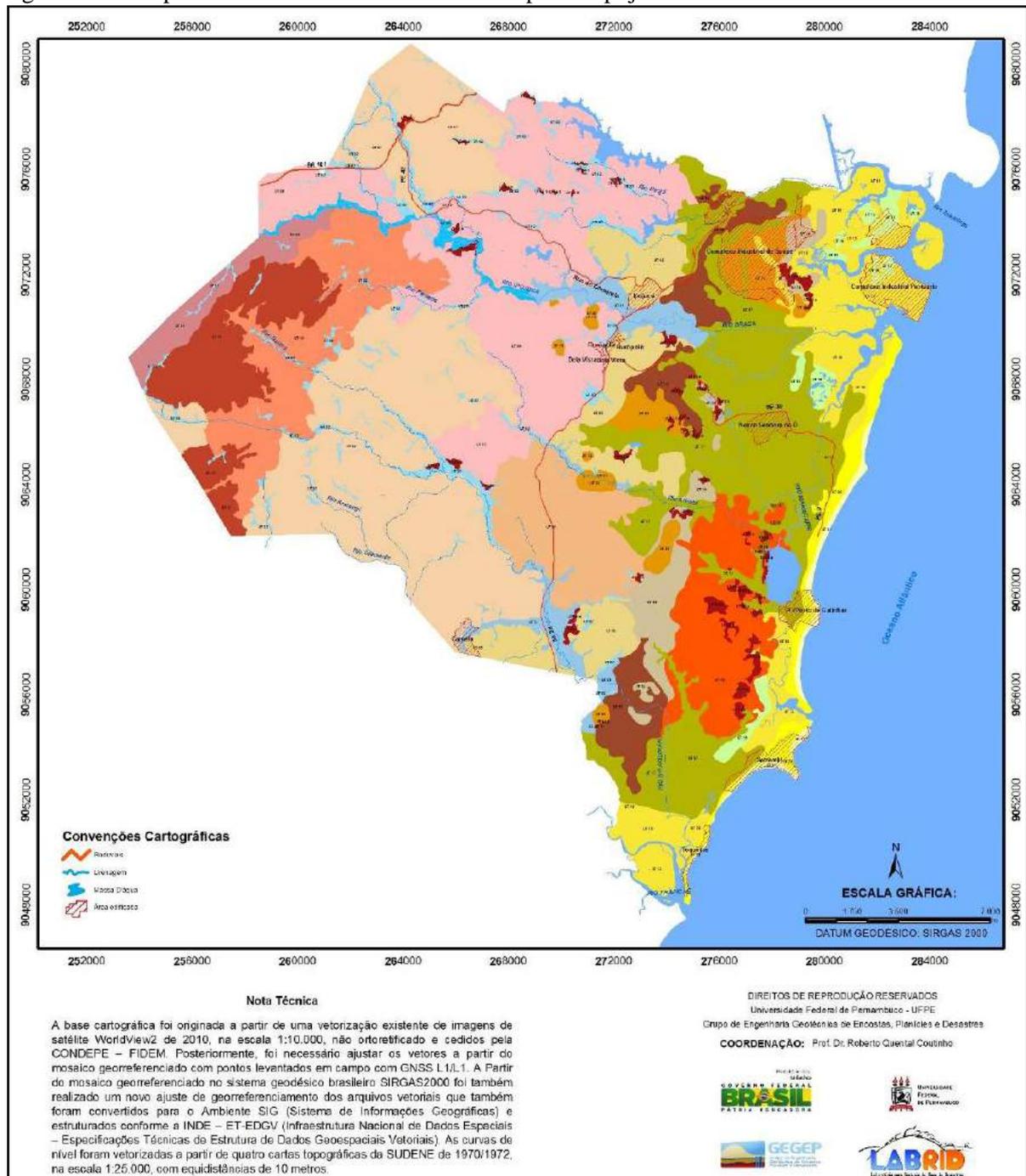
7 RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são detalhados os resultados obtidos na obtenção da Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização do município do Ipojuca-PE, na escala de planejamento (1:25.000) e do Mapa de Unidades de Terreno, na escala de 1:25.000, sendo apresentados os resultados e as discussões desses documentos.

7.1 O MAPA DE UNIDADES DE TERRENO

Este mapa foi resultado do cruzamento e sobreposição entre os planos de informações dos mapas básicos, o que resultou em um total de 21 UT, baseado na metodologia proposta por Coutinho (2014), Quadro 4.4 da seção 4.5, no qual foram abordados os componentes básicos do meio físico como geológico, geomorfológico e pedológicos das áreas elevadas e das baixadas. A Figura 7.1 mostra o mapa na escala de 1:25.000, com a representação das UTs. A seguir, fez-se uma descrição das principais características das 21 unidades de terreno.

Figura 7.1 – Mapa de unidades de terreno do município do Ipojuca



Fonte: Coutinho (2014).

7.1.1 Descrição das unidades de terreno

A seguir, serão apresentadas e discutidas sucintamente as 21 unidades de terreno presentes na área deste estudo. As informações contidas nessa descrição são basicamente as informações de geologia, geomorfologia, pedologia e investigação geotécnica, e campo e laboratório.

As informações de sondagens foram fornecidas por empresas e o município. A caracterização geotécnica realizou-se em amostras amolgadas e indeformadas coletadas em campo. Nem todas as unidades tiveram informações de sondagem e ensaios de laboratório.

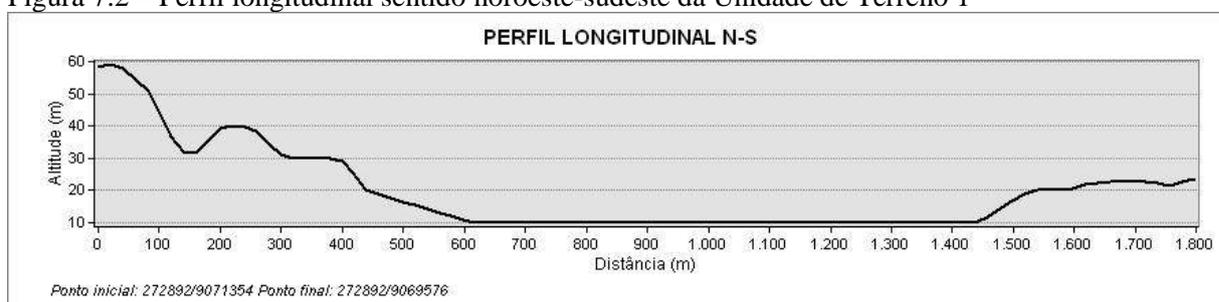
Saliente-se que os estudos geotécnicos foram pontuais, o que normalmente não representa uma informação precisa caracterizar toda unidade. Portanto apenas com um amplo mapeamento geológico-geotécnico, incluindo sondagem (SPT e Rotativa), permitirá melhor conhecimento da geologia, variabilidade de perfis e parâmetros geotécnicos.

Segundo Torres (2014), na classificação das unidades geológicas, as formações Cabo e Algodoads apresentaram grau 3. Entretanto, a Formação Cabo apresentou uma suscetibilidade superior com relação a Algodoads. Dessa forma, pretende-se fazer um estudo de caracterização geotécnica da Formação Cabo (UT 12) por meio de ensaios de granulometria, limites de atterberg, caracterização mineralógica do solo pela fluorescência de raios-X e ensaios de resistência ao cisalhamento. Essa caracterização será importante para ter melhor conhecimento dos parâmetros do solo da Formação Cabo de acordo com o objetivo específico proposto.

UNIDADE DE TERRENO 1

Essa unidade apresenta planícies largas e ocupam 14 km² da área do município. Caracterizada por formas planas e/ou côncavas com cotas altimétricas que variam de 5 a 10 metros de altitude e declividade muito baixa, sempre inferior a 7° (Figura 7.2 e Fotografia 7.1).

Figura 7.2 – Perfil longitudinal sentido noroeste-sudeste da Unidade de Terreno 1



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Fotografia 7.1 – Padrão de planície extensa que pode ser observado na UT 1



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

O substrato geológico é composto por depósitos formados por materiais arenosos e arenoargilosos que ocorrem em forma de aluviões indiferenciados na porção mais central (areias, argilas, siltes e cascalhos) e de depósitos fluviais interconectados com os depósitos coluviais em áreas mais afastadas do leito do rio.

Os solos que ocorrem nessa unidade pertencem à classe dos Gleissolos e Cambissolos gleicos, onde pode haver presença de argilas 2:1, e à classe dos Neossolos Flúvicos. Ambos de textura argilosa a média argilosa. Podem ocorrer inundações ao longo da rede de drenagem.

Caracterização geotécnica

Na UT 1, realizaram-se ensaios de caracterização física em amostras coletadas em diferentes profundidades, conforme se apresenta na Tabela 7.1.

Os ensaios de análise granulométrica e limites de atterberg realizaram-se em todas as amostras coletadas. O ensaio de granulometria realizou-se apenas na fração grossa do solo, o qual limita uma análise mais detalhada dos parâmetros do solo dessa unidade.

Nas seis amostras analisadas, a fração areia representa a maior parte do material, com maior predominância de areia fina. Nos resultados de limites de atterberg, observa-se que quatro amostras apresentaram um comportamento não plástico, corroborando a composição granulométrica.

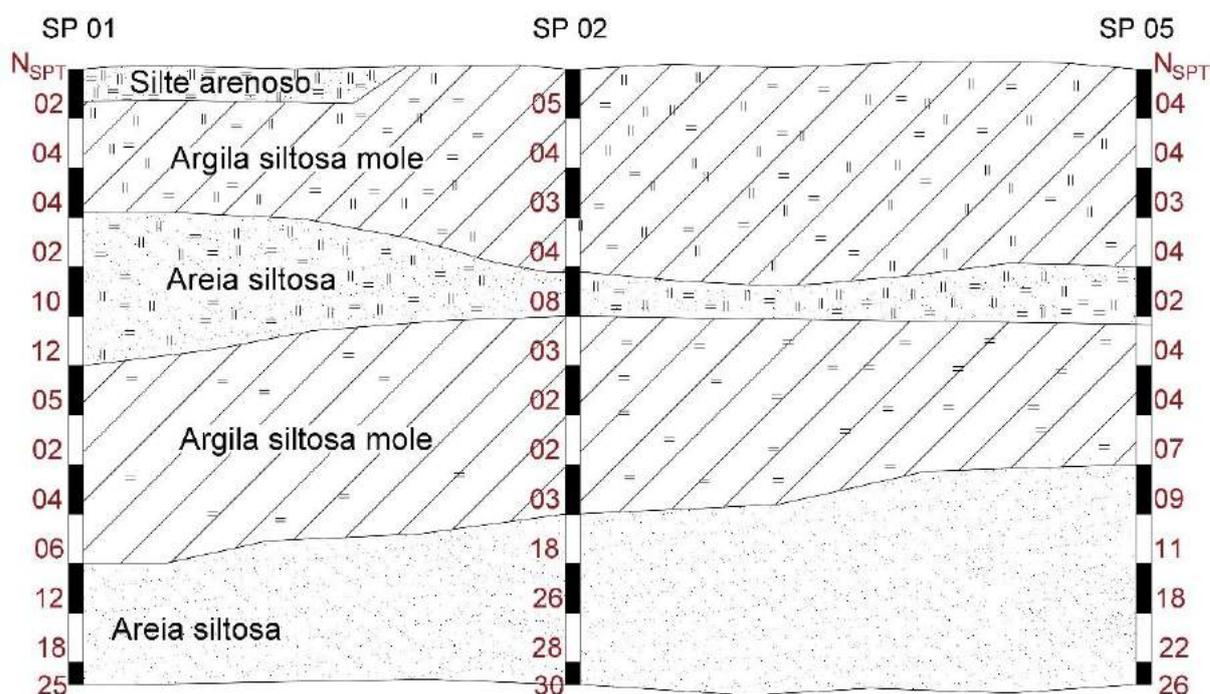
Tabela 7.1 – Composição granulométrica e limites de atterberg UT 1

N.º Registro	Prof. (m).	Pedregulho	Areia G.	Areia M.	Areia F.	LL (%)	LP (%)	IP (%)
300	6,0	10	26	14	50	36	20	16
306	6,0	20	21	17	42	NL	NP	-
302	10,0	12	30	18	40	30	20	10
305	10,0	20	21	11	48	NL	NP	-
307	10,0	17	25	14	44	NL	NP	-

Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

A Figura 7.3 apresenta um perfil geotécnico para a UT 1, o qual apresenta uma estratigrafia típica de Depósitos Aluviais. Observa-se a presença de camadas de argila mole, que tem baixa resistência ao cisalhamento e alta compressibilidade como suas principais características.

Figura 7.3 – Perfil geotécnico – UT 1

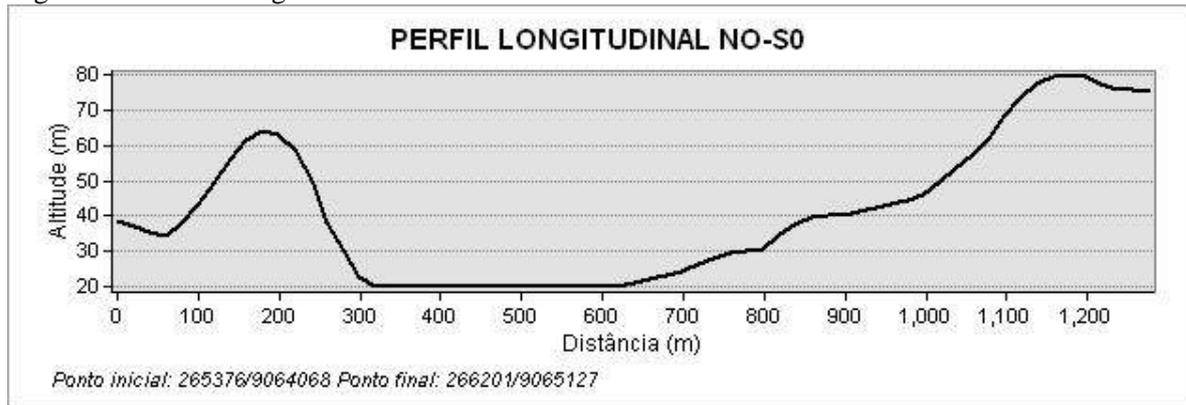


Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

UNIDADE DE TERRENO 2

Nesta unidade há ocorrência de planícies isoladas e fundos de vale que ocupam 17 km² da área do município. São áreas de deposição de sedimentos fluviais em altitudes que variam entre 100 e 200 metros e declividade sempre inferior a 7° (Figura 7.4).

Figura 7.4 – Perfil longitudinal sentido noroeste-sudeste da Unidade de Terreno 2



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Em alguns pontos mais elevados do município, ocorre o estreitamento abrupto dos vales fluviais, que são observados pelo leito rochoso dos rios. São áreas de convergência entre várias vertentes que favorecem a concentração do escoamento superficial e subsuperficial, sendo, portanto, áreas sujeitas a inundação (Fotografia 7.2). Essas áreas podem receber materiais dos deslizamentos das encostas que, se transportados com a drenagem, possibilita a ocorrência de corridas de lama.

Fotografia 7.2 – Feições típicas da UT 2, fundo de vales estreitos e confinados



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

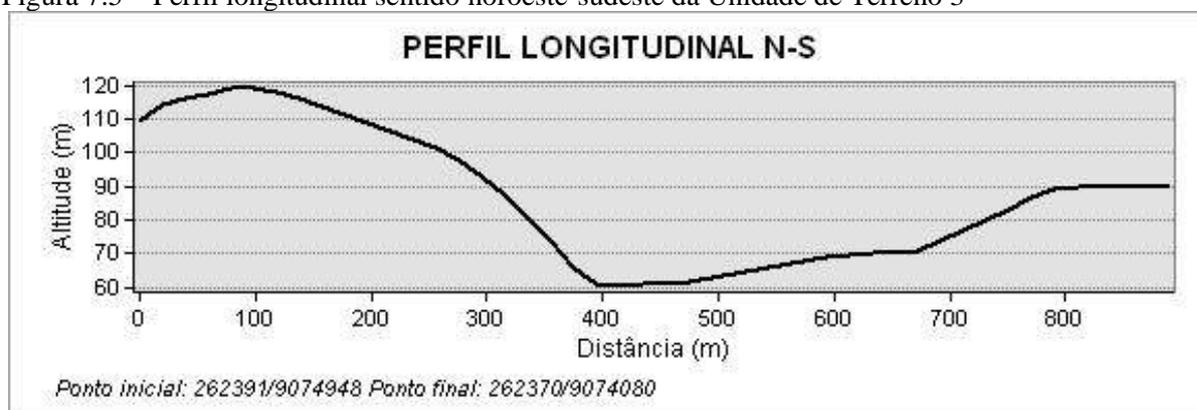
O substrato geológico é formado por aluviões constituídos por areias, siltes e argilas – Qal.

Os solos predominantes pertencem à classe dos Gleissolos, em que podem ocorrer argilas 2:1, e Neossolos Flúvicos ambos de textura argilosa a média argilosa.

UNIDADE DE TERRENO 3

Essa unidade ocorre na forma de planícies aluviais estreitas que se desenvolvem simetricamente em relação ao canal e lateralmente ao canal com a ocorrência de diques marginais contínuos, com até 5 metros acima do nível do curso do rio. Ocupa uma área de cerca de 2 km². O contato na parte proximal com os depósitos coluviais e colinas são bem marcados por uma superfície erosiva. A declividade da superfície é muito baixa ($< 3^\circ$), com o ângulo de mergulho em direção ao rio (Figura 7.5).

Figura 7.5 – Perfil longitudinal sentido noroeste-sudeste da Unidade de Terreno 3



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Substrato geológico formado por aluviões compostos por areias, siltes e argilas. Os solos predominantes pertencem à classe Neossolos Flúvicos e Cambissolos gleicos de textura arenosa a média argilosa.

Por sua característica física natural de planície estreita (< 300 metros de largura em grande parte do seu trecho), essa unidade configura-se como área de risco muito alto de atingimento de material que possa deslizar das encostas, o que possibilita (em casos de eventos extremos de precipitação) a ocorrência de corrida de lama. Principalmente em setores onde o relevo apresenta valores altos de amplitude. Em razão de sua declividade muito baixa ($< 3^\circ$), configura-se também como área de risco de inundação. Trata-se, portanto, de uma unidade sujeita a processos de corrida de lama e inundação.

UNIDADE DE TERRENO 4

Essa unidade é formada por colúvios que representam 5 km² da área do município. Referem-se aos locais onde ocorre acúmulo/deposição dos sedimentos das colinas do município. A deposição do material sedimentar na base das encostas formam rampas suaves que recobrem o sopé das colinas, e interdigitam-se com as planícies fluviais.

As vertentes são, predominantemente, convexas, levemente retilinizadas nas porções mais baixas. Podem ocorrer nas cotas altimétricas que variam de 20 a 153 metros, com amplitude de relevo que variam de 30 a 70 metros. As declividades variam de 0° a 17° com o predomínio da faixa que varia de 0° a 7° (Figura 7.8).

Fotografia 7.3 – Rampa de colúvio formada sobre rochas graníticas no distrito de Camela



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Por se tratar de depósitos relativamente fofos, pouco consolidados e permeáveis, ficam facilmente saturados durante os períodos de precipitação forte. Sua resistência ao cisalhamento é muito reduzida quando o solo está saturado. Durante esses períodos de resistência reduzida, a massa de colúvio pode fluir (*creep*) para baixo em resposta à gravidade, embora durante o verão o colúvio possa permanecer estável. A erosão não é severa, uma vez que a massa depositada é permeável.

O substrato geológico pode ser formado por rochas graníticas ou sedimentares. Esses colúvios ocorrem distribuídos no município em diferentes substratos geológicos:

- UT 04a – por sedimentos argiloarenosos de granulação média (1-10 mm) a fina (0,1-1 mm) contendo, essencialmente, níveis argilosos ou, eventualmente, óxidos de ferro da Formação Barreiras (48%).
- UT 04b – por ortognaisses de composição granodiorítica, com presença de milonitos e migmatitos ortognaisses do Complexo Gnáissico-Migmatítico (26%).
- UT 04c – por conglomerados, seixos de rochas vulcânicas, sustentado por matriz arcoseana (rica no mineral feldspato) e com granulação média (1-10 mm) da Formação Algoduais (13,8%).
- UT 04d – por rochas de textura fanerítica com cristais anédricos e equigranulares, coloração cinza a creme – Biotita-granito do Embasamento Cristalino (4,7%).
- UT 04e – por conglomerados, seixos e blocos do embasamento cristalino, sustentados por blocos (pouca matriz entre blocos e blocos apoiando blocos) da Formação Cabo (2,7%).
- UT 04f – por rocha piroclástica com fragmentos de rocha do embasamento, cimentada por magma de natureza riolítica da Suíte Magmática Ipojuca – Ignimbrito (Kiig) (2,5%).
- UT 04g – por rocha carbonática de composição dolomítica, coloração de creme a cinza de Formação Estiva (Ke) (1,6%).
- UT 04h – por rocha afanítica na forma de derrames bem alterados, com esfoliação basáltica da Suíte Magmática Ipojuca – Basalto (Kibs) (0,48%).

Os solos maduros que ocorrem nessa unidade, nas áreas próximas às encostas, pertencem às classes dos Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos de textura arenoargilosa, pouco profundos. À medida que se aproxima dos cursos d'água podem ocorrer Gleissolos e nas áreas de influência dos manguezais, solos indiscriminados de mangue.

Nas áreas com substrato geológico composto por biotita-granito, o colúvio ocorre como uma massa de solo e fragmentos de rocha, relativamente fofo e fracamente consolidado ou sob a forma de depósito de tálus (Fotografia 7.4).

Fotografia 7.4 – Colúvio formado por material inconsolidado com fragmentos de rocha na massa do solo, colúvio formado por depósito de tálus

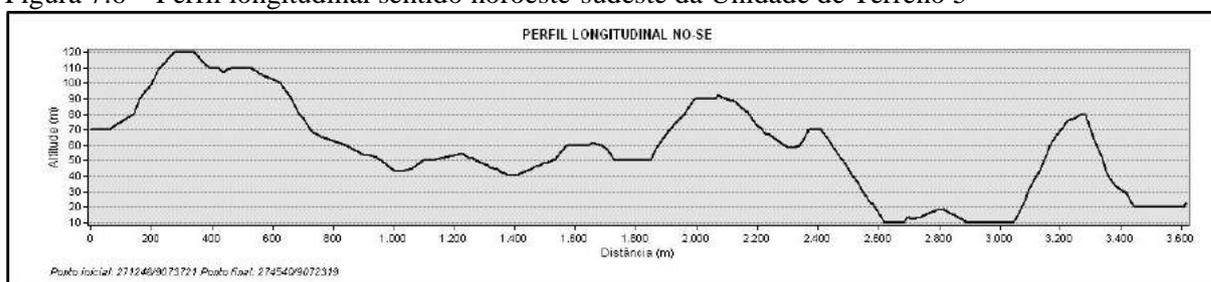


Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

UNIDADE DE TERRENO 5

Essa unidade tem uma área de 27 km² e representa 5% da área do município. O relevo é constituído por colinas com topos arredondados e vales abertos com formas de vertentes predominantemente convexas, com cotas altimétricas que variam de 10 a 120 metros de altitude (predomínio das cotas que variam de 20 a 40). Amplitude de relevo variando entre 20 e 60 metros; com declives que variam de 0° a 46°, sendo predominantes as declividades que variam de 11° a 30° (Figura 7.6).

Figura 7.6 – Perfil longitudinal sentido noroeste-sudeste da Unidade de Terreno 5

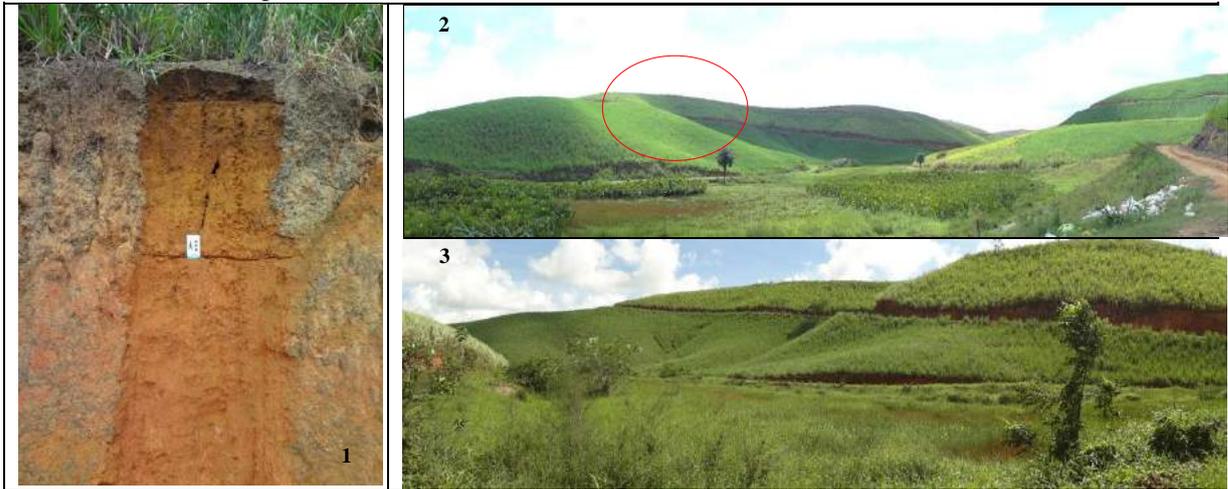


Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

O substrato é composto por rochas de textura fanerítica com cristais anédricos e equigranulares, coloração cinza a creme (Biotita-granito – Ny3 – 63%); por ortognaisses de composição granodiorítica, com presença de milonitos e migmatitos (Complexo Gnáissico-Migmatítico – Px – 23%) e por areais, siltes e argilas (Depósitos Aluviais – Qal – 14%).

Ocorrem solos maduros que pertencem às classes Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos lateríticos e não lateríticos de textura média argilosa a argilosa, Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos abruptos e não abruptos, plínticos e não plínticos de textura arenosa e média argilosa (relevo forte ondulado), Latossolos Amarelos de textura argilosa (relevo suave ondulado) e Gleissolos e Cambissolos gleico (baixadas) – Figura 7.5.

Fotografia 7.5 – 1 Perfil de solo residual maduro representativo da unidade, 2 visão geral das formas de relevo da unidade e 3 processos erosivos (ravinamentos) da unidade



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Os solos residuais jovens (saprolito) variam de 10 a 15 metros de espessura, podem ocorrer fragmentos de blocos rochosos residuais na massa do solo saprolítico (Fotografia 7.6).

Fotografia 7.6 – Perfil de solo com exposição de blocos na matriz do solo



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Caracterização geotécnica

De forma semelhante à UT 01, realizou-se a caracterização física das amostras coletadas em um perfil aberto no terreno em 6 amostras coletadas em diferentes profundidades (0,0 – 2,6 m). Apresentam-se, também, resultados de resistência ao cisalhamento realizado em amostra indeformada.

O resultado da composição granulométrica do solo mostra que se trata de um material com textura fina. Observa-se que a fração argila tem maior predominância no perfil, representando 50 % do material aproximadamente (Tabela 7.2).

De maneira geral, o material coletado ao longo do perfil é do tipo não uniforme por apresentar o coeficiente de não uniformidade maior do que 15 ($CNU > 15$) e do tipo mal graduado por apresentar coeficiente de curvatura menor do que 1 ($CC < 1$).

Tabela 7.2 – Composição granulométrica UT 5

Prof. (m)	Pedreg.	Areia G.	Areia M.	Areia F.	Silte	Argila	Classificação	
							CNU	CC
0 – 0,1	0	2	18	20	8	52	Não Unif.	Mal Grad.
0,1 – 0,5	0	1	2	29	16	52	Não Unif.	Mal Grad.
0,5 – 0,8	0	1	14	15	15	55	Não Unif.	Mal Grad.
0,8 – 1,15	0	2	13	22	18	45	Não Unif.	Mal Grad.
1,15 – 2,0	1	1	20	24	10	44	Não Unif.	Mal Grad.
2,0 – 2,6	0	0	10	20	10	60	Não Unif.	Mal Grad.

Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

De acordo com o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS), 3 amostras são argila de alta plasticidade (CH), 2 amostras são silte de alta plasticidade e 1 amostra é argila de baixa plasticidade (CL). Dessa forma, fica evidenciado que o perfil é heterogêneo, e o comportamento do solo varia em profundidade. Entretanto, a classificação textural dos solos da ASSHTO classifica 5 amostras como do tipo A-7-5: solo argiloso, cujo comportamento do material como subleito é do tipo sofrível a mau. A amostra localizada entre 0,1 e 0,5 metros foi classificada do tipo A-7-6.

Para os resultados obtidos da porcentagem de dispersão (Tabela 7.3), considerando partículas menores do que 0,05 mm de diâmetro, o solo é considerado de erodibilidade alta. Os resultados obtidos no índice de atividade da argila classificam as amostras como inativas, exceto 1 amostra (0,0 – 0,1 m) que é classificada como ativa.

Tabela 7.3 – Limites atterberg, razão de dispersão, classificação dos solos e índice de atividade UT 5

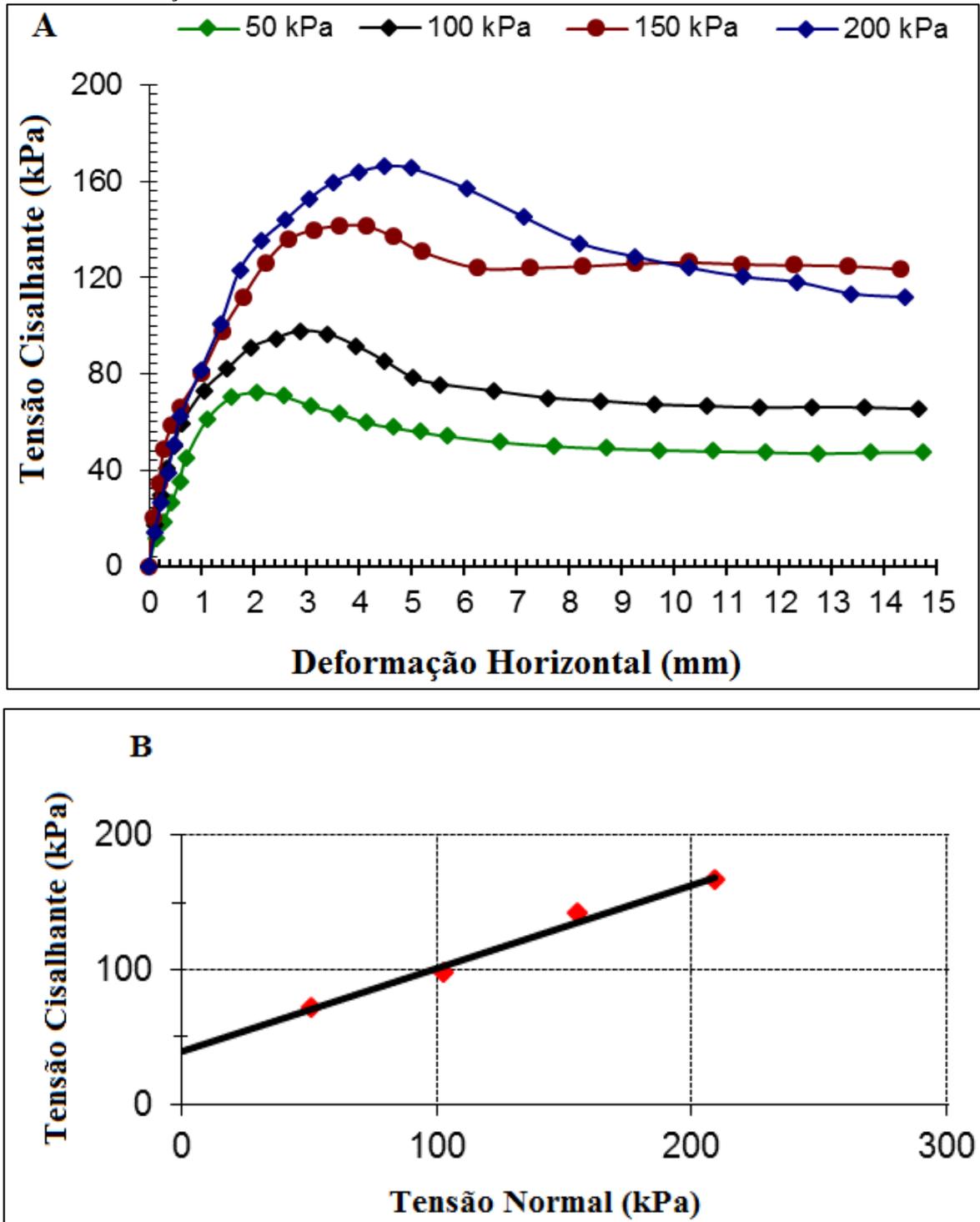
Prof. (m)	LL (%)	IP (%)	Razão Dispersão Midleton (1930)		Classificação dos Solos		Índice Atividade	
			R. D. Midleton (%)	Classif.	SUCS	AASHTO	Ia	Classif.
0 – 0,1	98,0	63,6	30,6	Alta Erodib.	CH	A-7-5	1,4	Ativa
0,1 – 0,5	41,7	16,7	31,8	Alta Erodib.	CL	A-7-6	0,4	Inativa
0,5 – 0,8	79,0	29,0	26,5	Alta Erodib.	MH	A-7-5	0,6	Inativa
0,8 – 1,15	79,0	29,0	27,0	Alta Erodib.	MH	A-7-5	0,9	Inativa
1,15 – 2,0	85,0	48,2	31,3	Alta Erodib.	CH	A-7-5	1,2	Inativa
2,0 – 2,6	98,0	63,6	20,5	Alta Erodib.	CH	A-7-5	1,2	Inativa

Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Os parâmetros de resistência foram obtidos mediante ensaios de cisalhamento direto. Esses ensaios realizaram-se nas tensões de 50 kPa, 100 kPa, 150 kPa e 200 kPa. Os parâmetros de resistência (coesão e ângulo de atrito), com os resultados obtidos na caracterização física do solo, ajudam a compreender de forma mais adequada o comportamento geomecânico do solo.

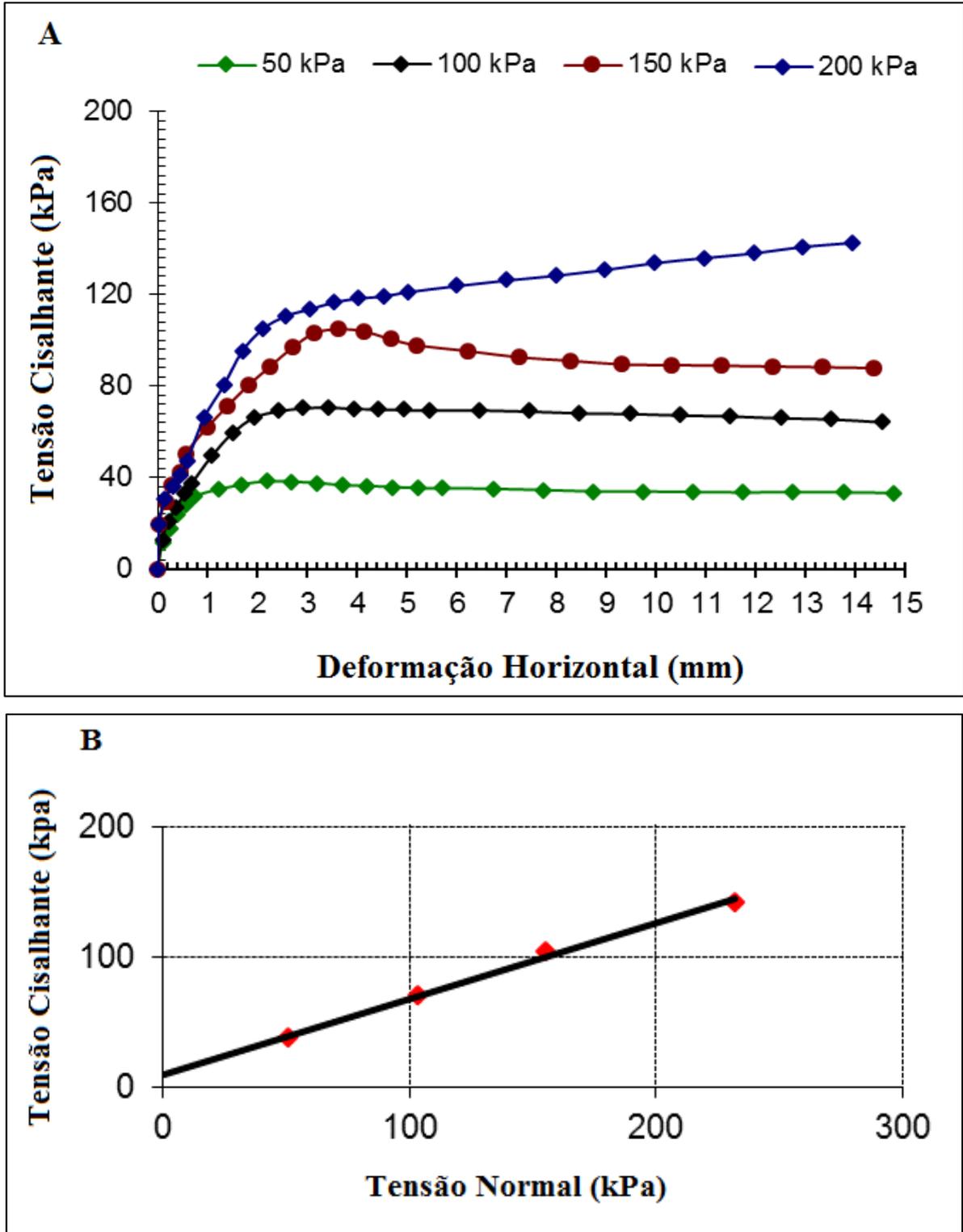
O Gráfico 7.1 (A) apresenta a curva de tensão cisalhante x deformação horizontal para o corpo de prova submetido ao ensaio na condição de umidade natural. O Gráfico 7.1 (B) apresenta a envoltória de resistência. Para os corpos de prova submetidos aos ensaios na condição inundado, apresenta-se no Gráfico 7.2 (A) a curva de tensão cisalhante x deformação horizontal e no Gráfico 7.2 (B) a envoltória de resistência.

Gráfico 7.1 – (A) Curva de tensão cisalhante x deformação horizontal; (B) Envoltória de resistência – amostra na condição de umidade natural – UT 5 – Umidade natural



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Gráfico 7.2 – (A) Curva de tensão cisalhante x deformação horizontal; (B) Envoltória de resistência – amostra na condição inundada – UT 5 – Inundado



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Observa-se nas curvas tensão cisalhante x deformação horizontal uma resistência de pico na ruptura das amostras submetidas a ensaios na condição de umidade natural.

A Tabela 7.4 apresenta os parâmetros de resistência ao cisalhamento, obtidos nos ensaios de cisalhamento direto realizados em amostras na condição de umidade natural e na condição inundada.

Tabela 7.4 – Parâmetros de resistência ao cisalhamento

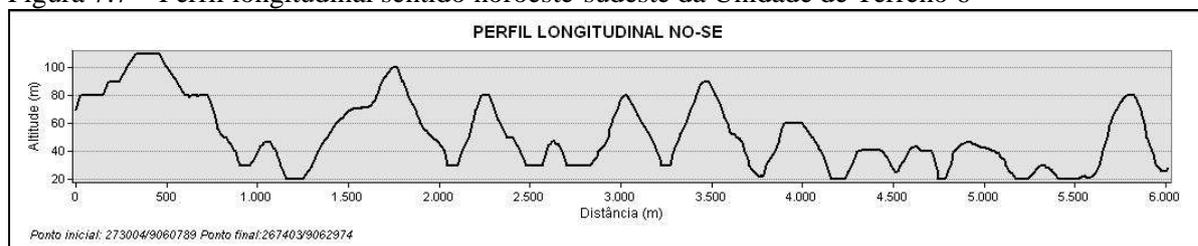
Amostra	UT	Geologia	Condição do CP	Coesão (kPa)	Ângulo de Atrito ϕ (°)
Bloco	05	Biotita-granito	Natural	39	32
			Inundado	10	30

Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

UNIDADE DE TERRENO 6

Essa unidade ocupa uma área de 23 km² e representa 4% da área do município. O relevo é constituído por colinas com topos arredondados e vales côncavos em cotas altimétricas que variam de 10 a 120 metros de altitude (predominante 50 a 70 metros). Grau de entalhamento médio (40 a 80 metros) e dimensão interfluvial pequena (variante de 250 a 750 metros) (Figura 7.7).

Figura 7.7 – Perfil longitudinal sentido noroeste-sudeste da Unidade de Terreno 6



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Apresentam, ainda, 82% das vertentes convexas e 18% côncavas. As declividades variam de 0° a 45° com o predomínio da faixa que varia de 17° a 27°.

O substrato é formado por rochas de textura fanerítica com cristais anédricos e equigranulares, coloração cinza a creme (Ny3 - 97%) e por areais, siltes e argilas (Qal - 3%).

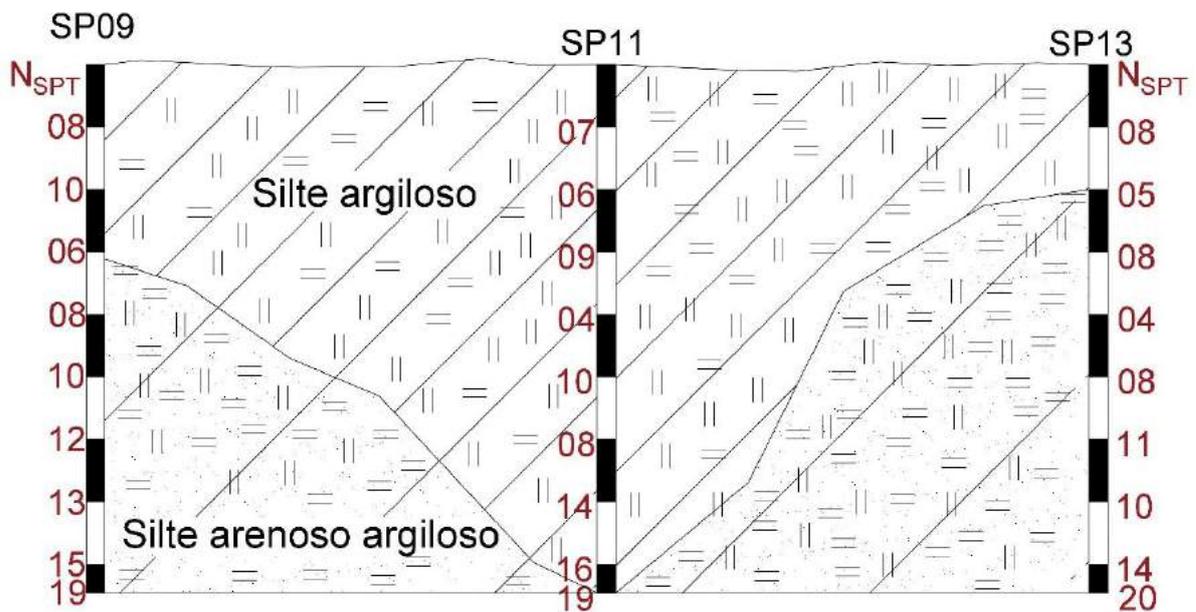
Os solos maduros pertencem às classes dos Latossolos Amarelos de textura argilosa a muito argilosa (relevo suave ondulado e ondulado com partes planas), Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos lateríticos e não lateríticos de textura média argilosa a argilosa (relevo

forte ondulado e ondulado) e Gleissolos e Cambissolos gleicos (baixadas). Os solos residuais jovens (saproлита) têm espessura que variam de 20 a 30 metros.

Perfil geotécnico

A Figura 7.8 apresenta um perfil geotécnico para a UT 06. Observa-se nas sondagens 11 e 13 um ponto de fraqueza a 4 metros de profundidade, onde o N_{SPT} é igual a 4. De forma geral, os valores de N_{SPT} são crescentes com a profundidade e apresentam pouca variabilidade (8 a 15).

Figura 7.8 – Perfil geotécnico UT 6

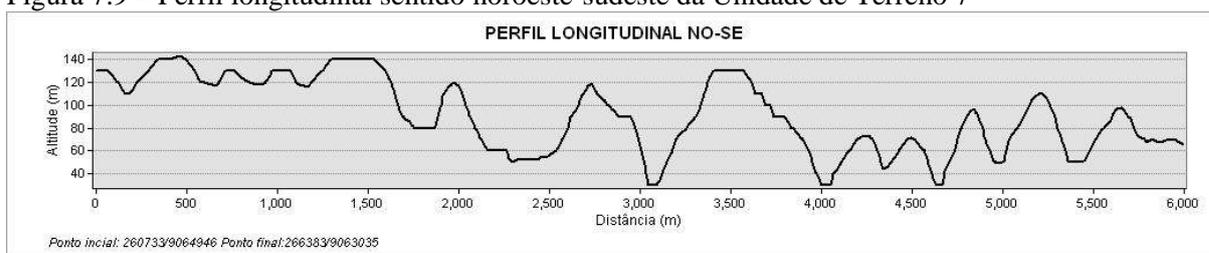


Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

UNIDADE DE TERRENO 7

Essa unidade tem a área de 98 km², que representa 18% da área total do município. O relevo é composto por colinas com topos arredondados e vales encaixados com cotas altimétricas que variam de 20 a 190 metros de altitude (predominam as cotas de 90 a 105 metros). Com amplitude de relevo variando entre 40 a 60 metros (Figura 7.9).

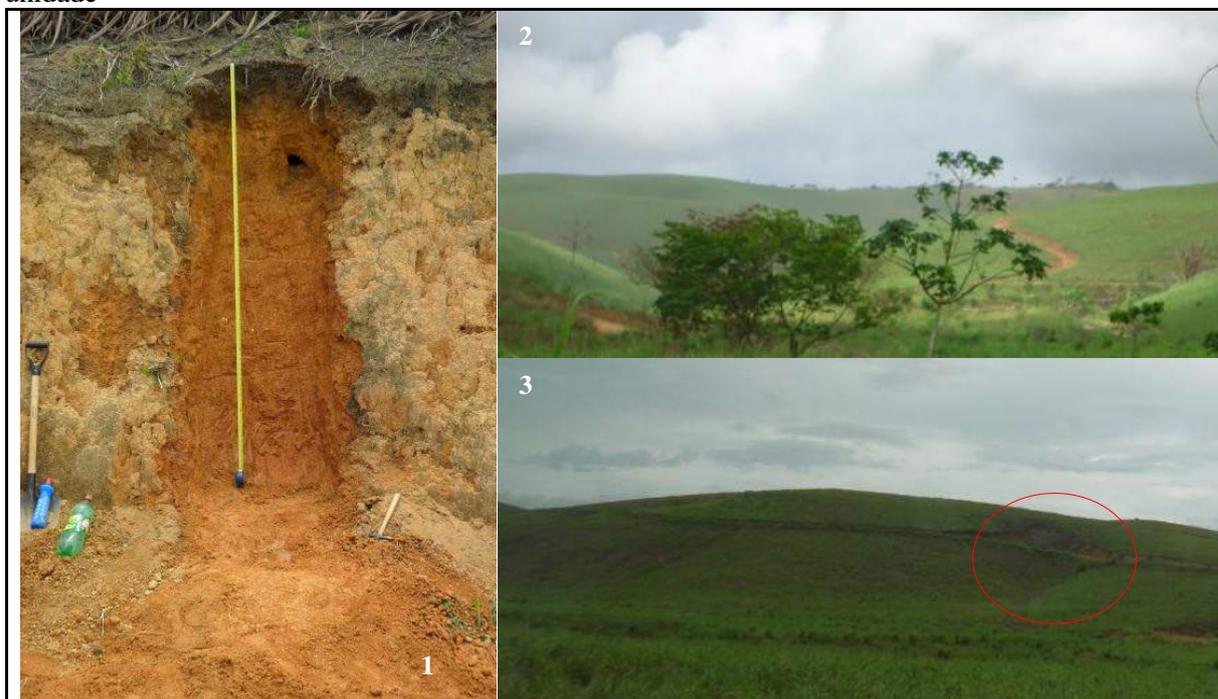
Figura 7.9 – Perfil longitudinal sentido noroeste-sudeste da Unidade de Terreno 7



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Predominam os vales encaixados, com grau de entalhamento forte (40 a 160 metros), dimensão interfluvial muito pequena (menos de 250 metros). As declividades variam de 0° a 50° , sendo mais frequente a faixa de declividade que varia de 17° a 27° . 72% das encostas que apresentam formato convexo, e 28% têm formato côncavo (Fotografia 7.7).

Fotografia 7.7 – 1. Perfil de solo residual maduro representativo da unidade, 2. Visão geral das formas de relevo da unidade e 3. Processos erosivos (ravinamentos e pequenos deslizamentos) que ocorrem na unidade



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

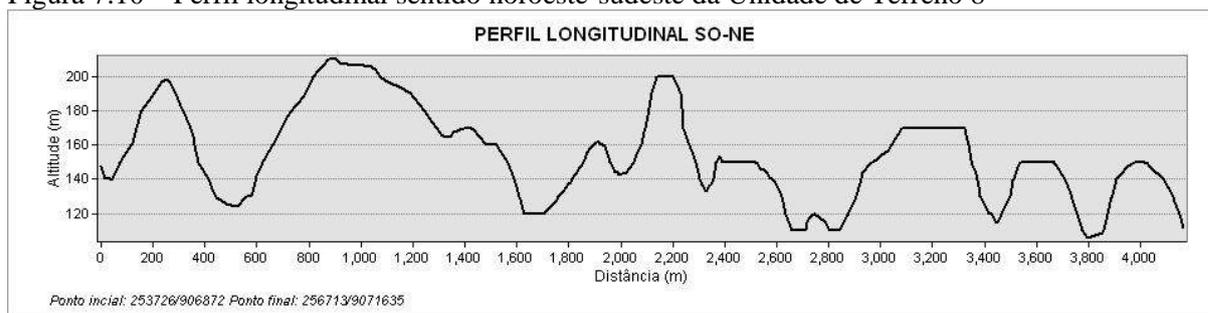
O substrato geológico é composto por rochas de textura fanerítica com cristais anédricos e equigranulares, coloração cinza a creme (Ny3 – 66%) e por ortognaisses de composição granodiorítica, com presença de milonitos e migmatitos (Complexo Gnáissico-Migmatítico (Px) – 34%).

Os solos maduros pertencem às classes dos Latossolos Amarelos de textura argilosa a muito argilosa (relevo suave ondulado e ondulado com partes planas), Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos lateríticos e não lateríticos de textura média argilosa a argilosa (relevo forte ondulado e ondulado) e Gleissolos e Cambissolos gleicos (baixadas). Solos residuais jovens (saprolito) com espessura que varia de 20 a 30 metros.

UNIDADE DE TERRENO 8

Esta unidade tem uma área de 8 km², que representa 2% da área total do município. O relevo é composto por colinas com topos arredondados e vales encaixados. As cotas altimétricas variam de 60 a 210 metros (predominam as cotas entre 90 e 170 metros) com amplitude que varia de 75 a 135 metros. As declividades variam de 0° a 49° sendo mais frequente a faixa de declividade que varia de 17° a 27°. Predominam os vales encaixados, com grau de entalhamento forte (40 a 160 metros), dimensão interfluvial muito pequena (menos que 250 metros) (Figura 7.10).

Figura 7.10 – Perfil longitudinal sentido noroeste-sudeste da Unidade de Terreno 8



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

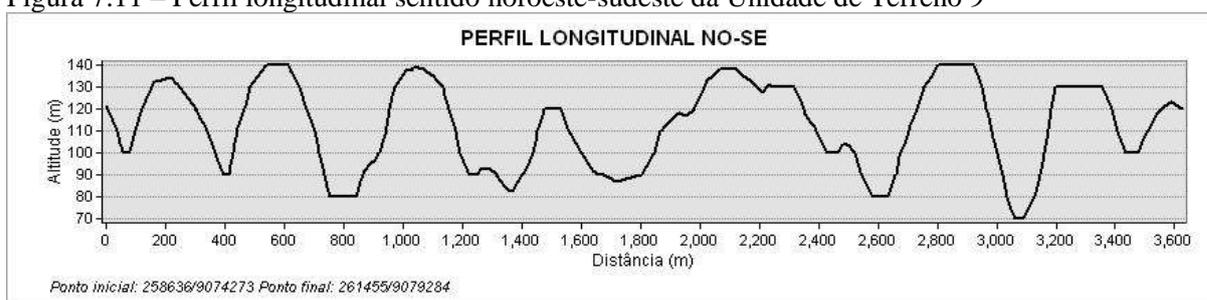
O substrato geológico é composto por ortognaisses de composição granodiorítica, com presença de milonitos e migmatitos (Complexo Gnáissico-Migmatítico – Px – 83%); por rocha de textura porfirítica, coloração cinza a creme, presença de anfibólios (Biotita-granito porfirítico – Ny2 – 14%) e por rochas de textura fanerítica com cristais anédricos e equigranulares, coloração cinza a creme – Ny3 – 3%.

Os solos maduros pertencem às classes dos Latossolos Amarelos de textura argilosa a muito argilosa (relevo suave ondulado e ondulado com partes planas), Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos lateríticos e não lateríticos de textura média argilosa a argilosa (relevo forte ondulado e ondulado) e Gleissolos e Cambissolos gleicos (baixadas). Solos residuais jovens (saprolito) com espessura que varia de 15 a 20 metros.

UNIDADE DE TERRENO 9

Essa unidade tem uma área de 73 km², que representa 14% da área total do município. O relevo é composto por colinas com topos arredondados e vales côncavos em cotas altimétricas que variam de 10 a 160 metros (predomínio 90 a 120 metros). Com amplitude de relevo que varia de 40 a 160 metros e dimensão interfluvial muito pequenos (menos que 250 metros). As declividades variam de 0° a 48°, sendo mais frequente a faixa de declividade que varia de 17° a 27° (Figura 7.11).

Figura 7.11 – Perfil longitudinal sentido noroeste-sudeste da Unidade de Terreno 9



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

O substrato geológico é composto por ortognaisses de composição granodiorítica, com presença de milonitos e migmatitos – Complexo Gnáissico-Migmatítico, Px, 71%; por rochas de textura fanerítica com cristais anédricos e equigranulares, coloração cinza a creme – Biotita-granito, Ny3, 22%; por rocha de textura fanerítica, granulação média, inequigranular e coloração cinza claro – Quartzo-sienito, Ny5, 7% e por areais, siltes e argilas – Coberturas recentes, Qal, 1%.

Podem ocorrer, em alguns setores isolados dessa unidade, enclaves de afloramentos de rochas que formam pequenos depósitos de tálus (Fotografia 7.8).

Fotografia 7.8 – Visão geral das formas de relevo da unidade, detalhe para a ocorrência de pequenos afloramentos de rocha



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

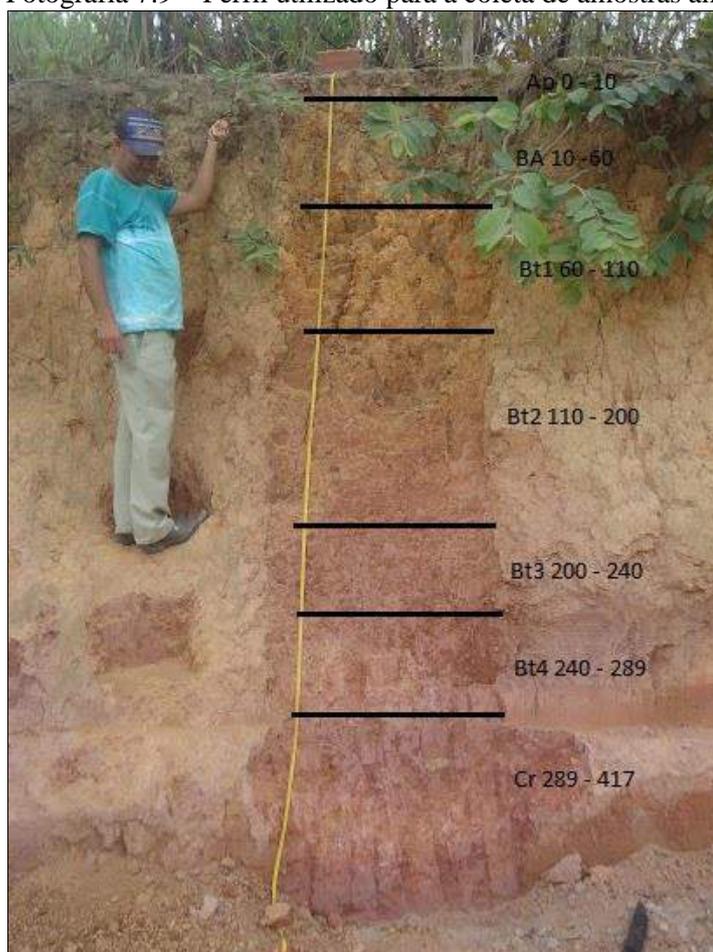
Os solos maduros pertencem às classes dos Latossolos Amarelos de textura argilosa a muito argilosa (relevo suave ondulado e ondulado com partes planas), Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos lateríticos e não lateríticos de textura média argilosa a argilosa (relevo forte ondulado e ondulado) e Gleissolos e Cambissolos gleicos (baixadas). Os solos residuais jovens (saprolito) têm espessura que variam de 20 a 30 metros.

Caracterização geotécnica

Nesta UT utilizam-se resultados de ensaios de duas dissertações desenvolvidas no grupo de pesquisa do Gegep. Os ensaios de caracterização física (análise granulométrica e limites de atterberg) realizaram-se em amostras amolgadas coletadas em um perfil aberto no terreno (Fotografia 7.9). O perfil tem 4,17 metros de profundidade, no qual coletaram-se seis amostras em profundidades distintas, conforme se apresenta na Tabela 7.5. Dados obtidos com base em Henrique (2014).

No estudo desenvolvido por Almeida (2016), coletaram-se dois blocos na encosta (topo e meia encosta). Os resultados dos ensaios apresentam-se abaixo.

Fotografia 7.9 – Perfil utilizado para a coleta de amostras amolgadas UT 9



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

No estudo de Henrique (2014), observa-se que a textura do solo, de acordo com a composição granulométrica, classifica-se como um solo fino. A fração argila representa a maior parte do material do perfil. Observa-se que até a profundidade de 2 metros, a fração argila é responsável por, aproximadamente, 70 % do material.

O solo presente nesse perfil caracteriza-se como um solo do tipo não uniforme ($CNU > 15$) e do tipo mal graduado ($CC < 1$).

Tabela 7.5 – Composição granulométrica UT 9

Prof. (m)	Pedreg.	Areia G.	Areia M.	Areia F.	Silte	Argila	Classificação	
							CNU	CC
0 – 0,1	0	1	12	13	4	70	Não Unif.	Mal Grad.
0,21 – 0,6	1	2	12	12	5	68	Não Unif.	Mal Grad.
0,6 – 1,1	4	1	8	10	9	68	Não Unif.	Mal Grad.
1,1 – 2,0	0	2	8	9	13	68	Não Unif.	Mal Grad.
2,0 – 2,4	3	2	13	14	18	50	Não Unif.	Mal Grad.
2,89 – 4,17	0	2	13	17	33	35	Não Unif.	Mal Grad.

Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

A Tabela 7.6 apresenta os resultados da composição granulométrica obtidos por Almeida (2016). Observa-se que o resultado da composição granulométrica também apresenta um solo de classificação fina.

Tabela 7.6 – Composição granulométrica Bloco 1 e Bloco 2

Amostra	Localização	Pedreg.	Areia G.	Areia M.	Areia F.	Silte	Argila
Bloco 1	Meia Encosta	7	4	14	12	7	56
Bloco 2	Topo Encosta	0	2	20	26	30	22

Fonte: Almeida (2016).

A partir dos resultados obtidos em Henrique (2014), observa-se que, de acordo com o SUCS, todas as amostras são argila de alta plasticidade (CH). Dessa forma, fica evidenciado que o perfil pode apresentar comportamento homogêneo. A classificação textural dos solos da ASSHTO classifica todas as amostras do tipo A-7-5, o qual corrobora o possível comportamento homogêneo do perfil apresentado de acordo com a classificação do SUCS, conforme se apresenta na Tabela 7.7.

Para os resultados obtidos da porcentagem de dispersão (Tabela 7.7), o solo é considerado de erodibilidade alta até 0,6 metros de profundidade e de erodibilidade média até o fim do perfil (0,6 a 4,17 m). Os resultados obtidos no índice de atividade da argila classificam as amostras como inativa, exceto a última amostra (2,89 a 4,17 m) que é classificada como normal.

Tabela 7.7 – Limites atterberg, razão de dispersão, classificação dos solos e índice de atividade UT 9

Prof. (m)	LL (%)	IP (%)	Razão Dispersão Midleton (1930)		Classificação dos Solos		Índice Atividade	
			R. D. Midleton (%)	Classif.	SUCS	AASHTO	Ia	Classif.
0 – 0,1	56,5	22,5	34,2	Alta Erodib.	CH	A-7-5	0,35	Inativa
0,21 – 0,6	65,8	27,1	27,8	Alta Erodib.	CH	A-7-5	0,43	Inativa
0,6 – 1,1	62,7	22,1	24,7	Média Erodib.	CH	A-7-5	0,37	Inativa
1,1 – 2,0	78,5	31,7	24,4	Média Erodib.	CH	A-7-5	0,58	Inativa
2,0 – 2,4	63,0	22,7	22,1	Média Erodib.	CH	A-7-5	0,56	Inativa
2,89 – 4,17	67,3	27,6	21,7	Média Erodib.	CH	A-7-5	1,16	Normal

Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Os resultados obtidos em Almeida (2016) descrevem o material da área como MH, podendo apresentar índice de atividade normal (amostra coletada no topo da encosta) e inativa (amostra coletada no meio da encosta). As duas amostras são de alta erodibilidade. A classificação textural dos solos da ASSHTO classifica as amostras do tipo A-7-5, mesma classificação encontrada nas demais amostras ensaiadas nessa UT (Tabela 7.8).

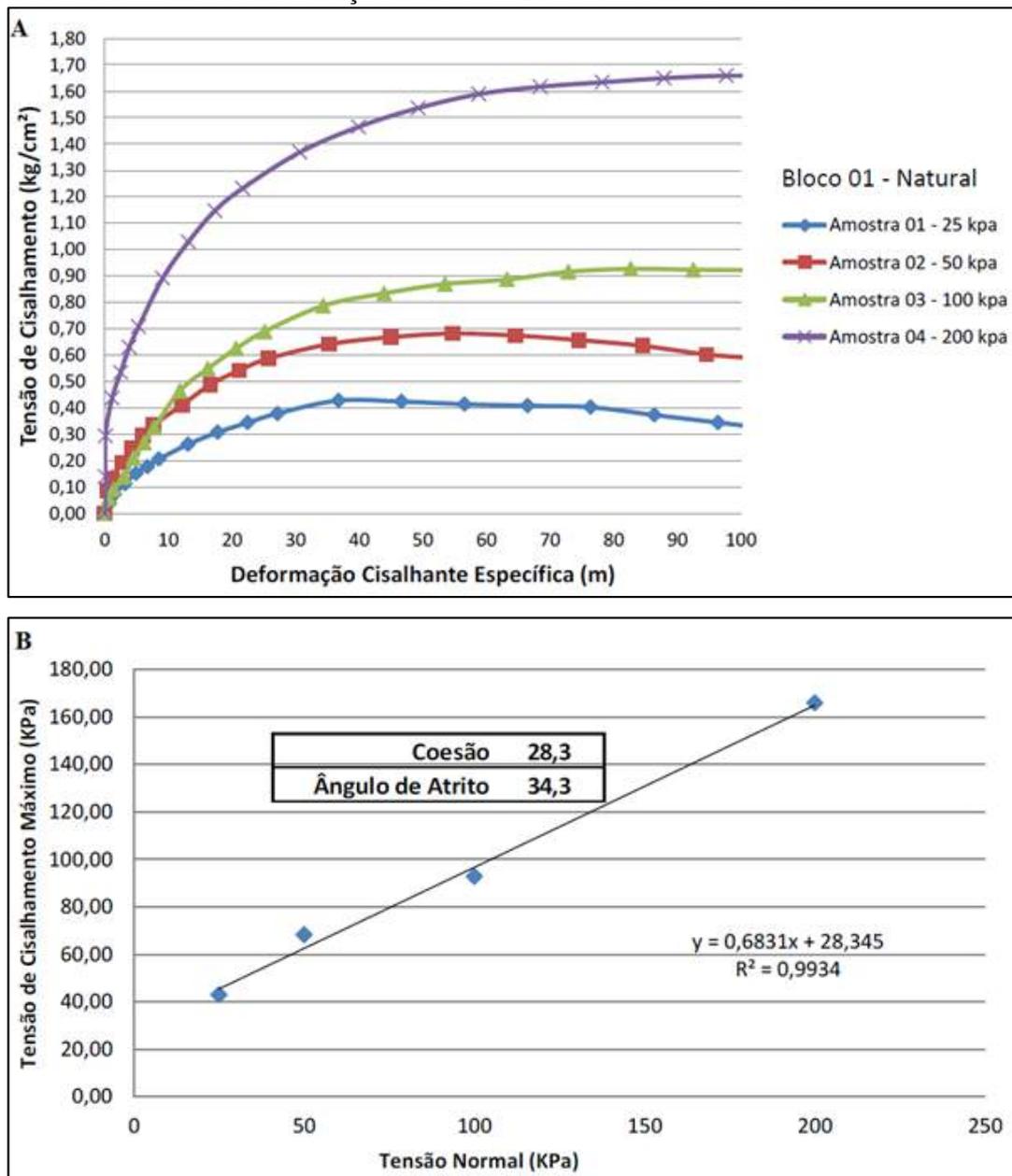
Tabela 7.8 – Limites atterberg, razão de dispersão, classificação dos solos e índice de atividade Bloco 1 e Bloco 2

Amostra	Localização	LL (%)	IP (%)	Razão Dispersão Midleton (1930)		Classificação dos Solos		Índice Atividade	
				R. D. Midleton (%)	Classif	SUCS	AASHTO	Ia	Classif.
Bloco 1	Meia Encosta	62	27	46,2	Alta Erodib	MH	A-7-5	0,52	Inativa
Bloco 2	Topo Encosta	51	20	28,6	Alta Erodib	MH	A-7-5	1,24	Normal

Fonte: Almeida (2016).

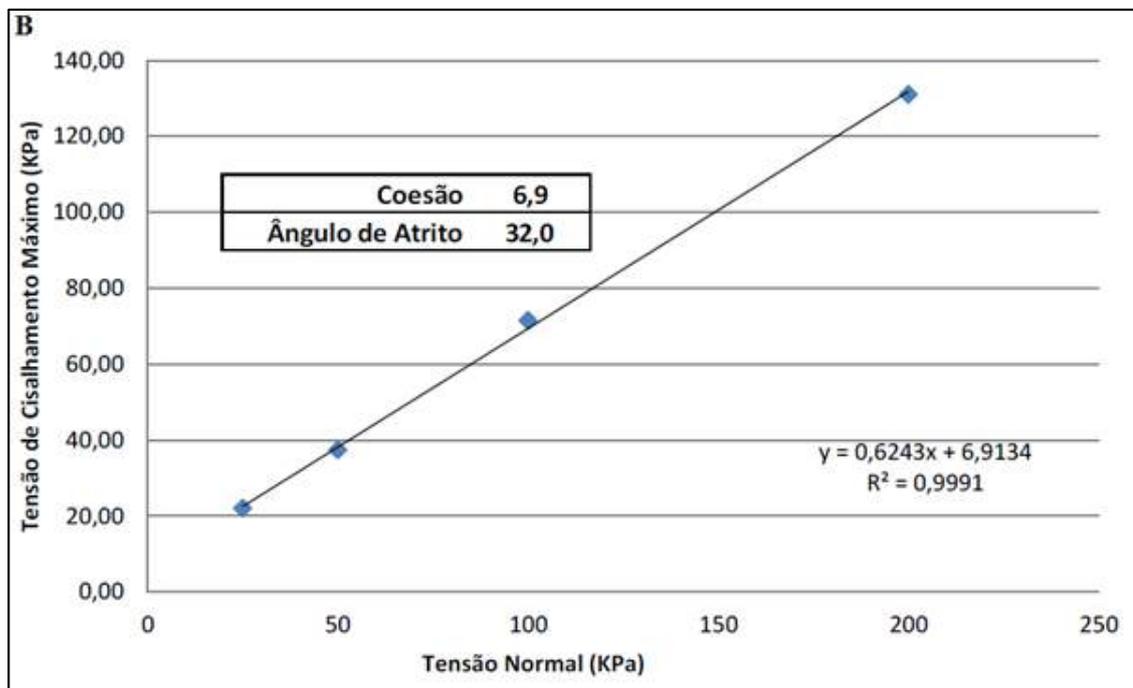
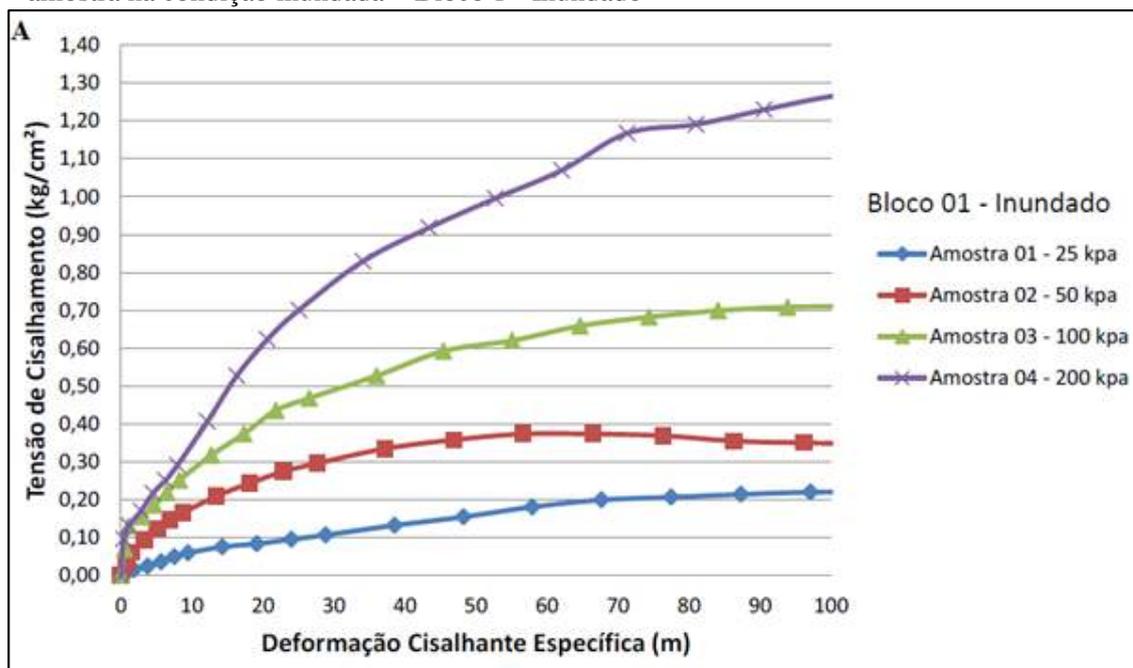
O Gráfico 7.3 (A) apresenta a curva de tensão cisalhante x deformação horizontal para o corpo de prova submetido ao ensaio na condição de umidade natural. O Gráfico 7.3 (B) apresenta a envoltória de resistência (Bloco 1). Para os corpos de prova do bloco 1 submetidos aos ensaios na condição inundado, apresenta-se no Gráfico 7.4 (A) a curva de tensão cisalhante x deformação horizontal e no Gráfico 7.4 (B) a envoltória de resistência. De forma análoga ao Bloco 1, os Gráficos 7.5 e 7.6 apresentam os gráficos citados acima para o Bloco 2. Tais resultados foram extraídos de Almeida (2016).

Gráfico 7.3 – (A) Curva de tensão cisalhante x deformação horizontal; (B) Envoltória de resistência – amostra na condição inundada – Bloco 1 – Umidade Natural



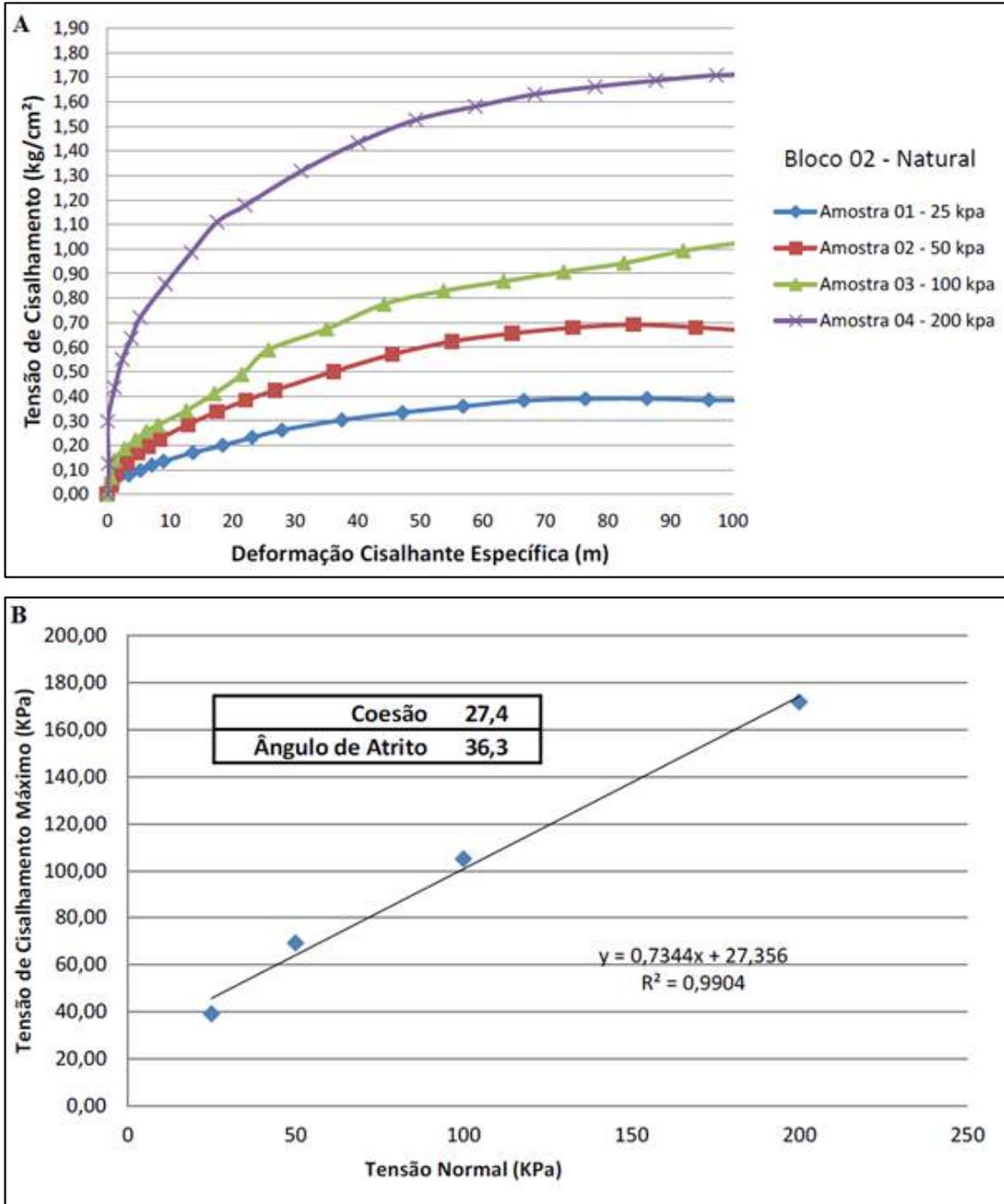
Fonte: Almeida (2016).

Gráfico 7.4 – (A) Curva de tensão cisalhante x deformação horizontal; (B) Envolvória de resistência – amostra na condição inundada – Bloco 1 - Inundado



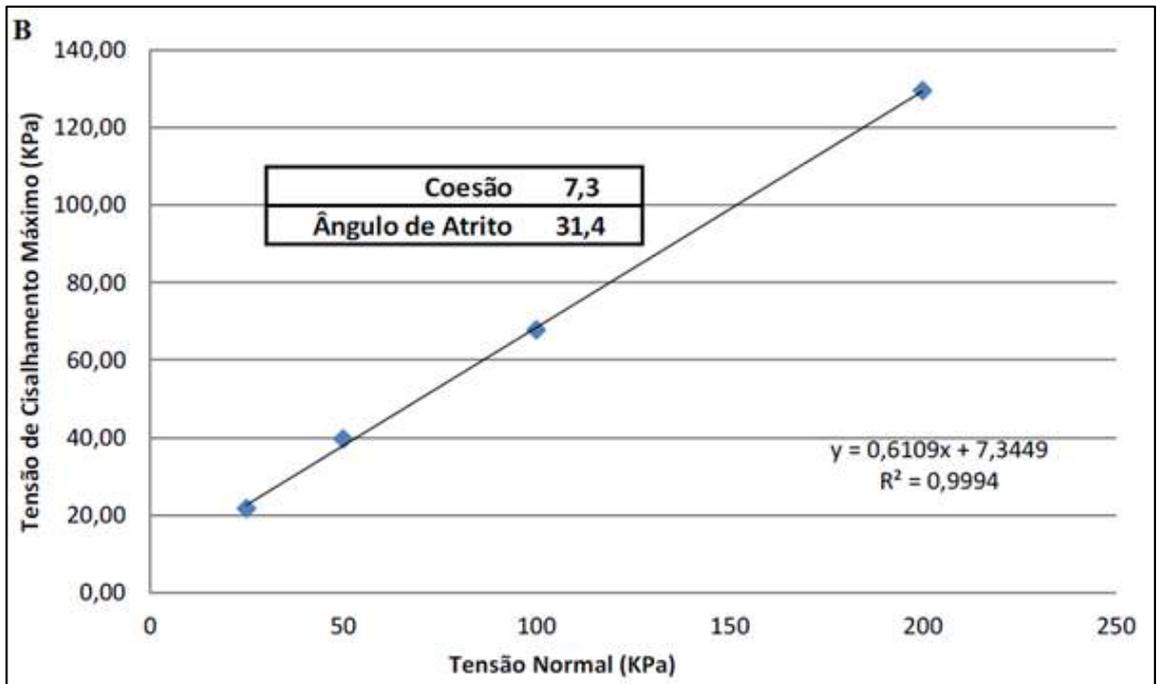
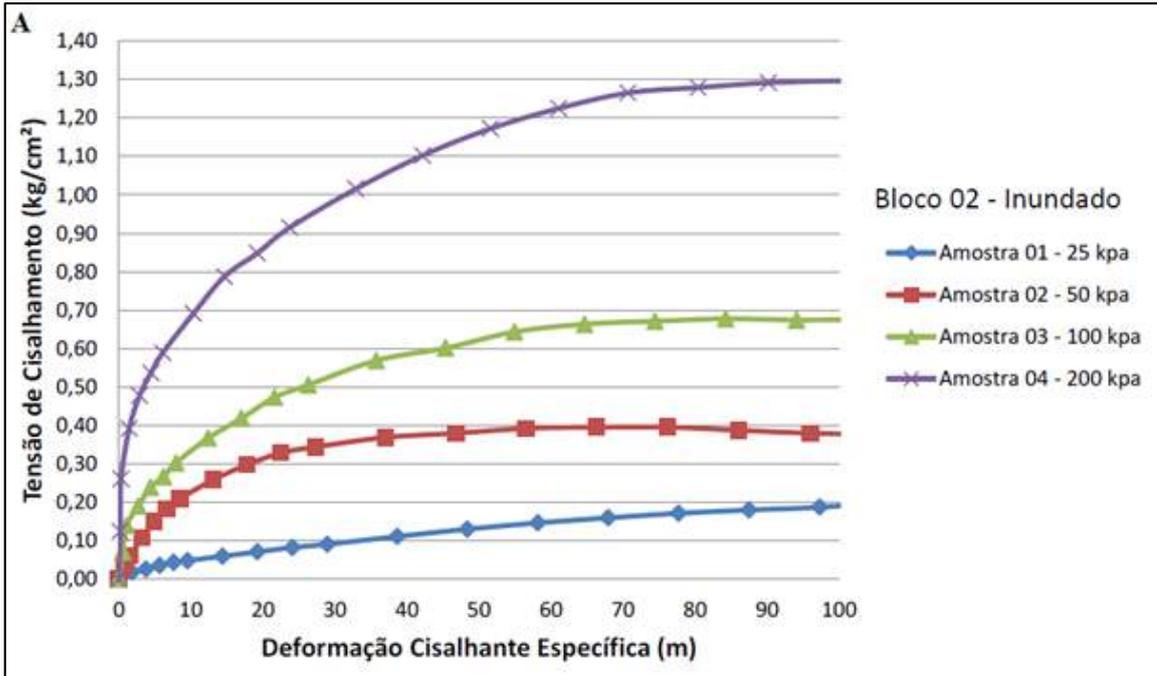
Fonte: Almeida (2016).

Gráfico 7.5 – (A) Curva de tensão cisalhante x deformação horizontal; (B) Envolvória de resistência – amostra na condição inundada – Bloco 2 – Umidade Natural



Fonte: Almeida (2016).

Gráfico 7.6 – (A) Curva de tensão cisalhante x deformação horizontal; (B) Envolvória de resistência – amostra na condição inundada – Bloco 1 - Inundado

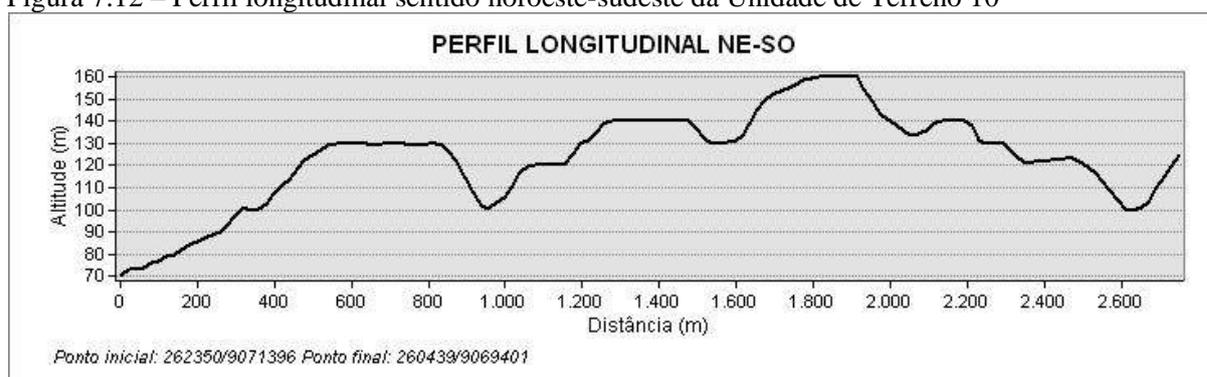


Fonte: Almeida (2016).

UNIDADE DE TERRENO 10

A Unidade de Terreno 10 tem uma área de 30 km² que representa 6% da área total do município. O relevo é composto por colinas de topos aguçados e vales encaixados em cotas altimétricas que variam de 50 a 220 metros de altitude (predomina de 100 a 160 metros). Com amplitudes altimétricas que variam de 50 a 80 metros e com dimensões interfluviais muito pequenas (<250 metros). As declividades variam de 0° a 52° com o predomínio das declividades entre 17° e 27 (Figura 7.12).

Figura 7.12 – Perfil longitudinal sentido noroeste-sudeste da Unidade de Terreno 10



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

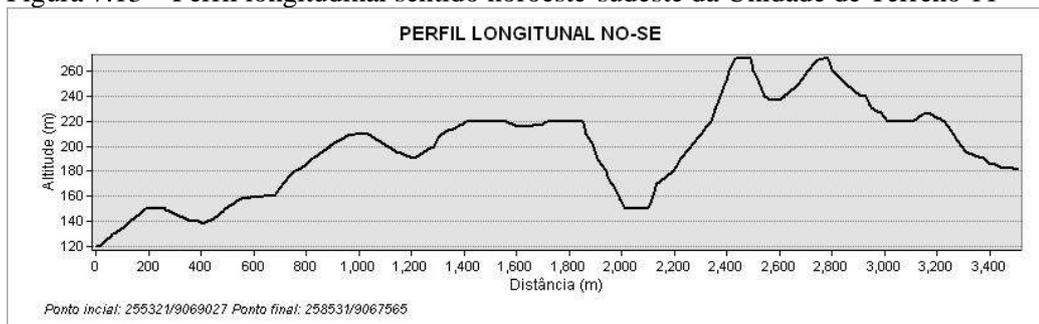
O substrato geológico é composto por rochas de textura fanerítica com cristais anédricos e equigranulares, coloração cinza a creme – Ny3 – 58%, por rocha de textura porfirítica, coloração cinza a creme, presença de anfibólios – Biotita-granito porfirítico, Ny2, 35%, e por ortognaisses de composição granodiorítica, com presença de milonitos e migmatitos – Complexo Gnáissico-Migmatítico, Px, 7%.

Os solos maduros desenvolvidos nessa unidade pertencem, predominantemente, às classes dos Latossolos Amarelos de textura argilosa e muito argilosa nas áreas de relevo suave ondulado (2° a 4°) e ondulado (4° a 9°) com partes planas (< 3°) e Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelo lateríticos e não lateríticos de textura média argilosa a muito argilosa nas áreas de relevo forte ondulado (9° a 20°). Nas partes baixas e planas, ocorrem associados Gleissolos e Cambissolos gleicos. Os solos saprolíticos (solos jovens), variam de 5 a 20 metros de espessura.

UNIDADE DE TERRENO 11

Essa unidade tem uma área de 23 km², que representa 4% da área total do município. O relevo é composto por colinas com topos aguçados e vales encaixados em cotas altimétricas que variam de 80 a 310 metros de altitude (predomina de 150 a 250 metros); com amplitudes altimétricas que variam de 80 a 130 metros e dimensões interfluviais muito pequenas (<250 metros). As declividades variam de 0° a 62°, sendo predominante a classe de 17° a 27° (Figura 7.13).

Figura 7.13 – Perfil longitudinal sentido noroeste-sudeste da Unidade de Terreno 11



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

O substrato geológico é composto por rocha de textura porfirítica, coloração cinza a creme, presença de anfibólios (Biotita-granito porfirítico – Ny2 – 78%), por rochas de textura fanerítica com cristais anédricos e equigranulares, coloração cinza a creme – Ny3 – 17%, e por ortognaisses de composição granodiorítica, com presença de milonitos e migmatitos (Complexo Gnáissico-Migmatítico – Px – 5%).

Os solos maduros desenvolvidos nessa unidade pertencem, predominantemente, às classes dos Latossolos Amarelos de textura argilosa e muito argilosa nas áreas de relevo suave ondulado (2° a 4°) e ondulado (4° a 9°) com partes planas (< 3°), e Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelo lateríticos e não lateríticos de textura média argilosa a muito argilosa nas áreas de relevo forte ondulado (9° a 20°). Nas partes baixas e planas, ocorrem associados Gleissolos e Cambissolos gleicos. Os solos saprolíticos (solos jovens) variam de 5 a 20 metros de espessura. Nessa unidade ocorrem afloramentos de rochas na superfície em forma de maciços e matacões de dimensão decamétricas (Fotografias 7.10 a 7.13).

Fotografia 7.10 – Blocos rochosos de dimensão decamétricas que ocorrem na unidade



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Fotografia 7.11 – Processo erosivo (voçoroca) observado na unidade



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Fotografia 7.12 – Corte de estrada expondo perfil de solo residual jovem que ocorre na unidade, detalhe para a ocorrência de blocos na matriz do solo



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Fotografia 7.13 – Cicatriz de erosão encontrada na unidade

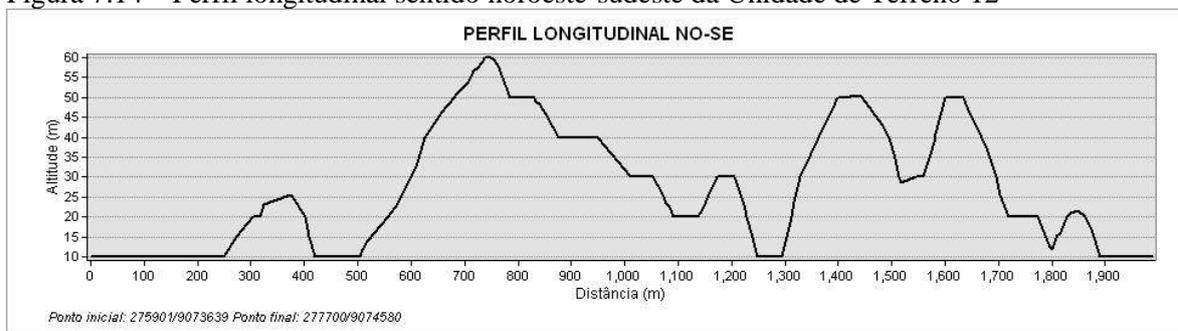


Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

UNIDADE DE TERRENO 12

Essa unidade tem uma área de 15 km², que representa 3% da área total do município. O relevo é composto por colinas de topos arredondados e vales abertos em cotas altimétricas que variam de 10 a 80 metros de altitude (predomina 20 a 50). Com amplitude que varia de 20 a 60 metros e declividade que varia de 0° a 42°, sendo predominante a classe de 0° a 7° (Figura 7.14).

Figura 7.14 – Perfil longitudinal sentido noroeste-sudeste da Unidade de Terreno 12



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

O substrato é formado por conglomerados, seixos e blocos do embasamento cristalino, sustentados por blocos – pouca matriz entre blocos e blocos apoiando blocos (Formação Cabo – Kc) (Fotografias 7.14 e 7.15).

Fotografia 7.14 – Corte de estrada expondo o conglomerado da Formação Cabo



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Fotografia 7.15 – Processo de deslizamento na Formação Cabo

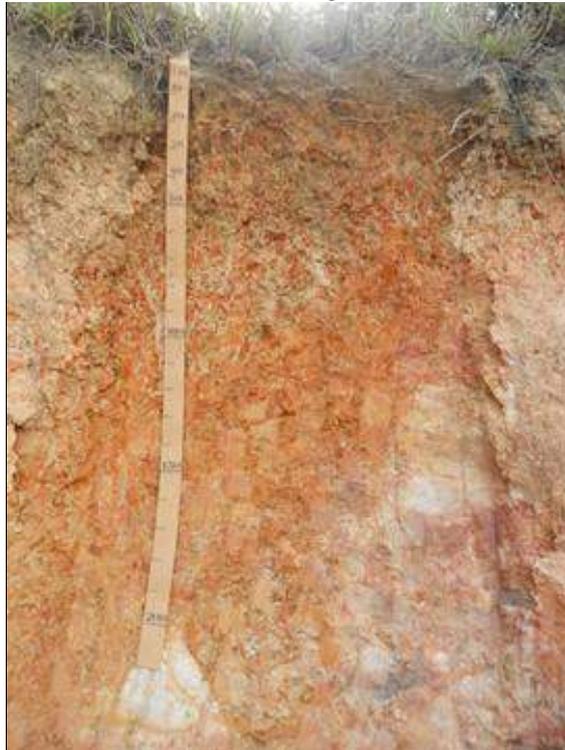


Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Por ser suportado por blocos, o substrato dessa unidade tem baixa coesão e alta permeabilidade, facilitando a percolação da água, posterior desestabilização da rocha e conseqüentemente maior risco de deslizamento. Podem ocorrer argilas expansivas.

Os solos residuais maduros que ocorrem na unidade pertencem à classe dos Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos com presença de argila expansiva (Fotografia 7.16).

Fotografia 7.16 – Perfil de solo residual maduro observado na Formação Cabo classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo plúntico



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

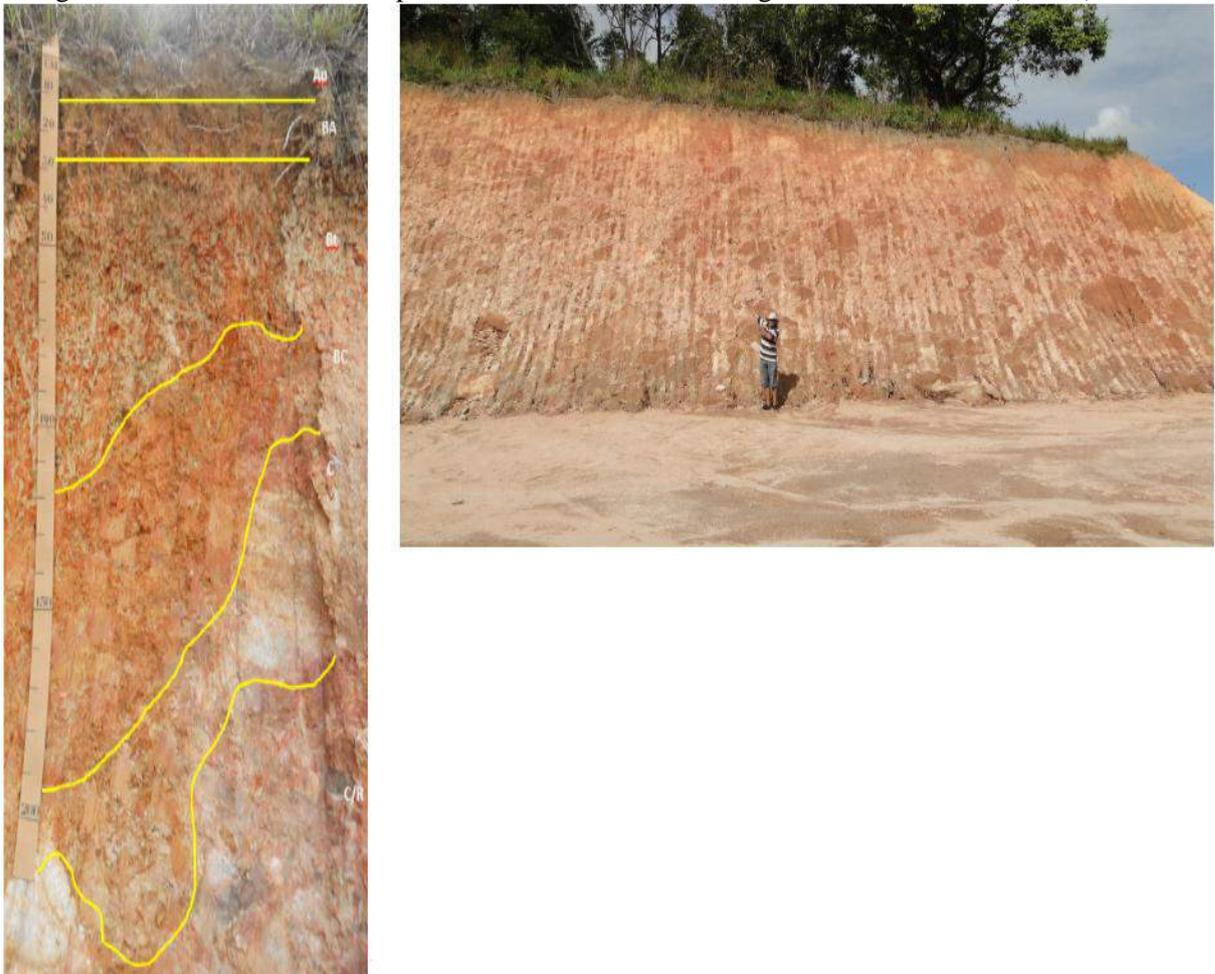
Os solos residuais jovens (saprolito) são profundos variando de 20 a 40 metros de espessura com textura argilosa a média argilosa.

Caracterização geotécnica

De forma semelhante à UT 5, realizaram-se ensaios de caracterização física e resistência ao cisalhamento. Entretanto, esta investigação está localizada na Formação Cabo.

Os ensaios de análise granulométrica e limites de atterberg realizaram-se em amostras amolgadas coletadas em um perfil aberto no talude (Fotografia 7.17). De acordo com a pedologia, esse perfil tem seis horizontes (AP, BA, BT, BC, C e C/R) e as amostras foram coletadas nos quatro últimos horizontes (BT, BC, C e C/R). A amostra indeformada, tipo bloco, foi retirada no horizonte C. Para essa amostra indeformada, realizaram-se ensaios de resistência ao cisalhamento.

Fotografia 7.17 – Perfil utilizado para a coleta de amostras amolgadas e indeformada (bloco) UT 12



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

O solo é classificado como um solo fino, de acordo com sua textura obtida no ensaio granulométrico. Nos horizontes pedológicos em que se coletaram amostras amolgadas, observa-se um equilíbrio entre a fração areia (40 %) e a fração argila (40 %), conforme apresenta a Tabela 7.9. Em geral, a fração silte corresponde a 20 % do material. O solo presente nesse perfil caracteriza-se como um solo do tipo não uniforme (CNU > 15) e do tipo mal graduado (CC > 3).

Tabela 7.9 – Composição granulométrica UT 12

Horizonte	Pedreg.	Areia G.	Areia M.	Areia F.	Silte	Argila	Classificação	
							CNU	CC
BT	1	9	17	13	20	40	Não Unif.	Mal Grad.
BC	1	9	17	14	20	39	Não Unif.	Mal Grad.
C	1	10	15	14	21	39	Não Unif.	Mal Grad.
C/R	2	13	15	13	25	32	Não Unif.	Mal Grad.

Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

As amostras foram classificadas do tipo argila de alta plasticidade (CH), de acordo com o SUCS. Com base na classificação textural dos solos da American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), todas as amostras são do tipo A-7: solo argiloso, cujo comportamento do material como subleito é do tipo sofrível a mau (Tabela 7.10).

Tabela 7.10 – Limites atterberg, razão de dispersão, classificação dos solos e índice de atividade UT 12

Horizonte	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Razão Dispersão Midleton (1930)		Classificação dos Solos		Índice Atividade	
				R. D. Midleton (%)	Classif.	SUCS	AASHTO	Ia	Classif.
BT	71	22	49	22,8	Média Erodib.	CH	A-7	1,25	Ativa
BC	79	24	55	32,2	Alta Erodib.	CH	A-7	1,41	Ativa
C	79	26	53	30,6	Alta Erodib.	CH	A-7	,36	tiva ^A
C/R	59	18,5	40,5	32,1	Alta Erodib.	CH	A-7	1,26	Ativa

Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

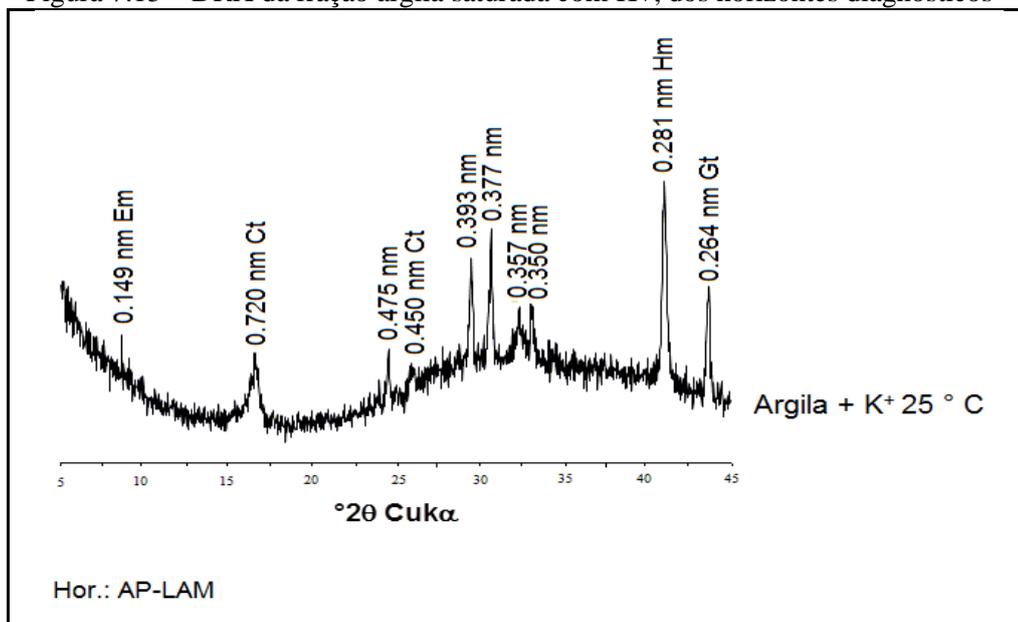
Os resultados obtidos da porcentagem de dispersão classifica o solo como de erodibilidade alta nos três últimos horizontes (BC, C e C/R) e erodibilidade média no horizonte BT.

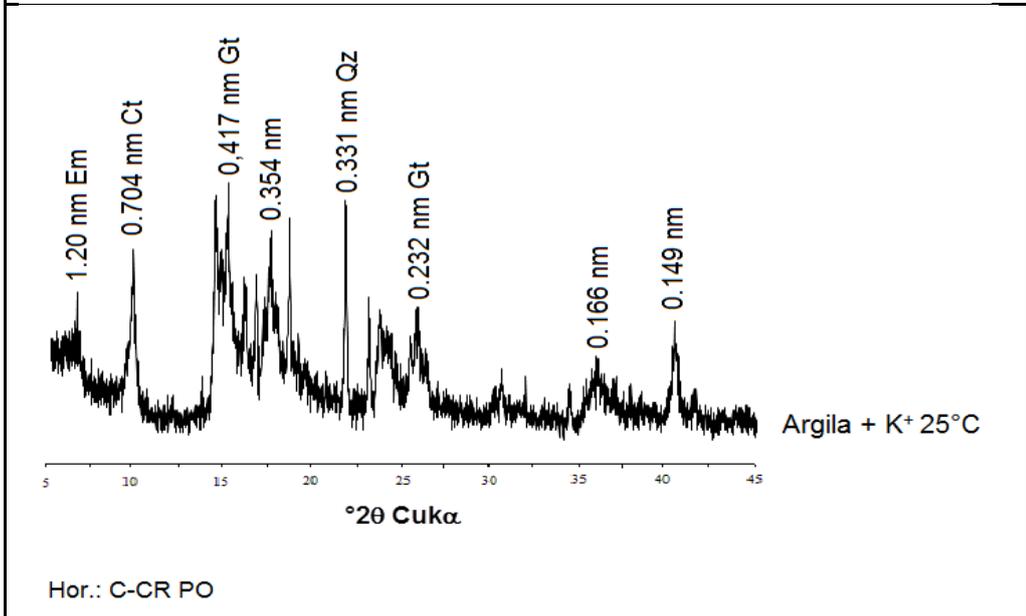
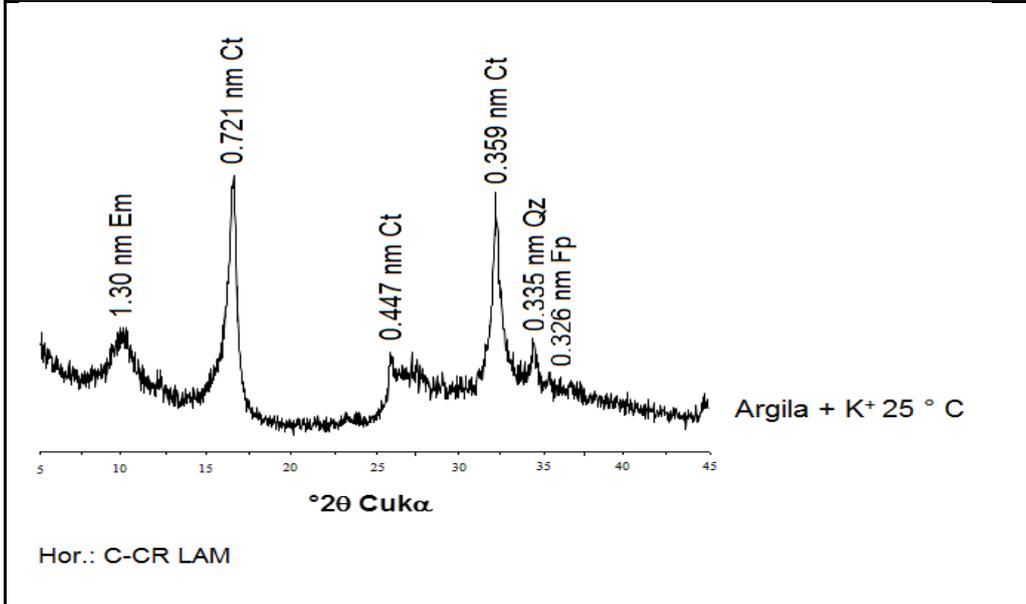
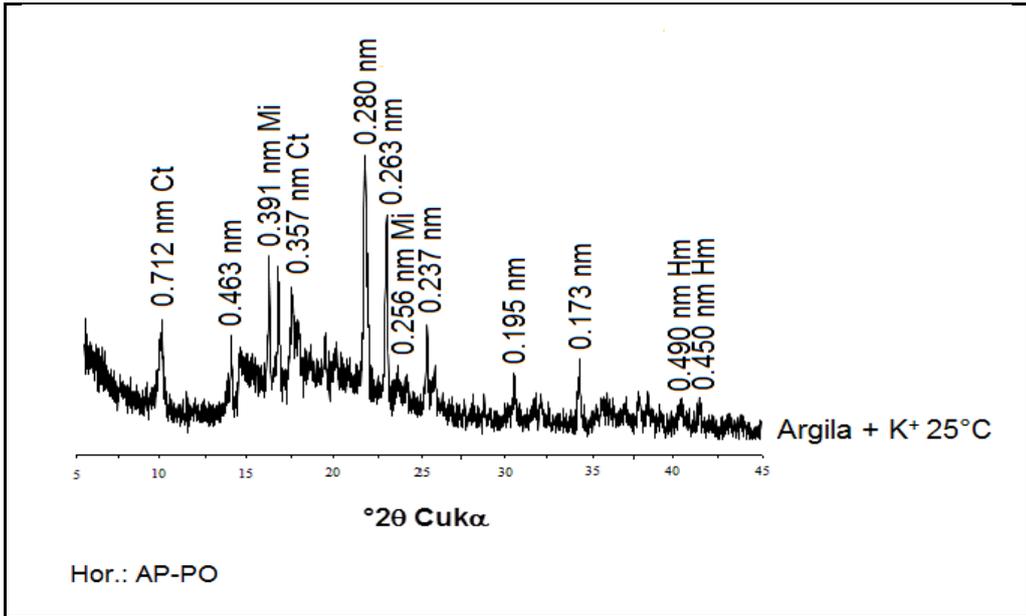
No índice de atividade da argila, os resultados obtidos classificam todas as amostras como ativa. O potencial expansivo do solo será discutido com maior aprofundamento quando forem apresentados os resultados obtidos na caracterização mineralógica dos constituintes do solo por meio de fluorescência de raios-X.

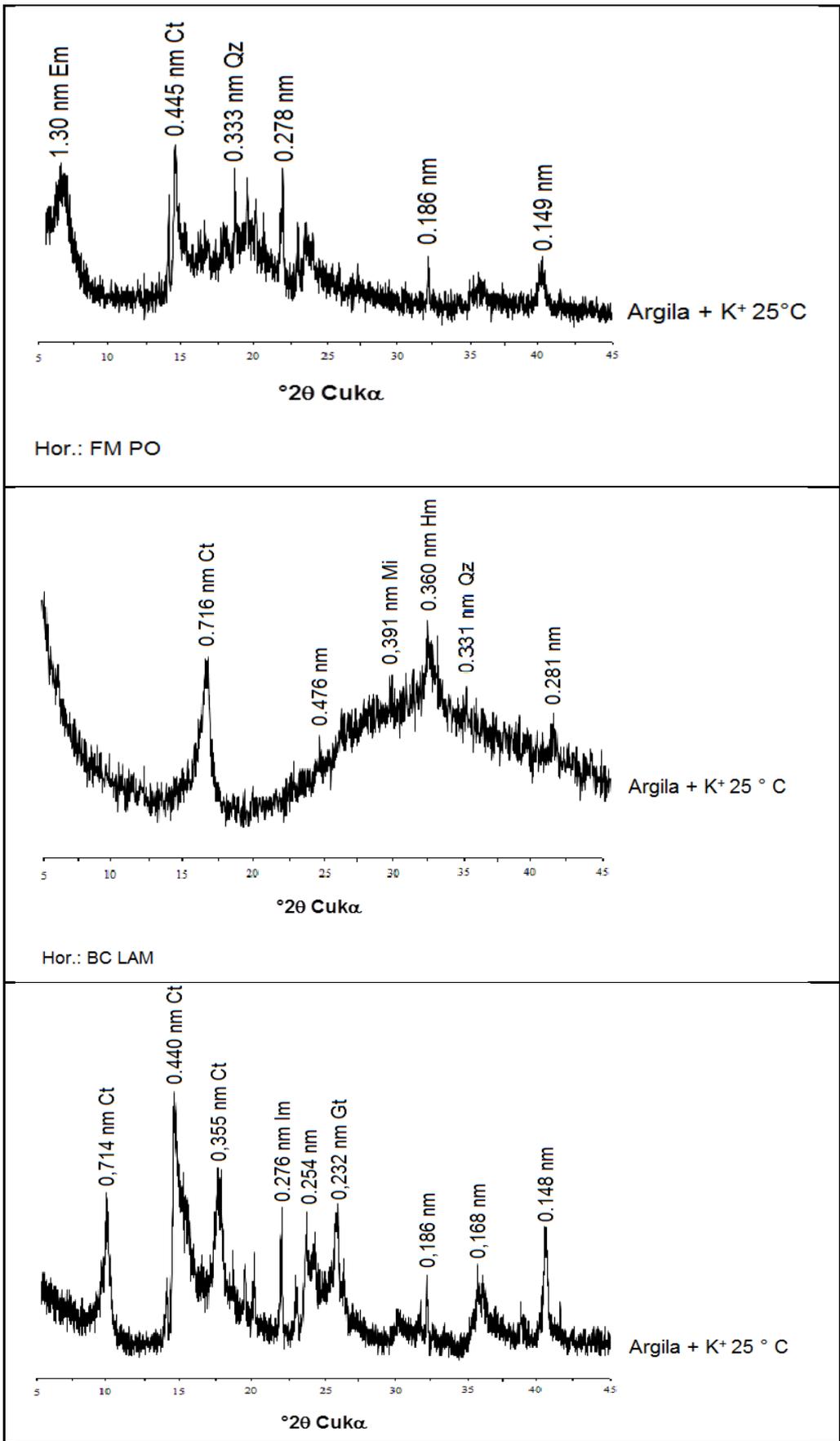
Na caracterização mineralógica, os resultados obtidos sugerem certa heterogeneidade entre os horizontes estudados com presença de minerais 1:1 como da caulinita (Ct), da gibbsita (Gb) Hematita (Hm), Ilmenita (Im) e da goethita (Gt) como os principais constituintes (Figura 7.15). Há presença de minerais 2:1 como a Mica (Mic) e Esmectita (Em). Observaram-se outros picos (com distâncias interplanares de 0.148, 0.149, 0.166, 0.168, 0.173, 0.186, 0.195, 0.237, 0.254, 0.263, 0.276, 0.279, 0.280, 0.281, 0,350, 0.354, 0.357, 0.377, 0.393, 0,463, 0.475, 0.476) em que não foi possível estabelecer relação com os minerais comuns em solo. É preciso realizar tratamento de eliminação de matéria orgânica, eliminação de carbonatos e eliminação de óxidos para avaliar a permanência ou não desses minerais após o tratamento.

De acordo com os espectros de difração de raios-X (DRX), a heterogeneidade ao longo dos horizontes pode estar mais relacionada com a constituição do material de origem. Apesar do clima quente e úmido da região, a mineralogia não indica elevado grau de desenvolvimento pedogenético, pela presença de feldspatos (mineral 1:1) e Esmectitas (mineral 2:1).

Figura 7.15 – DRX da fração argila saturada com K⁺, dos horizontes diagnósticos





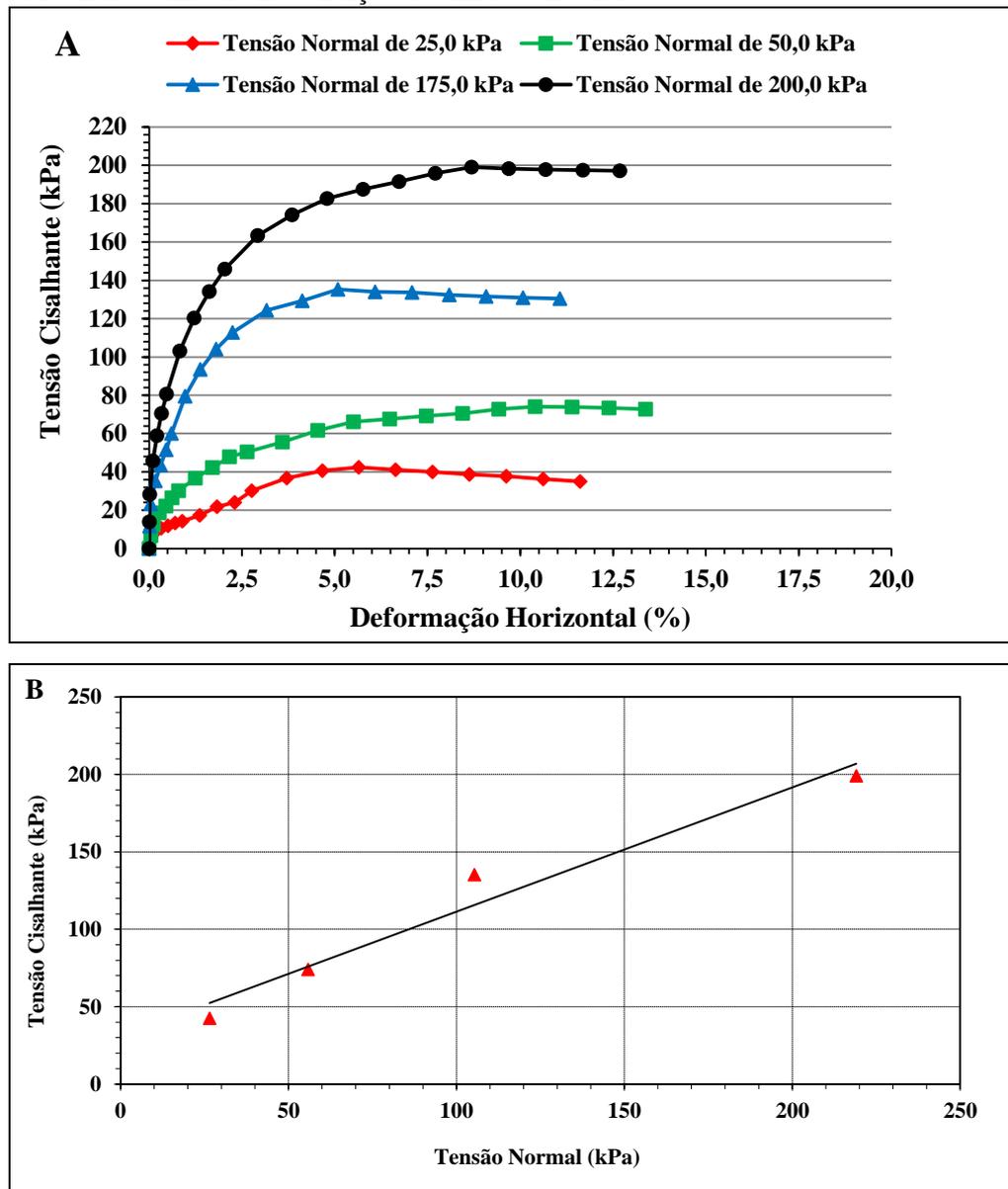


Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Em = Esmectita; Ct = Caulinita; Im = Ilmenita; Mic = Mica; Hm = Hematita; Quartzo (Qz); Feldspato (Fp); Gt = Goethite; Gb = Gibbsita.

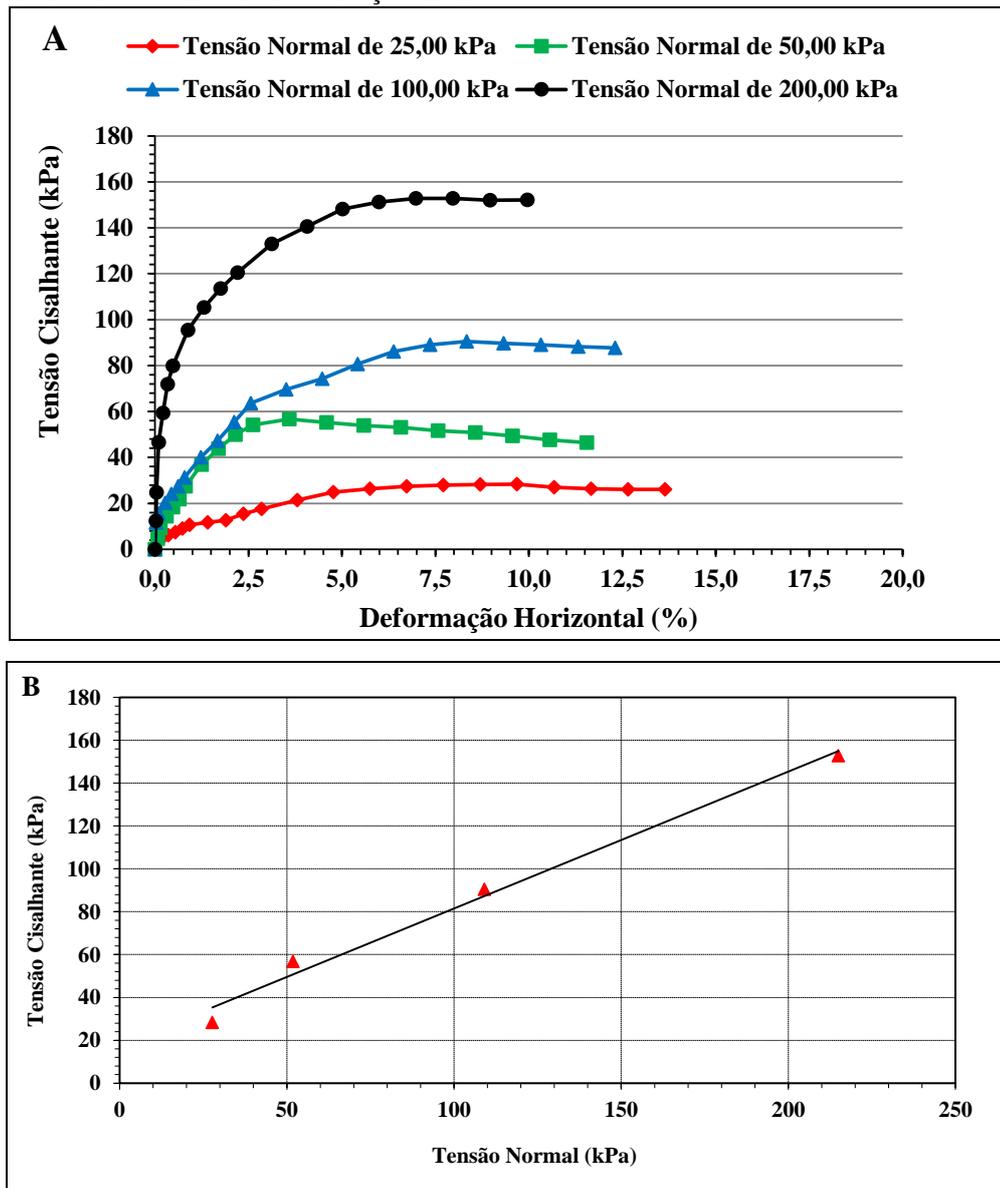
Para a amostra indeformada, retirada no horizonte C, o Gráfico 7.7 (A) apresenta a curva de tensão cisalhante x deformação horizontal para o corpo de prova submetido ao ensaio na condição de umidade natural. O Gráfico 7.7 (B) apresenta a envoltória de resistência. De forma análoga, o Gráfico 7.8 (A) apresenta curva de tensão cisalhante x deformação horizontal para o corpo de prova submetido ao ensaio na condição inundado e o Gráfico 7.8 (B) apresenta a envoltória de resistência.

Gráfico 7.7 – (A) Curva de tensão cisalhante x deformação horizontal; (B) Envoltória de resistência – amostra na condição de umidade natural



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Gráfico 7.8 – (A) Curva de tensão cisalhante x deformação horizontal; (B) Envoltória de resistência – amostra na condição inundada



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Observa-se nas curvas de tensão cisalhante x deformação horizontal que não há pico na ruptura das amostras, apresentando um comportamento plástico. Entretanto, para o corpo de prova na condição inundado e submetido a uma tensão de 50 kPa, nota-se uma pequena tendência de pico em sua curva.

A Tabela 7.11 apresenta os parâmetros de resistência ao cisalhamento, obtidos nos ensaios de cisalhamento direto realizados em amostras na condição de umidade natural e na condição inundada.

Tabela 7.11 – Parâmetros de resistência ao cisalhamento

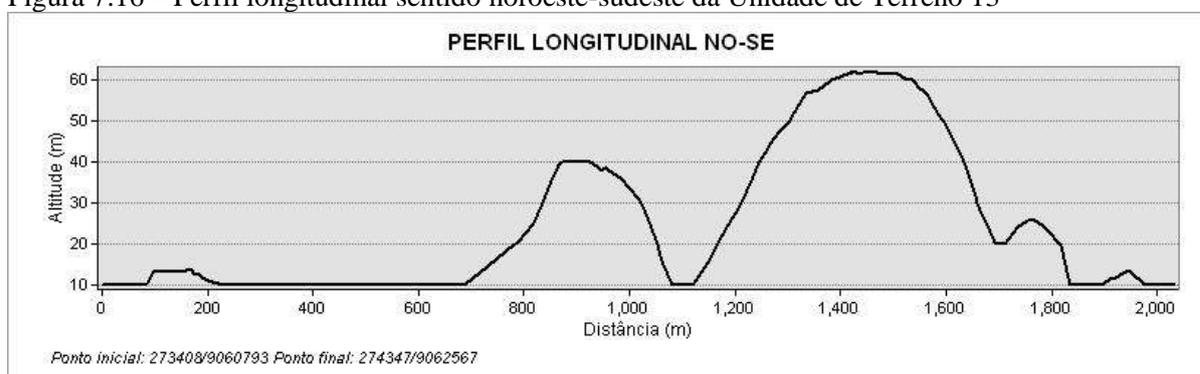
Amostra	UT	Geologia	Condição do CP	Coesão (kPa)	Ângulo de Atrito ϕ (°)
Bloco	12	Formação Cabo	Natural	31,1	36,6
			Inundado	17,6	34,8

Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

UNIDADE DE TERRENO 13

A Unidade de Terreno 13 tem uma área de 12 km², que representa 2% da área total do município. O relevo é composto por colinas de topos arredondados e vales abertos. As cotas altimétricas variam de 10 a 70 (predominam as cotas de 20 a 40 metros) com amplitude que varia de 20 a 40 metros. As declividades variam de 0° a 39° sendo predominante a classe de 0° a 7° (Figura 7.16).

Figura 7.16 – Perfil longitudinal sentido noroeste-sudeste da Unidade de Terreno 13



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

O substrato é composto por rocha com matriz afanítica e fenocristais de feldspato que formam necks, diques e soleiras – Suíte Magmática Ipojuca – Taquito – Kitq, 42%; por rocha afanítica na forma de derrames bem alterados, com esfoliação basáltica – Suíte Magmática Ipojuca – Basalto – Kibs, 3%; por rocha com matriz afanítica e fenocristais de feldspato na forma necks, diques e soleiras – Suíte Magmática Ipojuca – Riolito – Kirl, 30% e por rocha piroclástica com fragmentos de rocha do embasamento, cimentada por magma de natureza riolítica – Suíte Magmática Ipojuca – Ignimbrito – Kiig, 25%. Podem ocorrer soleiras de basalto próximo à superfície.

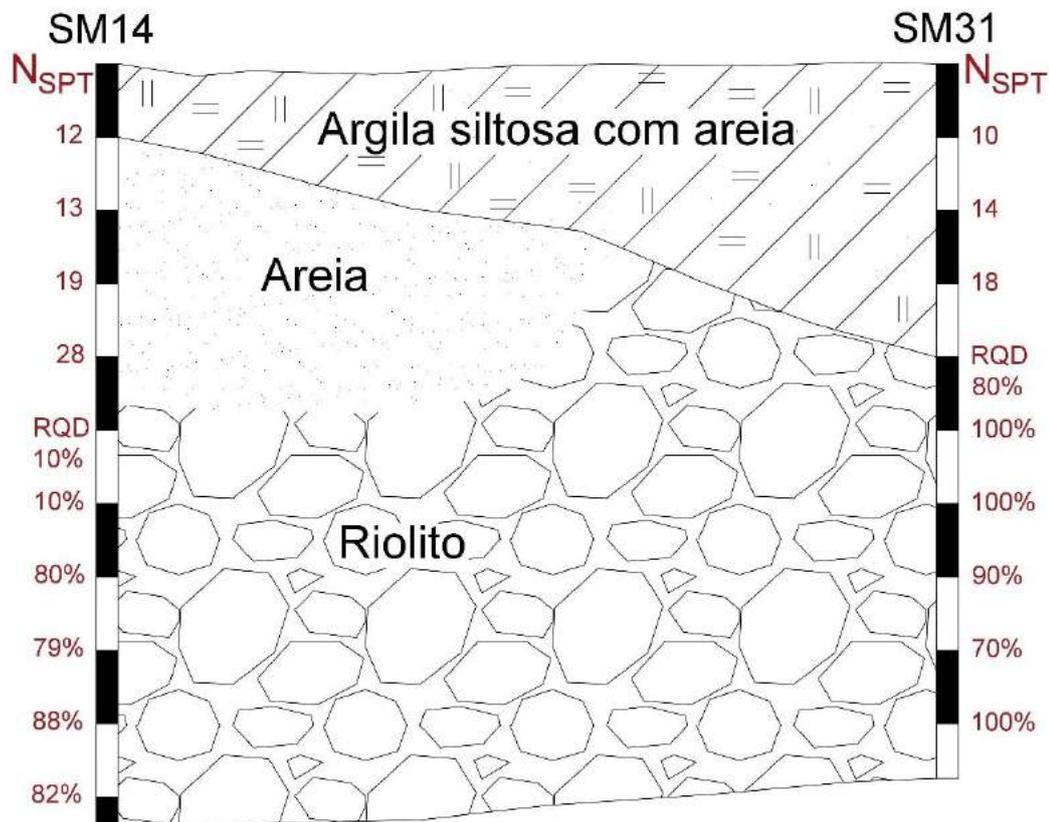
Os solos residuais maduros dessa unidade são Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos de textura média argilosa a argilosa, profundidade média de 2 metros. Os solos

residuais jovens têm de 5 a 20 metros de espessura. Podem ocorrer problemas relacionados com a presença de argilas expansivas.

Perfil geotécnico

A Figura 7.17 apresenta um perfil geotécnico para a UT 13, o qual apresenta uma pequena espessura de solo (4,5 m). Os valores de N_{SPT} indicam que o solo apresenta a menor resistência a penetração no primeiro metro ($N_{SPT} = 10$) e os valores são crescentes com a profundidade (maior $N_{SPT} = 28$).

Figura 7.17 – Perfil geotécnico UT 13



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

O Quadro 7.1 apresenta a classificação da qualidade do maciço de acordo com a proposta de Deere e Deere (1988). Observa-se na SM 14 que nos primeiros 2 metros de perfuração em rocha, ela apresenta uma qualidade muito fraca (RQD = 10 %). Porém, até o limite dessa sondagem, o maciço apresenta uma qualidade boa (RQD entre 79 e 88 %). Na sondagem SM 31, o maciço apresenta no primeiro metro uma qualidade boa (RQD = 80 %) e a uma profundidade de 4 metros, o maciço é do tipo razoável (RQD = 70 %), nos demais metros

o maciço apresenta uma excelente qualidade (pouco fraturado), ou seja, maciço bem preservado (RQD entre 90 e 100 %).

Quadro 7.1 – Classificação Rock Quality Designation (RQD)

RQD (%)	Qualidade do maciço
90 – 100	Excelente
75 – 90	Bom
50 – 75	Razoável
25 – 50	Fraco
0 – 25	Muito fraco

Fonte: Adaptado de Deere e Deere, (1988).

UNIDADE DE TERRENO 14

A Unidade de Terreno 14 tem uma área de 13 km², que representa 2% da área total do município. O relevo é composto por colinas de topos arredondados e vales abertos. As cotas altimétricas variam de 10 a 80 (predominam as cotas de 20 a 50 metros) com amplitude que varia de 20 a 40 metros. A declividade varia de 0° a 37° sendo predominante a classe de 0° a 7°. O substrato é composto por rochas sedimentares do tipo conglomerados, seixos de rochas vulcânicas, sustentado por matriz arcoseana (rica no mineral feldspato) e com granulação média (1-10 mm) – Formação Algodoads (Ka) (Fotografias 7.18 e 7.19).

Fotografia 7.18 – Corte de estrada expondo as camadas formadas por riolito e basalto



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Fotografia 7.19 – Seixos de basalto que compoem o conglomerado da Formação Algodoads



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

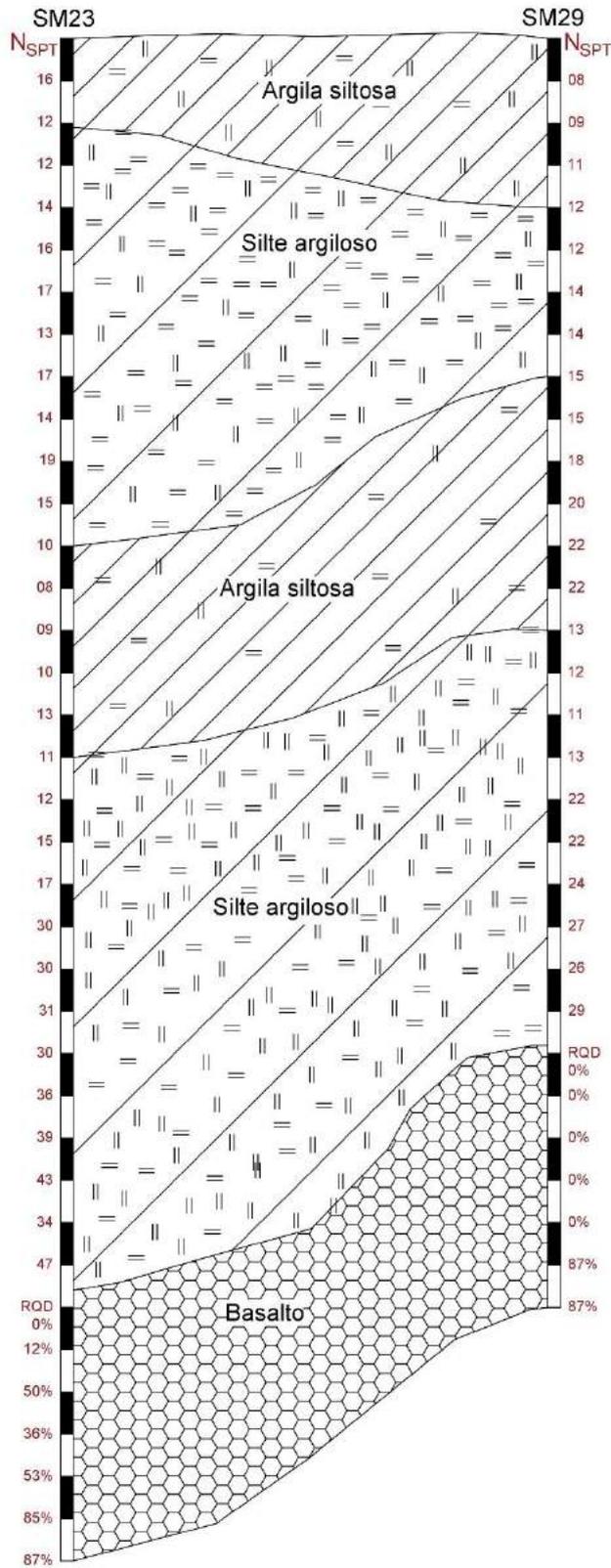
Os solos residuais maduros dessa unidade são Argissolos Amarelos e Vermelho-amarelos de textura média argilosa a argilosa, profundidade média de 2 metros. Os solos residuais jovens são profundos de 10 a 20 metros de textura argilosa a média argilosa, a alteração intempérica dos seixos de basalto presentes na rocha podem gerar argilas expansivas, problemática para a engenharia de fundação.

Perfil geotécnico

Apresenta-se na Figura 7.18 um perfil geotécnico para a UT 14, o qual apresenta uma estratigrafia em que se alterna entre dois tipos de materiais: argila e silte. Ressalta-se que as camadas de argila, diferentemente da UT 01, não apresentam baixa resistência a penetração.

Observa-se na SM 23, assim como na SM 14 da UT 13, que nos primeiros 2 metros de perfuração em rocha, ela apresenta uma qualidade muito fraca (RQD entre 0 e 12 %). Para a mesma sondagem, ao longo da profundidade, o maciço classifica-se de fraco a razoável entre 3 e 4 metros de perfuração (RQD entre 36 e 67 %) e de boa qualidade (RQD 85 – 87 %) nos metros finais (5 a 6 m). Na sondagem SM 29, até uma profundidade de 4 metros, o maciço é classificado do tipo muito fraco (RQD = 0 %). Nos demais metros de sondagem, o maciço é de boa qualidade (RQD = 87 %).

Figura 7.18 – Perfil geotécnico UT14



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

UNIDADE DE TERRENO 15

A Unidade de Terreno 15 tem uma área de menos de 1 km², que representa 1% do município. O relevo se constitui por uma área plana com declividade < 3°.

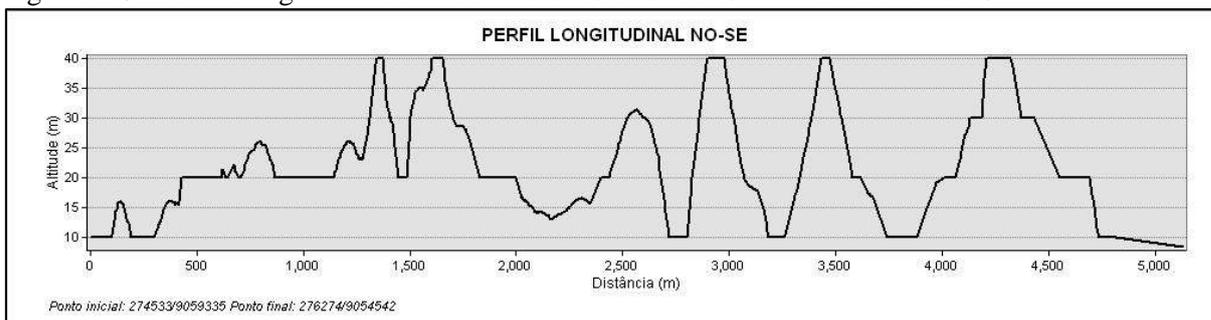
O substrato geológico é composto por rocha carbonática de composição dolomítica, coloração de creme a cinza – Formação Estiva (Ke). Processos de dissolução nessa rocha podem gerar cavernas, apresentando risco para futuras fundações.

Ocorrem solos do tipo Espodosolos e solos indiscriminados de mangue. Área sujeita a inundação.

UNIDADE DE TERRENO 16

A Unidade de Terreno 16 tem uma área de 23 km², que representa 4% da área total do município. O relevo é composto por colinas de topos arredondados e vales abertos. As cotas altimétricas variam de 10 a 70 metros de altitude (predominam as cotas de 20 a 40 metros) com amplitude de relevo que varia de 20 a 40 metros. As declividades variam de 0° a 40°, sendo predominante a classe de 0° a 7° (Figura 7.19).

Figura 7.19 – Perfil longitudinal sentido noroeste-sudeste da Unidade de Terreno 16



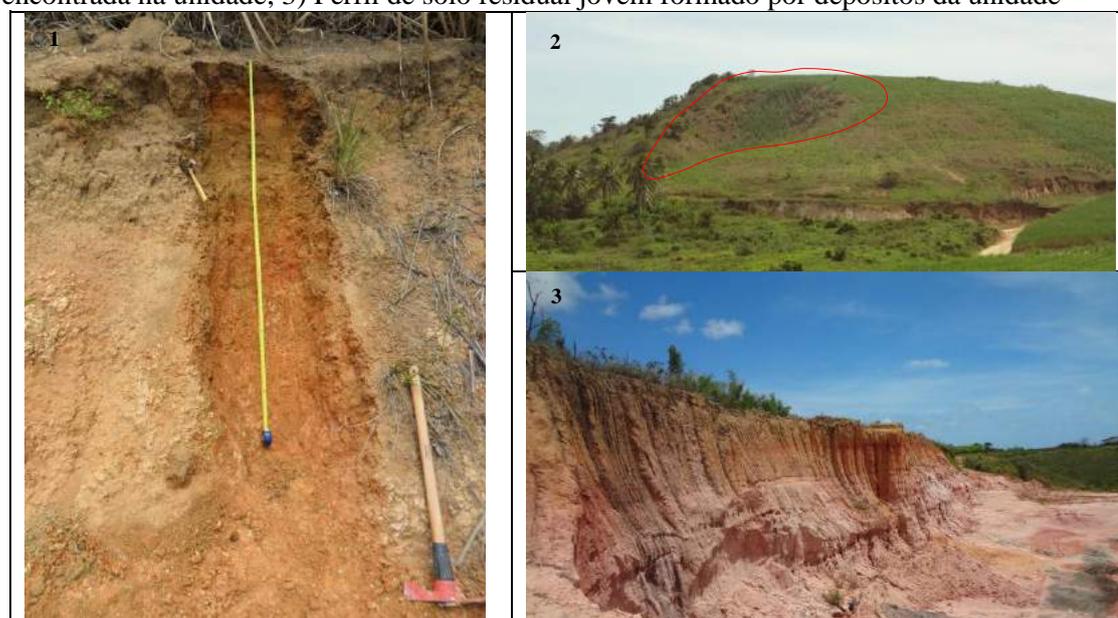
Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

O substrato geológico trata-se da Formação Barreiras, formada por sedimentos inconsolidados de composição argiloarenosa, granulação média (1-10 mm) a fina (0,1-1 mm) contendo, essencialmente, níveis argilosos ou, eventualmente, óxidos de ferro. É visível a presença de estratificação.

Os solos maduros dessa unidade são Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos de textura média argilosa a muito argilosa, profundidade média de 1,80 metros. Os solos residuais

jovens (saprolito) são profundos de 10 a 15 metros de textura variando de média arenoargilosa a muito argilosa (Fotografia 7.20).

Fotografia 7.20 – 1) Perfil de solo residual maduro encontrado na unidade; 2) Cicatriz de erosão encontrada na unidade; 3) Perfil de solo residual jovem formado por depósitos da unidade



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Caracterização geotécnica

Segundo Silva (2007), na região metropolitana do Recife (RMR), os principais fatores de causa de movimentos de massa na Formação Barreiras em encostas situadas na RMR podem ser divididos em fatores antrópicos (cortes na encosta, aumento de carga no topo, vazamento de tubulações, infiltração de águas servidas, retirada da vegetação superficial, colocação de grandes árvores) e naturais (geologia da área, heterogeneidade, contraste de permeabilidade/resistência, contato de diferentes depósitos, infiltração em razão das chuvas).

Os movimentos de massa referentes à Formação Barreiras na RMR relacionam-se, de modo geral, com a ocupação antrópica desordenada, a qual provoca maior possibilidade de ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa (COUTINHO; SILVA, 2005).

Os solos da Formação Barreiras são classificados, na maioria, como solos grossos pertencentes aos Grupos SC (areia argilosa) e SM (areias siltosas); quando classificados como solos finos, encontram-se no Grupo CL (argilas arenosas) (BANDEIRA, 2003; COUTINHO; SILVA, 2005; COUTINHO et al., 1999; GUSMÃO FILHO et al., 1986; LAFAYETTE, 2000, 2006; LIMA, 2002).

Segundo Coutinho e Severo (2009), solos da Formação Barreiras variam quanto ao coeficiente de permeabilidade na ordem de 10^{-5} a 10^{-7} m/s, onde a variação dos resultados depende dos teores mais argilosos ou arenosos dos materiais estudados.

Na Tabela 7.12 proposta por Pinto (2006), a variação desses valores de permeabilidade (10^{-5} a 10^{-7} m/s) é típica de areias finas e areias argilosas.

Tabela 7.12 – Alguns valores típicos de coeficiente de permeabilidade

Argilas	$< 10^{-9}$ m/s
Siltes	10^{-6} a 10^{-9} m/s
Areias argilas	10^{-7} m/s
Areias finas	10^{-5} m/s
Areias médias	10^{-4} m/s
Areias grossas	10^{-3} m/s

Fonte: Pinto (2006).

O Quadro 7.2 apresenta alguns resultados de ensaio guelph e triflex II para solos da Formação.

Quadro 7.2 – Permeabilidade de solos da Formação Barreiras

Referência/Local	Permeabilidade saturada (m/s)		Tipo de ensaio
	“in situ”	Laboratório	
Meira (2008) Recife-PE	$1,3 \times 10^{-5}$ a $9,1 \times 10^{-7}$	$1,0 \times 10^{-5}$ a $6,4 \times 10^{-7}$	Guelph e Triflex
Silva (2007) Camaragibe-PE	$1,25$ a $7,3 \times 10^{-6}$	$1,22$ a $4,84 \times 10^{-6}$	Guelph e Triflex
Severo et al. (2006) Tibau do Sul-RN	$1,75 \times 10^{-6}$ a $6,6 \times 10^{-8}$	$6,5 \times 10^{-5}$ a $1,5 \times 10^{-8}$	Ensaio de infiltração e Permeâmetro
Silva et al. (2005) Camaragibe-PE	$1,2 \times 10^{-6}$ a $6,6 \times 10^{-7}$	$1,2 \times 10^{-6}$ a $4,8 \times 10^{-7}$	Guelph e Triflex
Lafayette, Coutinho e Queiroz (2005) Cabo-PE	$4,03$ a $8,94 \times 10^{-6}$	-	Guelph
Lima (2002) Recife-PE	$2,26$ a $5,5 \times 10^{-5}$	-	Guelph
Lafayette (2000) Recife-PE	$2,5 \times 10^{-5}$	$7,6 \times 10^{-5}$	Guelph e Triflex
Coutinho et al. (1999) Recife-PE	$4,78 \times 10^{-5}$	-	Guelph

Fonte: Coutinho e Severo (2009).

O Quadro 7.3 apresenta os parâmetros de resistência de pico de alguns solos da Formação Barreiras do estado de Pernambuco.

Quadro 7.3 – Parâmetros de resistência de pico de solos provenientes da Formação Barreiras na RMR e outras

Referência/Local	Fácies	Tipo de ensaio	Descrição/SUCS	IP	Condição do CP	c (kPa)	ϕ (°)
Meira (2008)	Canal Fluvial	Cis. Direto	SC	7,9 – 9,2	Natural	1,0 – 4,2	28 – 34
					Inundado	0,4 – 3,5	23 – 26
Silva (2007) Camaragibe-PE	Planície	Cis. Direto	SC	12 – 14	Natural	45,0 – 47,0	31,0 – 44,0
					Inundado	0,0 – 3,7	31,0 – 34,0
Severo et al. (2006) Tibau do Sul-RN	A ser identificada	Cis. Direto	Cl	7 – 19	Natural	116 – 192	27 – 32
					Inundado	23 – 54	26 – 30
Silva et al. (2005) Camaragibe -PE	Aluvial de canal	Cis. Direto	SC	12 – 13	Natural	43 – 46	31 – 45
					Inundado	0 – 3,7	31 – 35
Bandeira, Coutinho e Alheiros (2004) Camaragibe-PE	Leque proximal	Cis. Direto	Silte arenoso ML	14 – 16	Inundado	12	29
Lafayette, Coutinho, Cavalcanti (2003). Lafayette, Coutinho e Queiroz (2005) Cabo de S. Agostinho -PE	Leque fluvial	Cis. Direto	SC	9 – 13	Natural	33 – 56	33 – 36
					Inundado	1,5 – 1,8	33 – 35
Lima (2002) Alto do Reservatório-Recife -PE	A ser identificada	Cis. Direto	SC	16	Natural	28	31
					Inundado	10	32
Lafayette (2000) Alto do Reservatório-Recife - PE	A ser identificada	Cis. Direto	Areia argilosa SC	11 – 18	Inundado	7 – 13	24 – 26
Coutinho et al. (1999; 2006) Santos (2001) Horto Dois Irmãos Recife-PE	A ser identificada	Cis. Direto	SC	10 – 16	Natural	13	31
					Inundado	0	30
Gusmão Filho et al. (1986) Olinda -PE	A ser identificada	Triaxial (CU)	Areia argilosa SC	31 – 40	Inundado	20 – 50	20 – 24

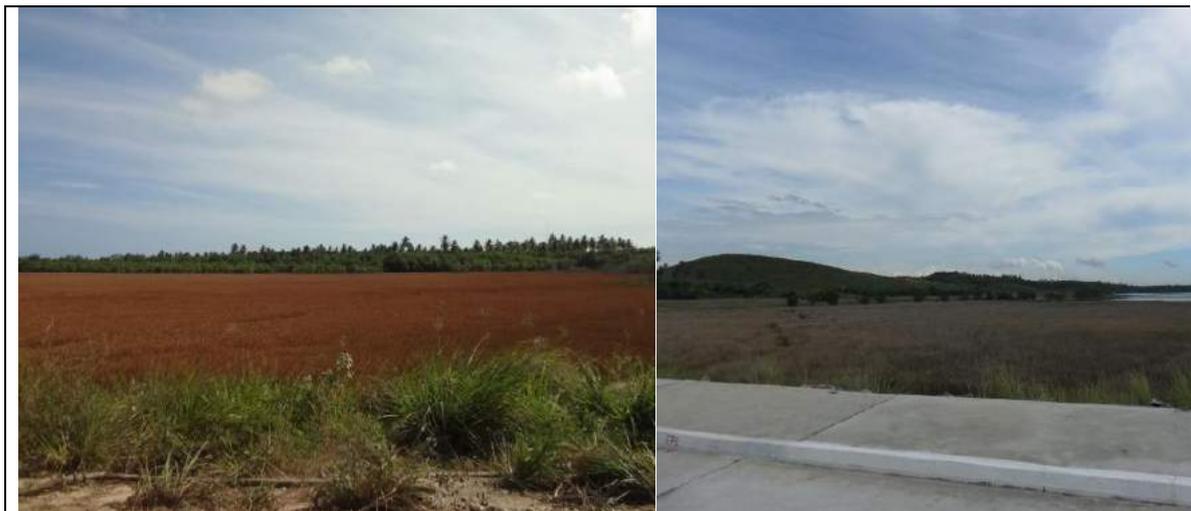
Fonte: Coutinho e Severo (2009).

UNIDADE DE TERRENO 17

Tem uma área de 69 km², que representa 13% da área total do município. Trata-se de uma área plana formada por acumulação de sedimentos de origem fluviolagunar com declividade muito baixa < 3°.

Substrato formado por areias finas, siltes, argilas, vasas diatomáceas e sedimentos turfosos – Sedimentos fluviolacustres (Qdfl) – Fotografia 7.21.

Fotografia 7.21 – Planície sujeita a alagamentos ao longo da rede de drenagem que ocorrem na unidade



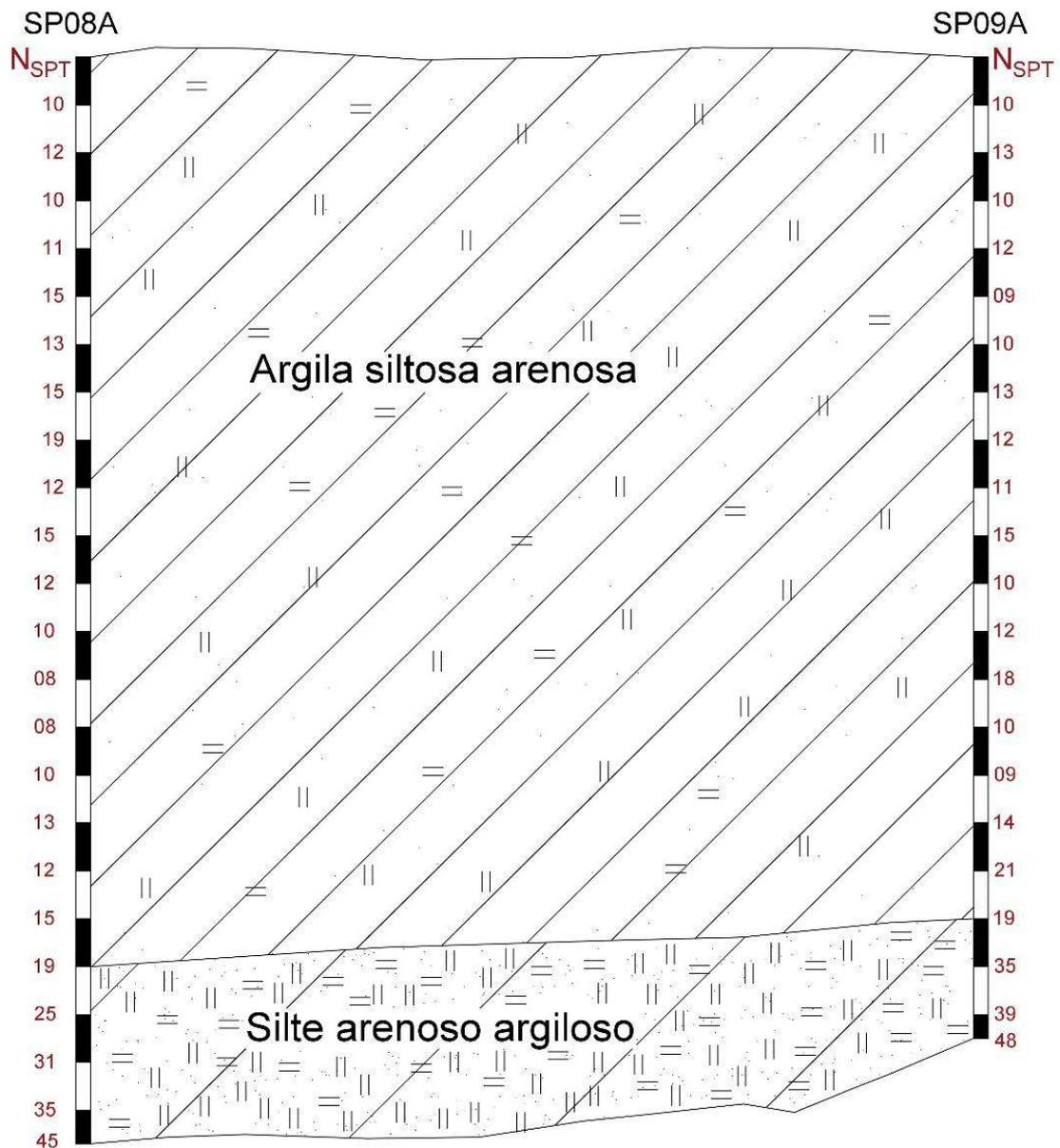
Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Ocorrem solos da classe dos Gleissolos e Neossolos Flúvicos. Área sujeita a inundação ao longo da rede de drenagem.

Perfil geotécnico

O perfil geotécnico para a UT 17 está apresentado na Figura 7.20. Ao longo dos 19 metros iniciais, o N_{SPT} pouco varia e apresenta valores entre 10 e 15, em geral. Observa-se uma mudança brusca no valor N_{SPT} quando a sondagem atinge a camada de silte arenoso (a partir dos 20 metros), e o valor do N_{SPT} pode variar de um valor de 19 golpes para um valor de 35 golpes no próximo metro.

Figura 7.20 – Perfil geotécnico UT 17



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

UNIDADE DE TERRENO 18

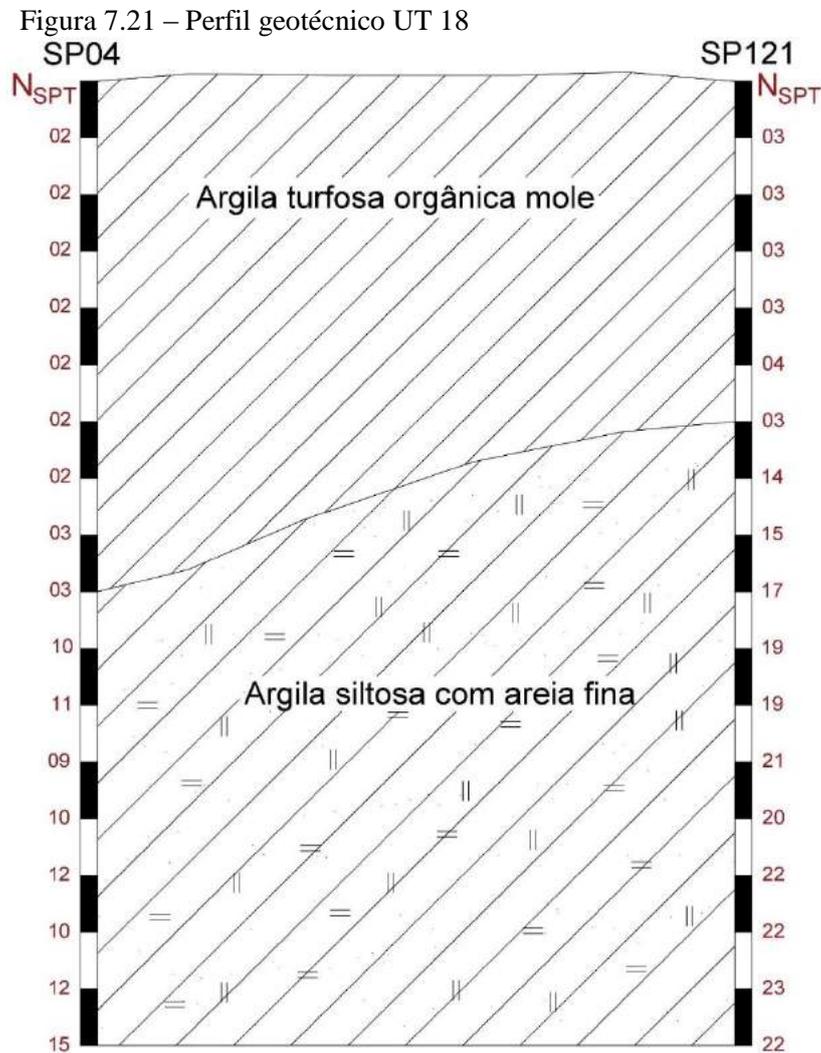
A unidade tem uma área de 36 km², que representa 7% da área total do município. Trata-se de uma área de mangue formada por acumulação fluvio-marinha com declividade muito baixa < 3° sujeita ao regime das marés. Configura-se como uma zona de transição entre os ambientes terrestres e marinhos.

Substrato formado por argilas, siltes, areias finas, carapaças de algas, espículas de espongiários e restos orgânicos. Sedimentos silicoargilosos de mangue (Qm).

Ocorrem solos indiscriminados de mangue com presença de argilas plásticas (argilas moles) e bancos de tufas, problemáticos às fundações.

Perfil geotécnico

Apresenta-se na Figura 7.21 um perfil geotécnico para a UT 18, o qual apresenta uma estratigrafia típica de Sedimentos Silicoargilosos de Mangue. Observa-se uma camada inicial (6 a 9 m) de argila turfosa orgânica mole. Além das características destacadas na UT 1 (baixa resistência ao cisalhamento e alta compressibilidade), esse tipo de material apresenta grandes deformações durante o adensamento secundário em razão da decomposição da turfa (matéria orgânica). Destaca-se, portanto, o grande desafio da engenharia geotécnica de construir obras civis sobre esse tipo de material.



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

UNIDADE DE TERRENO 19

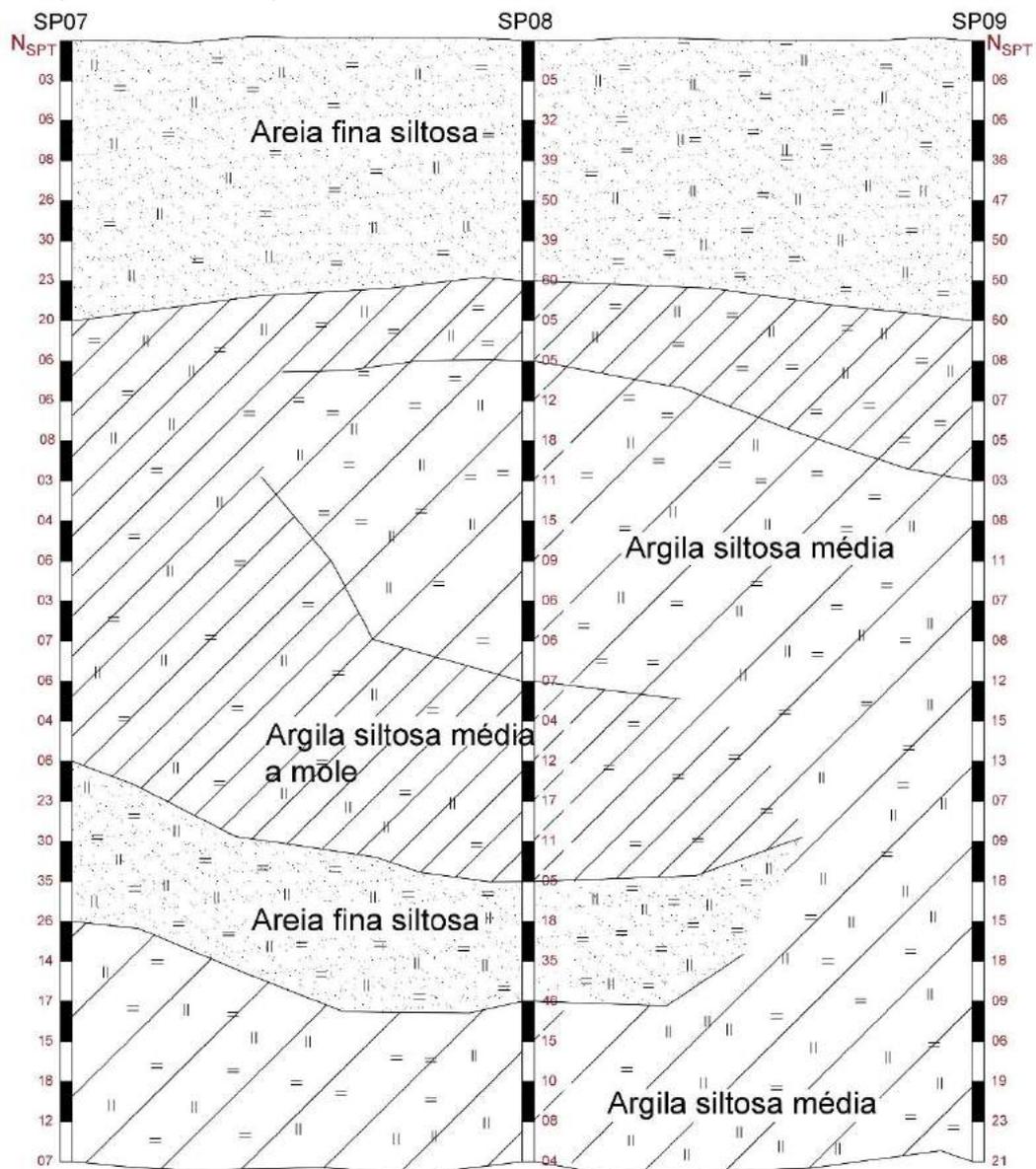
A Unidade de Terreno 19 tem uma área de 6 km², que representa 1% da área total do município. É composta por terraços marinhos, que se apresentam alongados, irregulares, aproximadamente paralelos à linha de costa, largura variando de 500 metros a 1,0 quilômetro e cotas variando de 3 a 8 metros, constituídos, principalmente, por areias quartzosas inconsolidadas – terraços marinhos pleistocênicos (Qtp).

A granulometria é média com moderada seleção e a presença em profundidade de uma camada com cor marrom, endurecida, baixa permeabilidade, que acompanha esses depósitos em quase todo o litoral de Pernambuco. Esse material já descrito por alguns autores é conhecido como *coffee rock* pela cor marrom. A presença desse material, formando um nível contínuo com espessura inferior a 1,20 metro, distingue os terraços pleistocênicos dos holocênicos.

Perfil geotécnico

O perfil geotécnico para a UT 19 está apresentado na Figura 7.22. Observa-se a presença de camadas arenosas e argilosas variando de posição ao longo da profundidade. O material arenoso tem boa resistência à penetração, podendo suportar cargas elevadas. Entretanto as camadas argilosas são de baixa resistência à penetração, o que possivelmente limita o uso da camada arenosa para suporte de carga.

Figura 7.22 – Perfil geotécnico UT19



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

UNIDADE DE TERRENO 20

Esta unidade tem uma área de 8 km², que representa 2% da área total do município. Área de terraços marinhos que aparecem em cotas variando entre 4 a 5 metros. São produtos da erosão contínua logo após sua deposição. Constituídos por areias de praia com granulação média e grau de seleção variado (Terraços marinhos holocênicos – Qth). Pelo aspecto linear, são conhecidos como cordões litorâneos.

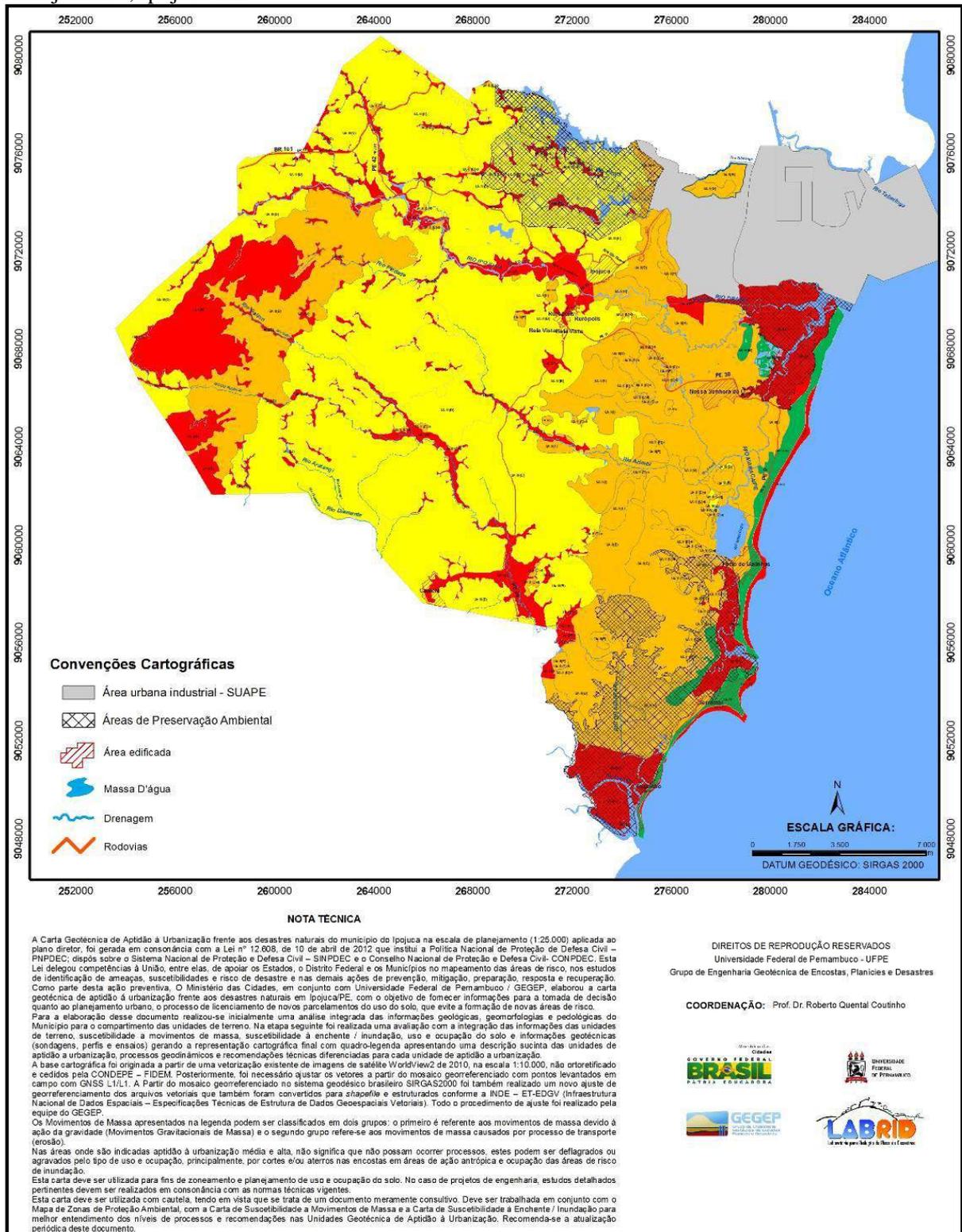
UNIDADE DE TERRENO 21

Tem uma área de 3 km², que representa 1% da área total do município. Área de terraços marinhos. São sedimentos inconsolidados, constituídos por areias de praia, geralmente de granulometria média, cor branca a bege com quartzo dominante (Sedimentos de praia – Qtp). Podem conter quantidades dos chamados minerais pesados, sendo mais comuns a presença de magnetita e ilmenita, dando à areia uma coloração preta. Eventualmente, ocorre também zircão e/ou monazita, sempre em percentuais subordinados. Depósitos recentes constituídos por areias quartzosas com fragmentos de conchas.

7.2 A CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO

O trabalho optou pela elaboração de uma carta geotécnica de fácil compreensão e aplicação voltada, principalmente para o planejamento municipal, fornecendo dados que contribuam para as avaliações e ações do gestor público. As classes contidas na Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização estão representadas por quatro cores: vermelho, laranja e amarelo, e verde. A Figura 7.23 mostra a carta geotécnica de aptidão urbana com as classes de aptidão. Elaborou-se um quadro-legenda (Figura 7.24), apresentando as principais características da unidade de aptidão, os tipos de processo que ocorrem na unidade e diretrizes, e recomendações diferenciadas em cada unidade, um relatório técnico apresentando uma síntese com todas as informações e o banco de dados para armazenamento dos dados, atualizações, gerenciamento, consultas e análises.

Figura 7.23 – Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização Frente aos Desastres Naturais, Escala de Planejamento, Ipojuca-PE



Fonte: Coutinho (2014).

7.2.1 Descrição das unidades de aptidão urbana

As unidades de aptidão descritas a seguir foram definidas com base na metodologia apresentada no Quadro 4.4 da seção 4.5. Foi possível individualizar 23 zonas de uso e ocupação do solo. Foram estabelecidas áreas com alta aptidão à urbanização; áreas com média aptidão à urbanização; e áreas com baixa aptidão à urbanização. O Quadro 7.4 apresenta as três classes principais de aptidão à urbanização (alta, média e baixa), subdivididas conforme as restrições e qualidades dos terrenos e uma descrição resumida do significado das classes. A seguir serão feitas as descrições das classes e subclasses (tipos), sua caracterização geotécnica, os processos geodinâmicos e as recomendações para a ocupação.

Quadro 7.4 – Descrição e quantificação das principais classes de aptidão à urbanização

CLASSES	DESCRIÇÃO	QUANTIDADE	PERCENTUAL (%)
Baixa Aptidão à Urbanização I	Locais onde não se permitem edificações de uso permanente, edificações de qualquer caráter ou, ainda, onde não se permitem obras de urbanização de qualquer natureza. Quando possível, pode-se permitir o uso para a agricultura, exploração de bens minerais, obras de uso coletivo (não permanente) exemplo de parque.	7	18,4
Média Aptidão II	Locais onde se exigem controle e estudos especiais como condição prévia à ocupação em face do perigo existente ou que pode ser potencializado pelo processo de urbanização.	10	34
à Urbanização III		4	45
Alta Aptidão à Urbanização IV	Locais de baixo perigo diante dos desastres naturais e onde a ocupação demanda apenas cuidados usuais.	02	2,6

Fonte: Coutinho (2014).

Nota: O potencial de ocorrência de problemas quanto a aptidão à urbanização diminui do vermelho (baixa aptidão) para o verde (alta aptidão). Dentro de uma Classe as Unidades de Aptidão também estão ordenadas em princípio pelo potencial de ocorrência de problemas. Todos os colúvios mapeados no município foram colocados na classe de aptidão II (B). O nível de restrição quanto à aptidão à urbanização diante dos desastres naturais aumenta do verde para o vermelho.

7.2.1.1 Baixa aptidão à urbanização (I)

UNIDADE DE APTIDÃO I(A)

Caracterização das unidades de aptidão à urbanização (UA)

Área de mangue formada por acumulação fluviomarinha com declividade muito baixa < 3°, sujeita ao regime das marés. Substrato geológico é formado por argilas, siltes, areias finas, carapaças de algas, espículas de espongiários e restos orgânicos – Sedimentos silicoargilosos de mangue (Qm) com presença de argilas plásticas (argilas moles) e bancos de turfas.

Processos geodinâmicos – área inundada periodicamente.

Recomendação: não devem ser aprovados lotes para ocupação permanente nessa área.

UNIDADE DE APTIDÃO I(B)

Caracterização das unidades de aptidão à urbanização (UA)

Área composta por colinas com topos aguçados e vales encaixados. As cotas altimétricas variam de 80 a 310 metros de altitude, com amplitudes altimétricas que variam de 80 a 130 metros. As declividades variam de 0° a 62°, sendo predominante a classe que varia de 17° a 27°. O substrato geológico é composto por rochas do Embasamento Cristalino e por rochas do Complexo Gnáissico-Migmatítico. Ocorrem afloramentos de rochas na superfície em forma de maciços e matacões de dimensão decamétricas. Os solos predominantes são saprolíticos (solos residuais jovens) que variam de 5 a 20 metros de espessura.

Processos geodinâmicos – o principal processo observado na área é de erosão linear (ravinas e voçorocas). Pode ocorrer de forma natural ou induzida. Possibilidade de ocorrência de MGM (exemplo: deslizamento em solo/rolamentos de bloco de rocha). Pode ocorrer de forma natural ou induzida.

Recomendações:

- Não devem ser aprovados lotes para ocupação permanente nessa área.
- Áreas com potencial para agricultura planejada nos declives inferiores a 17°.
- O substrato rochoso é de interesse para a indústria mineral como agregado para construção civil (brita) e como pedra para calçamento, de acordo com a legislação vigente.

Identificaram-se nessa UA processos de movimento gravitacional de massa, representada na Fotografia 7.22.

Fotografia 7.22 – Exemplo de blocos isolados (matacões), áreas com potencial de rolamento de blocos de rocha



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

UNIDADE DE APTIDÃO I(C)

Caracterização das unidades de aptidão à urbanização (UA)

Planícies aluviais estreitas que se desenvolvem em relação ao canal do rio Ipojuca com superfície erosiva bem marcada (<300 metros de largura em grande parte do seu trecho) com declividade muito baixa <math>< 3^\circ</math>. O Substrato geológico é formado por aluviões compostos por areias, siltes e argilas. Os solos predominantes pertencem à classe Neossolos Flúvicos e Cambissolos gleico.

Processos geodinâmicos – áreas com elevada probabilidade de atingimento por inundações ao longo do canal de drenagem dos rios. Podendo ocorrer inundação com profundidade superior a 1,20 m. Possibilidade de ser atingida por material oriundo de MGM (exemplo: deslizamento). Proveniente das encostas que formam o canal do rio, principalmente em setores em que o relevo apresenta valores altos de amplitude. Em casos de eventos extremos de precipitação, existe a possibilidade de ocorrência de corrida de lama.

Recomendações:

- Não devem ser aprovados lotes para ocupação permanente nessa área.
- Zona de passagem da enchente: essa parte da seção do rio funciona hidráulicamente e permite o escoamento da enchente. Em qualquer planejamento urbano, deve-se procurar manter essa zona desobstruída.

Identificaram-se nessa UA cicatrizes ao processo de inundação superior a 1,20 m, representada na Fotografia 7.23.

Fotografia 7.23 – Exemplo de cicatrizes de inundação



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

UNIDADE DE APTIDÃO I(D)

Caracterização das unidades de aptidão à urbanização (UA)

Áreas de deposição de sedimentos fluviais (Várzeas) em altitude que variam entre 100 a 200 metros e declividade sempre inferior a 7°. Em alguns pontos mais elevados do município, ocorre o estreitamento abrupto dos vales fluviais, que são observados pelo leito rochoso dos rios. São áreas de convergência entre várias vertentes que favorecem a concentração do escoamento superficial e subsuperficial, sendo, portanto, áreas sujeitas a inundação. O substrato geológico é formado por aluviões constituídos por areais, siltes e argilas. Os solos

predominantes pertencem à classe dos Gleissolos com argilas de atividade alta e Neossolos Flúvicos, ambos de textura argilosa a média argilosa.

Processos geodinâmicos – possibilidade de ocorrência de inundações nas planícies (Várzeas).

Recomendações:

- Não devem ser aprovados lotes para ocupação permanente nessa área.

UNIDADE DE APTIDÃO I(E)

Caracterização das unidades de aptidão à urbanização (UA)

Área que apresenta planícies largas. Caracterizada por formas planas e/ou côncavas com cotas altimétricas que variam de 5 a 10 metros e declividade muito baixa, sempre inferior a 70. Formada por aluviões e por depósitos fluviais interconectados com os depósitos coluviais em áreas mais afastadas do leito do rio. Sujeitas a inundações ao longo da rede de drenagem. O substrato geológico é composto por depósitos formados por materiais arenosos e arenoargilosos. Os solos que ocorrem nessa unidade pertencem à classe dos Gleissolos e Cambissolos gleico e à classe dos Neossolos Flúvicos.

Processos geodinâmicos – áreas com elevada probabilidade de atingimento por inundações ao longo do canal de drenagem dos rios. Podendo ocorrer inundação com profundidade superior a 1,20 m.

Recomendações:

- Não devem ser aprovados lotes para ocupação permanente nessa área.
- Zona de passagem da enchente: essa parte da seção do rio funciona hidraulicamente e permite o escoamento da enchente. Em qualquer planejamento urbano, deve-se procurar manter essa zona desobstruída.

UNIDADE DE APTIDÃO I(F)

Caracterização das unidades de aptidão à urbanização (UA)

Trata-se de uma área plana formada por acumulação de sedimentos de origem fluviolagunar com declividade muito baixa < 3° com cotas altimétricas variam de 10 a 70 metros.

Substrato geológico formado por areias finas, siltes, argilas, vasas diatomáceas e sedimentos turfosos – Sedimentos fluviolacustres (Qdfl). Ocorrem Gleissolos e Neossolos Flúvicos.

Processos geodinâmicos – áreas com elevada probabilidade de atingimento por inundações ao longo do canal de drenagem dos rios. Podendo ocorrer inundação com profundidade superior a 1,20 m.

Recomendações:

- Não devem ser aprovados lotes para ocupação permanente nessa área.
- Zona de passagem da enchente – essa parte da seção do rio funciona hidraulicamente e permite o escoamento da enchente. Em qualquer planejamento urbano, deve-se procurar manter essa zona desobstruída.

Identificaram-se nessa UA áreas suscetíveis a processos de inundação, conforme se apresenta na Fotografia 7.24.

Fotografia 7.24 – Exemplo de área suscetível ao processo de inundação



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

UNIDADE DE APTIDÃO I(G)

Caracterização das unidades de aptidão à urbanização (UA)

Área de Terraços Marinhos. São sedimentos inconsolidados, constituídos por areias de praia, geralmente de granulometria média, cor branca a bege com quartzo dominante. Depósitos recentes constituídos por areias quartzosas com fragmentos de conchas.

Processos geodinâmicos – inundação na planície de maré.

Recomendação: não devem ser aprovados lotes para ocupação permanente nessa área.

7.2.1.2 Média aptidão à urbanização (II e III)

UNIDADE DE APTIDÃO II(A)

Caracterização das unidades de aptidão à urbanização (UA)

Área de mangue formada por acumulação fluviomarinha com declividade muito baixa < 3°, sujeita ao regime das marés. Substrato geológico é formado por argilas, siltes, areias finas, carapaças de algas, espículas de espongiários e restos orgânicos – Sedimentos silicoargilosos de mangue (Qm) com presença de argilas plásticas (argilas moles) e bancos de turfas.

Processos geodinâmicos – área sujeita a inundação (estação chuvosa, cheia do rio e efeito da maré). Presença de argila orgânica (redução da capacidade de carga/recalques).

Recomendações:

- Nessa área devem ser verificadas recomendações/restrições de acordo com a legislação estadual vigente.
- Estudo de caracterização Geológico-Geotécnico da área. Considerar a possibilidade de ocorrência de ruptura/recalque nos projetos de fundações diretas ou profundas.
- Considerar nessa unidade as características de ecossistema de mangue realizando um estudo mais detalhado. Realizar Estudos de Impacto Ambiental (EIA) dos quais resulta o Relatório de Impacto Ambiental (Rima), com recomendações e o parecer sobre os empreendimentos.
- As intervenções nessa área deverão ser orientadas por laudos técnicos/projetos específicos para os processos indicados.

UNIDADE DE APTIDÃO II(B)

Caracterização das unidades de aptidão à urbanização (UA)

O relevo é composto por colinas de topos aguçados e vales encaixados. As cotas altimétricas variam de 50 a 220 metros de altitude (predomina de 100 a 160 metros) com amplitudes altimétricas que variam de 50 a 80 metros. As declividades variam de 0° a 52° com o predomínio das declividades entre 17° e 27°. O substrato geológico é composto por rochas do embasamento Cristalino Biotita-granito e pelo Complexo Gnáissico-Migmatítico. Os solos predominantes são saprolíticos (solos residuais jovens) que variam de 5 a 20 metros de espessura.

Processos geodinâmicos – o principal processo observado na área é de erosão linear (ravinas e voçorocas). Pode ocorrer de forma natural ou induzida. Possibilidade de ocorrência de MGM (exemplo: deslizamento e erosão). Pode ocorrer de forma natural ou induzida.

Recomendações:

- Realizar estudos relacionados com projetos de macro e microdrenagem da área de construção, assim como implantação de estratégias físicas para controle e correção das erosões superficiais.
- Controle de drenagem superficial e subterrânea, prevendo a captação de fluxos, combinado com elementos de proteção superficial.
- Estudo de caracterização Geológico-Geotécnica do talude ou encosta. Projetar taludes de corte/aterros com inclinações adequadas e/ou obras de contenção, evitando-se a ocorrência de MGM.
- As intervenções nessa área deverão ser orientadas por laudos técnicos/projetos específicos para os processos indicados.

UNIDADE DE APTIDÃO II(C)

Caracterização das unidades de aptidão à urbanização (UA)

Áreas formadas por materiais transportados e depositados pela ação de gravidade (colúvios). Podem existir como uma mistura de silte, areia, argila e fragmentos de rocha, consistindo em um depósito pouco consolidado e permeável. Ficam facilmente saturados

durante os períodos de precipitação forte. O substrato geológico pode ser formado por rochas graníticas ou sedimentares. Esses colúvios ocorrem distribuídos no município em diferentes substratos geológicos:

II(C)a – por sedimentos argiloarenosos de granulação média (1-10 mm) a fina (0,1-1 mm) contendo, essencialmente, níveis argilosos ou, eventualmente, óxidos de ferro da Formação Barreiras (48%);

II(C)b – por ortognaisses de composição granodiorítica, com presença de milonitos, migmatitos e ortognaisses do Complexo Gnáissico-Migmatítico (26%);

II(C)c – por conglomerados, seixos de rochas vulcânicas, sustentado por matriz arcoseana (rica no mineral feldspato) e com granulação média (1-10 mm) da Formação Algoduais (14%);

II(C)d – por rochas de textura fanerítica com cristais anédricos e equigranulares, coloração cinza a creme – Biotita-granito do Embasamento Cristalino (5%);

II(B)e – por conglomerados, seixos e blocos do embasamento cristalino, sustentados por blocos (pouca matriz entre blocos e blocos apoiando blocos) da Formação Cabo (3%);

II(C)f – por rocha piroclástica com fragmentos de rocha do embasamento, cimentada por magma de natureza riolítica da Suíte Magmática Ipojuca – Ignimbrito (Kiig) (3%);

II(C)g – por rocha carbonática de composição dolomítica, coloração de creme a cinza de Formação Estiva (Ke) (2%);

II(C)h – por rocha afanítica na forma de derrames bem alterados, com esfoliação basáltica da Suíte Magmática Ipojuca (Kibs) (1%).

Processos geodinâmicos – o principal processo observado na área é de erosão linear (ravinas e voçorocas). Pode ocorrer de forma natural ou induzida. No período chuvoso, com elevação do nível d'água e saturação da massa de colúvio, esta pode mover-se lentamente sob a força da gravidade (movimento de rastejo). Esse movimento pode ocasionar danos nas fundações de obras de engenharia, problemas de estabilidade de taludes de corte e aterro, além disso, pode evoluir para um processo de deslizamento.

Recomendações:

- Realizar estudos relacionados com projetos de macro e microdrenagem da área de construção, assim como implantação de estratégias físicas para controle e correção das erosões superficiais.
- Controle de drenagem superficial e subterrânea, prevendo a captação de fluxos, combinado com elementos de proteção superficial.

- Estudo de caracterização Geológico-Geotécnica da área. Obras de construção onde o talude natural é alterado, seja por corte no pé, seja aterro sobre o talude, deverão ser orientadas por projetos com laudos técnicos específicos além da instrumentação e monitoramento para o acompanhamento das obras.
- As intervenções nessa área deverão ser orientadas por laudos técnicos/projetos específicos para os processos indicados.

UNIDADE DE APTIDÃO II (D)

Caracterização das unidades de aptidão à urbanização (UA)

Relevo composto por colinas de topos arredondados e vales abertos. As cotas altimétricas variam de 10 a 80 metros de altitude com amplitude que varia de 20 a 60 metros. As declividades variam de 0° a 42°. O substrato geológico é formado por rochas sedimentares do tipo conglomerados, seixos e blocos do embasamento cristalino (Formação Cabo – Kc). Os solos residuais maduros que ocorrem nessa área pertencem à classe dos Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos com presença de argila expansiva; são solos profundos de 20 a 40 metros. **Processos geodinâmicos** – o principal processo observado na área é de erosão linear (ravinas e voçorocas). Pode ocorrer de forma natural ou induzida. Possibilidade de ocorrência de MGM (exemplo deslizamento e erosão). Pode ocorrer de forma natural ou induzida. Possibilidade de ocorrência de solos de natureza expansiva que podem contrair ou expandir quando sofrerem variação de umidade, causando diversos problemas e danos às estruturas sobre eles assentadas.

Recomendações:

- Controle de drenagem superficial e subterrânea, prevendo a captação de fluxos, combinado com elementos de proteção superficial.
- Estudo de caracterização Geológico-Geotécnica do talude ou encosta. Projetar taludes de corte/aterros com inclinações adequadas e/ou obras de contenção, evitando-se a ocorrência de MGM.
- Estudo de caracterização Geológico-Geotécnica da área, incluindo os métodos indiretos para a identificação de solos expansivos tais como identificação mineralógica, índices físicos, limites de consistência ou parâmetros ligados à textura, composição e comportamento do solo e os métodos diretos baseados na medida da expansão induzida ao solo ou da tensão necessária para impedir essa expansão,

realizando-se ensaios do tipo edométrico para o terreno e soluções de isolamento, substituição ou estabilização do solo.

- As intervenções nessa área deverão ser orientadas por laudos técnicos/projetos específicos para os processos indicados.

Identificaram-se nessa UA processos de movimento gravitacional de massa (Fotografia 7.26, 7.27) e erosão, representada na Fotografia 7.28.

Fotografia 7.25 – Exemplos de processo de deslizamento circular sobre litologia da Formação Cabo próximo da PE-60



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Fotografia 7.26 – Início de processo de erosão após a retirada da camada de solo para aterro – Formação Cabo



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

UNIDADE DE APTIDÃO II(E)

Caracterização das unidades de aptidão à urbanização (UA)

Relevo composto por colinas de topos arredondados e vales abertos. As cotas altimétricas variam de 10 a 80, com amplitude que varia de 20 a 40 metros. A declividade varia

de 0° a 37°. O substrato rochoso é composto por conglomerado, seixos de rochas vulcânicas, sustentado por matriz arcoseana e granulação média – Formação Algodoads (Ka). Os solos residuais maduros dessa área são Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos com profundidade média de 2 metros. Os solos residuais jovens são profundos variando de 10 a 20 metros. Identificaram-se nessa UA feições referentes aos processos de erosão, representada na Fotografia 7.29. Na Fotografia 7.30 observam-se soleiras de basalto e/ou vulcânicas ácidas (traquitos/riolitos). A alteração/intemperismo gera materiais expansivos.

Fotografia 7.27 – Exemplo de processos erosivos: Formação Algodoads



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Processos geodinâmicos – o principal processo observado na área é de erosão linear (ravinas e voçorocas). Pode ocorrer de forma natural ou induzida. Possibilidade de ocorrência de MGM (exemplo: deslizamento e erosão). Pode ocorrer de forma natural ou induzida. Possibilidade de ocorrência de solos de natureza expansiva que podem contrair ou expandir quando sofrerem variação de umidade, causando diversos problemas e danos às estruturas sobre eles assentadas.

Recomendações:

- Controle de drenagem superficial e subterrânea, prevendo a captação de fluxos, combinado com elementos de proteção superficial.
- Estudo de caracterização Geológico-Geotécnica do talude ou encosta. Projetar taludes de corte/aterros com inclinações adequadas e/ou obras de contenção, evitando-se a ocorrência de MGM.
- Estudo de caracterização Geológico-Geotécnica da área, incluindo os métodos indiretos para a identificação de solos expansivos tais como identificação mineralógica, índices físicos, limites de consistência ou parâmetros ligados à textura, composição e comportamento do solo, e os métodos diretos baseados na medida da expansão induzida ao solo ou da tensão necessária para impedir essa expansão, realizando-se ensaios do tipo edométrico para o terreno e soluções de isolamento, substituição ou estabilização do solo.
- As intervenções nessa área deverão ser orientadas por laudos técnicos/projetos específicos para os processos indicados.

UNIDADE DE APTIDÃO II(F)**Caracterização das unidades de aptidão à urbanização (UA)**

Área composta por colinas de topos arredondados e vales abertos. As cotas altimétricas variam de 10 a 70 metros com amplitude que varia de 20 a 40 metros. As declividades variam de 0° a 39°. O substrato geológico é composto pela Suíte Magmática Ipojuca – Traquito, Basalto, Riolito e Ignimbrito. Podem ocorrer soleiras de basalto próximo à superfície. Os Solos residuais maduros são Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos com profundidade média de 2 metros. Os solos residuais jovens têm de 5 a 20 metros de espessura.

Processos geodinâmicos – o principal processo observado na área é de erosão linear (ravinas e voçorocas). Pode ocorrer de forma natural ou induzida. Possibilidade de ocorrência de MGM (exemplo: deslizamento e erosão). Pode ocorrer de forma natural ou induzida. Possibilidade de ocorrência de solos de natureza expansiva que podem contrair ou expandir quando sofrerem variação de umidade, causando diversos problemas e danos às estruturas sobre eles assentadas.

Recomendações:

- Controle de drenagem superficial e subterrânea, prevendo a captação de fluxos, combinado com elementos de proteção superficial.
- Estudo de caracterização Geológico-Geotécnica do talude ou encosta. Projetar taludes de corte/aterros com inclinações adequadas e/ou obras de contenção, evitando-se a ocorrência de MGM.
- Estudo de caracterização Geológico-Geotécnica da área, incluindo os métodos indiretos para a identificação de solos expansivos tais como identificação mineralógica, índices físicos, limites de consistência ou parâmetros ligados à textura, composição e comportamento do solo e os métodos diretos baseados na medida da expansão induzida ao solo ou da tensão necessária para impedir essa expansão, realizando-se ensaios do tipo edométrico para o terreno e soluções de isolamento, substituição ou estabilização do solo.
- As intervenções nessa área deverão ser orientadas por laudos técnicos/projetos específicos para os processos indicados.

UNIDADE DE APTIDÃO II(G)**Caracterização das unidades de aptidão à urbanização (UA)**

O Relevo é composto por colinas de topos arredondados e vales abertos. As cotas altimétricas variam de 10 a 70 metros com amplitude que varia de 20 a 40 metros. As declividades variam de 0° a 40°. O substrato geológico é composto por sedimentos argiloarenosos, granulação fina a média, com níveis argilosos e ricos em óxidos de ferro - Formação Barreira (Nqb). Os solos residuais maduros dessa unidade são Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos. Os solos residuais jovens são profundos variando de 10 a 15 metros.

Processos geodinâmicos – o principal processo observado na área é de erosão linear (ravinas e voçorocas). Pode ocorrer de forma natural ou induzida. Possibilidade de ocorrência de MGM (exemplo: deslizamento e erosão). Pode ocorrer de forma natural ou induzida.

Recomendações:

- Realizar estudos relacionados com projetos de macro e microdrenagem da área de construção, assim como implantação de estratégias físicas para controle e correção das erosões superficiais.

- Controle de drenagem superficial e subterrânea, prevendo a captação de fluxos, combinado com elementos de proteção superficial.
- Estudo de caracterização Geológico-Geotécnica do talude ou encosta. Projetar taludes de corte/aterros com inclinações adequadas e/ou obras de contenção, evitando-se a ocorrência de MGM.
- As intervenções nessa área deverão ser orientadas por laudos técnicos/projetos específicos para os processos indicados.

Identificaram-se nessa UA feições referentes aos processos de erosão, representada na Fotografia 7.31 e 7.32.

Fotografia 7.28 – Início de um processo de erosão depois da retirada da camada superior do solo para aterros



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

UNIDADE DE APTIDÃO II(H)

Caracterização das unidades de aptidão à urbanização (UA)

Área que apresenta planícies largas. Caracterizada por formas planas e/ou côncavas com cotas altimétricas que variam de 5 a 10 metros e declividade muito baixa, sempre inferior a 70. Formada por aluviões e por depósitos fluviais interconectados com os depósitos coluviais em

áreas mais afastadas do leito do rio. Sujeitas a inundações ao longo da rede de drenagem. O substrato geológico é composto por depósitos formados por materiais arenosos e arenoargilosos. Os solos que ocorrem nessa unidade pertencem à classe dos Gleissolos e Cambissolos gleico e à classe dos Neossolos Flúvicos.

Processos geodinâmicos – áreas com elevada probabilidade de atingimento por inundações ao longo do canal de drenagem do rio Ipojuca. Estima-se que em 43% da área de inundação a profundidade da água pode ficar entre 0 e 0,60; 48% da área de inundação a profundidade da água pode ficar entre 0,60 e 1,20 m e 9% superior a 1,20 m para (tempo de retorno) TR = 100 anos.

Recomendações:

- Zona com restrições – essa zona fica inundada aproximadamente com 50% em baixa e 50% em média profundidade. Pode ser subdividida em subáreas, mas essencialmente seu uso pode ser para parque e atividades recreativas, uso agrícola, habitação com mais de um piso.
- As intervenções nessa área deverão ser orientadas por laudos técnicos/projetos específicos para os processos indicados.

Identificaram-se nessa UA os processos hidrológicos representadas nas Fotografias 7.33 e 7.34 na parte urbana do município.

Fotografia 7.29 – Exemplo de inundação, casa “ilhada”



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

Fotografia 7.30 – Exemplo de inundação



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

UNIDADE DE APTIDÃO II(I)

Caracterização das unidades de aptidão à urbanização (UA)

Trata-se de uma área plana formada por acumulação de sedimentos de origem fluvio-lagunar com declividade muito baixa $< 3^\circ$ com cotas altimétricas variam de 10 a 70 metros. Substrato geológico formado por areias finas, siltes, argilas, vasas diatomáceas e sedimentos turfosos – Sedimentos fluvio-lacustres (Qdfl). Ocorrem Gleissolos e Neossolos Flúvicos. Nessa unidade podem ocorrer trechos com características de ecossistemas de mangue.

Processos geodinâmicos – nas áreas próximas do rio, existe elevada probabilidade de atingimento por inundações ao longo do canal de drenagem do rio Ipojuca. Estima-se que, em 44% da área de inundação, a profundidade da água pode ficar entre 0 e 0,60; 55% da área de inundação; a profundidade da água pode ficar entre 0,60 e 1,20 m e 1% superior a 1,20 m para (tempo de retorno) TR = 100 anos.

Recomendações:

- Estudo de caracterização Geológico-Geotécnico da área. Considerar a possibilidade de ocorrência de ruptura/recalque nos projetos de fundações diretas ou profundas.
- Considerar nessa unidade as características de ecossistema de mangue realizando um estudo mais detalhado. Realizar Estudos de Impacto Ambiental (EIA) dos quais

resulta o Relatório de Impacto Ambiental (Rima), com recomendações e o parecer sobre os empreendimentos.

- Zona com restrições – essa zona fica inundada aproximadamente com 50% em baixa e 50% em média profundidade. Pode ser subdividida em subáreas, mas essencialmente seu uso pode ser para parque e atividades recreativas, uso agrícola, habitação com mais de um piso.
 - As intervenções nessa área deverão ser orientadas por laudos técnicos/projetos específicos para os processos indicados.

UNIDADE DE APTIDÃO II(J)

Caracterização das unidades de aptidão à urbanização (UA)

Área de terraços marinhos que se apresentam alongados, irregulares, aproximadamente paralelos à linha de costa, largura variando de 500 metros a 1,0 quilômetro e cotas variando de 3 a 8 metros, constituídos principalmente por areias quartzosas inconsolidadas (Terraços marinhos pleistocênicos – Qtp). Nessa unidade podem ocorrer trechos com características de ecossistemas de mangue.

Processos geodinâmicos – áreas alagáveis. Presença de argila orgânica (redução da capacidade de carga/recalques).

Recomendações:

- Estudo de caracterização Geológico-Geotécnico da área. Considerar a possibilidade de ocorrência de ruptura/recalque nos projetos de fundações diretas ou profundas.
- Considerar nessa unidade as características de ecossistema de mangue realizando um estudo mais detalhado. Realizar Estudos de Impacto Ambiental (EIA) dos quais resulta o Relatório de Impacto Ambiental (Rima), com recomendações e o parecer sobre os empreendimentos.
- As intervenções nessa área deverão ser orientadas por laudos técnicos/projetos específicos para os processos indicados.

UNIDADE DE APTIDÃO III(A)

Caracterização das unidades de aptidão à urbanização (UA)

Esta unidade é definida como Estação Ecológica de Bita e Utinga. Trata-se de uma área de preservação e a restauração da diversidade ecológica do Bioma Mata Atlântica que obedecem ao Decreto n.º 38.261, de 5 de junho de 2012. O relevo dessa área é constituído por colinas com topos arredondados e vales abertos. As cotas altimétricas variam de 10 a 120 metros de altitude com amplitude de relevo, variando entre 20 e 40 metros. Declives que variam de 0° a 46°. O substrato geológico é composto por rochas do embasamento Biotita-granito e o Complexo Gnáissico-Migmatítico e por areais, siltes e argilas (Depósitos Aluviais – Qal). Ocorrem solos maduros que pertencem às classes Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos lateríticos. Os solos residuais jovens (saprolito) variam de 10 a 15 metros de espessura.

Processos geodinâmicos – o principal processo observado na área e de erosão linear (ravinas e voçorocas). Pode ocorrer de forma natural ou induzida.

Recomendações:

- Nessa área devem ser verificados recomendações/restrições de acordo com a legislação estadual vigente.
- Estudo de caracterização Geológico-Geotécnica do talude ou encosta. Projetar taludes de corte/aterros com inclinações adequadas e/ou obras de contenção, evitando-se a ocorrência de movimentos gravitacionais de massa.
- Controle de drenagem superficial e subterrânea, prevendo a captação de fluxos, combinado com elementos de proteção superficial.
- Realizar estudos relacionados com projetos de macro e microdrenagem da área de construção, assim como implantação de estratégias físicas para controle e correção das erosões superficiais.
- As intervenções nessa área deverão ser orientadas por laudos técnicos/projetos específicos para os processos indicados.

UNIDADE DE APTIDÃO III(B)

Caracterização das unidades de aptidão à urbanização (UA)

Área de relevo plano com declividade $< 3^\circ$ com cotas altimétricas variam de 0 a 10 metros. Substrato rochoso composto por rocha carbonática de composição dolomítica, coloração de creme a cinza – Formação Estiva (Ke). Ocorrem solos do tipo Espodosolos.

Processos geodinâmicos – na ocorrência de rochas calcárias, existe a possibilidade da ocorrência de processo de dissolução na rocha. Podendo desenvolver vazios apresentando risco para futuras fundações. Área sujeita a inundação.

Recomendações:

- Recomenda-se a realização de uma investigação geológico-geotécnica para maior conhecimento do material do subsolo nessa área, incluindo o estudo de ocorrências de vazios na presença de rochas calcárias. Nos locais de construções previstas, realizar obras de impermeabilização para águas superficiais.
- Desenvolver estudos de macrodrenagem para determinar a possível área de inundação (cotas de inundação).
- Aprovação de lotes nessas áreas devem respeitar os limites mínimos para Áreas de Proteção Permanentes (APP) de acordo com a legislação vigente; além de se providenciar os Estudos de Impacto Ambiental (EIA) dos quais resulta o Relatório de Impacto Ambiental (Rima), com recomendações e o parecer sobre os empreendimentos.
- As intervenções nessa área deverão ser orientadas por laudos técnicos/projetos específicos para os processos indicados.

UNIDADE DE APTIDÃO III(C)

Caracterização das unidades de aptidão à urbanização (UA)

Relevo composto por colinas com topos arredondados e vales encaixados com amplitude de relevo variando entre 40 a 60 metros. A declividade varia de 0° a 50° . O substrato geológico é composto por rochas do embasamento Cristalino Biotita-granito (Ny3), pelo Complexo Gnáissico-Migmatítico (Px). Solos maduros pertencem às classes dos Latossolos

Amarelos, Argissolos Amarelos. Solos residuais jovens (saprolito) com espessura que varia de 20 a 30 metros.

Processos geodinâmicos – o principal processo observado na área e de erosão linear (ravinas e voçorocas). Pode ocorrer de forma natural ou induzida. Possibilidade de ocorrência de MGM (exemplo; deslizamento). Pode ocorrer de forma natural ou induzida.

Recomendações:

- Estudo de caracterização Geológico-Geotécnica do talude ou encosta. Projetar taludes de corte/aterros com inclinações adequadas e/ou obras de contenção, evitando-se a ocorrência de MGM.
- Controle de drenagem superficial e subterrânea, prevendo a captação de fluxos, combinado com elementos de proteção superficial.
- Realizar estudos relacionados a projetos de macro e micro drenagem da área de construção, assim como implantação de estratégias físicas para controle e correção das erosões superficiais.
- As intervenções nessa área deverão ser orientadas por laudos técnicos/projetos específicos para os processos indicados.

Apresentam-se na Fotografia 7.35 formas de ocupação desordenada no pé da encosta.

Fotografia 7.31 – Formas de ocupação desordenada: processos induzidos de deslizamento e erosão



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

UNIDADE DE APTIDÃO III(D)

Caracterização das unidades de aptidão à urbanização (UA)

Área composta por colinas com topos arredondados e vales encaixados. As cotas altimétricas variam de 60 a 210 metros com amplitude que varia de 75 a 135 metros. As declividades variam de 0° a 49°. O substrato geológico é composto por rochas do embasamento Cristalino formadas pelas rochas do Complexo Gnáissico-Migmatítico (Px), Biotita-granito porfirítico (Ny2) – e Biotita-granito (Ny3). Solos maduros pertencem às classes dos Latossolos Amarelos, Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos. Solos residuais jovens (saprolito) com espessura que varia de 15 a 20 metros. Podem ocorrer enclaves de afloramentos de rochas em áreas isoladas.

Processos geodinâmicos – o principal processo observado na área e de erosão linear (ravinas e voçorocas). Pode ocorrer de forma natural ou induzida. Possibilidade de ocorrência de MGM (exemplo: deslizamento). Pode ocorrer de forma natural ou induzida.

Recomendações:

- Estudo de caracterização Geológico-Geotécnica do talude ou encosta. Projetar taludes de corte/aterros com inclinações adequadas e/ou obras de contenção, evitando-se a ocorrência de MGM.
- Controle de drenagem superficial e subterrânea, prevendo a captação de fluxos, combinado com elementos de proteção superficial.
- Realizar estudos relacionados com projetos de macro e microdrenagem da área de construção, assim como implantação de estratégias físicas para controle e correção das erosões superficiais.
- As intervenções nessa área deverão ser orientadas por laudos técnicos/projetos específicos para os processos indicados.

Formas de ocupação desordenada em encosta, processos induzidos (Fotografia 7.36).

Fotografia 7.32 – Formas de ocupação desordenada



Fonte: Acervo Gegep, 4 mar. 2015.

7.2.1.3 Alta aptidão à urbanização (IV)

UNIDADE DE APTIDÃO IV(A)

Caracterização das unidades de aptidão à urbanização (UA)

Área de terraços marinhos que aparecem em cotas variando entre 4 a 5 metros. São produtos da erosão contínua logo após sua deposição. Constituídos por areias finas, areias médias e matéria orgânica quando próximo à área de mangue. Pelo aspecto linear, são conhecidos como cordões litorâneos.

Processos geodinâmicos – possibilidade de ocorrência de erosão costeira.

Recomendações:

- Recomenda-se a realização de uma investigação geotécnica para um maior conhecimento do material do subsolo.

- As intervenções nessa área deverão ser orientadas por laudos técnicos/projetos específicos.

UNIDADE DE APTIDÃO IV(B)

Caracterização das unidades de aptidão à urbanização (UA)

Área de terraços marinhos que se apresentam alongados, irregulares, aproximadamente paralelos à linha de costa, largura variando de 500 metros a 1,0 quilômetro e cotas variando de 3 a 8 metros, constituídos principalmente por areias quartzosas inconsolidadas (Terraços marinhos pleistocênicos – Qtp).

Processos geodinâmicos – área apta à urbanização por não proporcionar ocorrências de processos geodinâmicos

Recomendações:

- Recomenda-se a realização de uma investigação geotécnica para maior conhecimento do material do subsolo.
- As intervenções nessa área deverão ser orientadas por laudos técnicos/projetos específicos.

7.2.2 Quadro-legenda

O quadro-legenda elaborado tem a finalidade de apresentar uma síntese dos resultados obtidos, dando destaque às informações pertinentes e de importância para o entendimento e utilização da carta geotécnica de aptidão. No quadro-legenda, descrevem-se a caracterização das unidades de aptidão à urbanização, os processos ou problemas do meio físico e as recomendações e/ou restrições quanto ao uso do solo para fins de ocupação urbana.

7.2.3 Banco de dados

O banco de dados criado no sistema de informações geográficas e executado no ambiente do software ArcGIS foi adequado para o trabalho de mapeamento geotécnico. Além de garantir a integração da ampla gama de dados, permitiu a síntese e a geração de planos de informação. O sistema gerenciador de banco de dados de software tem uma linguagem técnica

acessível, permitindo consulta aos dados e beneficiamento dos mapas de maneira rápida, de forma que as análises pudessem ser realizadas de maneira objetiva.

7.2.4 Relatório técnico

O relatório técnico tem como principal finalidade orientar os usuários sobre os principais procedimentos para o uso da carta. Anexam-se ao relatório a base cartográfica, os mapas temáticos de uso e ocupação da terra, zonas de proteção ambiental, zonas para o aproveitamento de agregados e cartas de suscetibilidade a movimentos de massa e inundação. Adicionalmente, anexa-se ao relatório uma mídia digital, contendo arquivos com produtos criados no referido trabalho, garantindo a plena utilização dele pelo atendimento da compatibilidade técnica para os futuros usuários.

8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

8.1 CONCLUSÕES

Nesta seção apresentam-se as principais conclusões obtidas neste trabalho e as recomendações.

O intenso crescimento populacional acelerado do município do Ipojuca, com a inserção do Complexo Industrial Portuário de Suape, resultou em uma expansão urbana descontrolada. O resultado desse processo foi a ocupação de áreas de risco impróprias para moradia em planícies de inundação, fundo de vales. Para ordenar o correto uso e ocupação do solo, seja em áreas urbanas, seja em áreas rurais, faz-se necessário o adequado conhecimento dos atributos do meio físico.

O município não consegue implementar as diretrizes estabelecidas pelo seu Plano Diretor. Existe uma enorme defasagem entre as diretrizes estabelecidas no zoneamento do município e a realidade encontrada. Observa-se, também, que o município não obedece a nenhum critério de planejamento em relação ao meio físico, nem as restrições geológico-geotécnicas que possam ser utilizadas como ferramenta de auxílio ao planejamento e controle do uso e ocupação do solo.

A Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização constitui um instrumento de planejamento urbano que contribui para a observância das diretrizes da PNPDEC ao fornecer subsídios para que novos projetos de parcelamento do solo incorporem diretrizes urbanísticas adequadas a uma regular ocupação e uso do solo, voltadas para a prevenção dos desastres naturais, contribuindo para a estruturação de cidades resilientes em manutenção do ambiente equilibrado e em defesa da população.

A carta de aptidão à urbanização elaborada para todo o município do Ipojuca na escala de 1:25.000 constitui uma importante ferramenta de ordenamento e gestão territorial no que se refere à orientação dos seus vetores de crescimento, minimizando a possibilidade de exposição da população à ocorrência de processos ou eventos de desastres naturais ou induzidos. Fornecendo dados que contribuam para as diversas ações de planejamento municipal.

Com a aplicação do método de Unidades de Terreno proposto por Coutinho (2014), obteve-se uma carta geotécnica de aptidão de escala 1:25.000, contendo os condicionantes do meio físico e as recomendações que podem subsidiar regras de ocupação para o município (Plano Diretor, Código de Obras, dentre outras).

O SIG construído com o software ArcGIS 10.1 mostrou-se bastante adequado para o trabalho de mapeamento geotécnico associado a banco de dados. Além de permitir a integração de vários mapas e dados, ele tem a capacidade de gerar e cruzar mapas, gerando novos planos de informações. Sua interface simples e prática permite fácil consulta a dados e mapas, de maneira rápida, permitindo que as análises possam ser realizadas de maneira objetiva. A utilização de sistemas de informações geográficas é bastante adequada para organizar e apresentar os resultados do mapeamento geotécnico, que envolvem uma grande quantidade de informações que tem referência espacial.

As pesquisas em mapeamento geotécnico desenvolvidas no LABRRID têm atingido os resultados esperados. O uso de geoprocessamento na aplicação da metodologia do Gegep tornou o processo ágil e produtivo, permitindo a obtenção de produtos cartográficos de melhor qualidade.

Foi necessária, no entanto, atenção a algumas inconsistências que surgiram quando foi realizado o cruzamento dos mapas, sendo necessárias verificações *in loco* das unidades, para um mapeamento mais preciso. Essas inconsistências são resultados de erros contidos na base cartográfica que era na época muito antiga.

A participação dos gestores, técnicos da prefeitura, pesquisadores e alunos, os trabalhos integrados de campo da equipe do Gegep permitiram a produção de mapas e cartas de muito boa qualidade, além de facilitar e agilizar o processo de análise das informações e confecção dos mapas resolvendo todas as inconsistências.

O mapa de zoneamento para o aproveitamento de agregados para a construção civil constitui uma ótima ferramenta na busca de novas soluções para relação entre meio ambiente, população, estado e mineração. Visa contemplar um crescimento harmônico em decorrência da expansão acelerada que vem ocorrendo nesse município com a expansão de Suape. Os conflitos que surgem entre a população e a mineração, na maioria das vezes, inviabilizam a indústria da mineração, o que acarreta uma estagnação no desenvolvimento da região, pois os setores de infraestrutura urbana e habitação dependem da disponibilidade de agregados minerais.

Observando-se as unidades de aptidão à urbanização à erosão, obtidas por meio da metodologia apresentada no Quadro 4.4 da seção 4.5, foi possível individualizar 23 zonas de uso e ocupação do solo. Foram estabelecidas áreas com alta aptidão à urbanização, áreas com média aptidão à urbanização e áreas com baixa aptidão à urbanização, verificou-se:

- 7 subclasses na unidade de Baixa Aptidão à Urbanização.
- 14 subclasses na unidade de Média Aptidão, sendo 10 na cor laranja e 4 na cor amarela.
- 2 subclasses na unidade de Alta Aptidão à Urbanização.

Nas áreas onde é indicada aptidão à urbanização média e alta, não significa que não possam ocorrer processos. Eles podem ser deflagrados ou agravados pelo tipo de uso e ocupação, principalmente, por cortes e/ou aterros nas encostas em áreas de ação antrópica e ocupação inadequada das áreas de risco de inundação.

Os estudos complementares feitos na Formação Cabo mostraram que a formação é constituída por conglomerados de rochas diversificadas (granitos, gnaisses, migmatitos, micaxistos) com diferentes diâmetros e graus de organização. Inclui também arcóseos conglomeráticos ou não, apresentando cimentação carbonática, mascarada em superfície pelo intemperismo químico; além de siltitos, argilitos e folhelhos. A estrutura encontrada nesses solos foi apenas em blocos, com predomínio dos subangulares de tamanho variando entre muito pequena e média. Os estudos de caracterização mostraram que nos horizontes BC, C, C/R existe uma classificação alta para erodibilidade. O solo foi classificado como um solo fino, de acordo com sua textura obtida no ensaio granulométrico.

Nos horizontes pedológicos em que foram coletadas amostras amolgadas, observa-se um equilíbrio entre a fração areia (40 %) e a fração argila (40 %). Os resultados obtidos no índice de atividade da argila classificam todas as amostras com ativas. A coesão do solo na condição de umidade natural foi de 31,1 kPa e saturado foi de 17.6 kPa, e o ângulo de atrito respectivamente foi de 36,6° e 34, 8°. Com as análises mineralógicas ao longo dos horizontes, observou-se a presença de minerais 1:1 como da caulinita (Ct), da gibbsita (Gb) Hematita (Hm), Ilmenita (Im) e da goethita (Gt) como os principais constituintes e a presença de minerais 2:1 como a Mica (Mic) e Esmectita (Em). Conforme apresentado no mapa de zoneamento de agregados, esse material tem sido utilizado com material de empréstimo sem nenhum estudo para caracterização. Conforme os resultados apresentados, esse material tem suscetibilidade à expansão.

Espera-se que os resultados aqui obtidos possam de alguma forma ser aproveitados como uma ferramenta de auxílio na ocupação urbana no município do Ipojuca-PE, fornecendo as melhores opções dentre as existentes para o melhor uso sustentável do meio físico.

8.2 RECOMENDAÇÕES

Montar uma sistemática automatizada de coleta e registro de dados de campo, visando à atualização das informações dos eventos ocorridos no município (inventário); para que posteriormente esses dados sejam utilizados nas etapas de atualização do mapeamento.

A caracterização mineralógica dos argilominerais da formação cabo na fração granulométrica $< 4 \mu\text{m}$.

Essa carta deve ser utilizada para fins de zoneamento e planejamento de uso e ocupação do solo. No caso de projetos de engenharia, estudos detalhados pertinentes devem ser realizados em consonância com as normas técnicas vigentes.

A carta deve ser trabalhada em conjunto com o Mapa de Zonas de Proteção Ambiental, com as Cartas de Suscetibilidade a Movimentos de Massa e Inundação para melhor entendimento dos níveis de processos.

Fortalecimento do órgão municipal de proteção e defesa civil.

Implementação de programa de capacitação continuada dos servidores visando aumentar seus conhecimentos na utilização de ferramenta para a prevenção de desastres e redução de riscos.

Recomenda-se o acompanhamento da utilização da Carta Geotécnica de Aptidão pela prefeitura.

REFERÊNCIAS

- ABNT. *NBR 7181*: solo: análise granulométrica. Rio de Janeiro, dez. 1984a.
- _____. *NBR 6459*: solo: determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, out. 1984b.
- _____. *NBR 7180*: solo: determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, out. 1984c.
- _____. *NBR 6508*: grãos de solo que passam pela peneira de 4,8 mm: determinação da massa específica. Rio de Janeiro, out. 1984d.
- _____. *NBR 6457*: amostras de solo: preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, ago. 1986.
- _____. *NBR 6502*: rochas e solos. Rio de Janeiro, set. 1995.
- ALHEIROS, M. M. *Riscos de escorregamentos na região metropolitana de Recife*. Recife, 1998. 135p. Tese (Doutorado em Geociências, Área de Concentração em Geologia Sedimentar) – Universidade Federal da Bahia. Instituto de Geociências, 1998.
- _____; FERREIRA, M. da G. V. X. Considerações sedimentológicas e estratigráficas sobre a Formação Cabo, Pernambuco. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 19, n.1, p. 17-24, mar. 1989.
- _____. et al. Sistemas deposicionais na Formação Barreiras no Nordeste Oriental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., 1988, Belém-PA. *Anais...* Belém: SBG, 1988. v. 2, p.753-760.
- _____. et. a. *Manual de ocupação dos morros da região metropolitana do Recife*: Programa Viva o Morro. Recife: Fundação de Desenvolvimento Municipal, 2003.
- ALMEIDA, F. F. M. et al. Províncias estruturais brasileiras. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8., 1977, Campina Grande. *Atas...* Campina Grande: SBG, 1977. p. 363-391
- ALMEIDA, R. O. *Estudo geotécnico e análise de estabilidade da encosta Bela Vista no município de Ipojuca-PE*. 2016. 162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.
- ALVES SOBRINHO, T. et al. Delimitação de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 46-57, 2010.
- AMARAL, A. J. R.; MENOR, E. A. A sequência vulcano-sedimentar cretácea da região de Suape (PE): interpretação faciológica e considerações metalognéticas. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 9., 1979, Natal, RN. *Atas...* Natal: SBG, 1979. p. 251-269.
- AMARAL, C. A. *Geomorfologia e declividade do município de Ipojuca/Pernambuco*. Recife: CPRM/Fidem, 1998.

AMORIM, S.F. *Contribuição à Cartografia Geotécnica: Sistema de Informações Geográficas dos Solos Expansivos e Colapsíveis do Estado de Pernambuco (SIGSEC-PE)*. 2004. 246 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004.

ANTOINE, P. Réflexions sur la cartographie Zermos et bilan des expériences en cours. 1977. *Bulletin de Bureau de Recherches Géologiques et Minières*, v. 2, section III, n. 1-2, p. 9-20, 1977.

ARONOFF, S. *Geographic information systems: a management perspective*. Ottawa, Canadá: WDL Publications, 1989.

ATKINSON, P. *GIS and geocomputation: innovation in GIS 7*. CRC Press, 2000.

BANDEIRA, A. P. N. *Mapa de risco de erosão e escorregamento das encostas com ocupações desordenadas no município de Camaragibe-PE*. 2003. 233 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

_____; ALHEIROS, M. M.; COUTINHO, R. Q. Mapeamentos de Risco de Escorregamento: Contextualização e Estudos de caso em Camaragibe (PE). In COBRAE - Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, 4., 2005, Salvador. *Anais...* Salvador: ABMS, 2005. v. 1, p. 61-74.

_____; COUTINHO R. Q. Critical Rainfall Parameters: Proposed Landslide Warning System for the Metropolitan Region of Recife, PE, Brasil. *Soil and Rocks*, São Paulo, v. 38, n. 1, p. 27-48, Jan.-Apr. 2015.

_____; COUTINHO, R. Q.; ALHEIROS, M. M. Landslide Hazard Map in one Area of The Municipal District of Camaragibe-PE/Brazil. In: IX INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LANDSLIDE, 9., 2004, Rio de Janeiro. *Anais...* London: Balkema, 2004. p. 303-309.

BARBOSA, V. *Estudo do comportamento geotécnico de um solo argiloso de Cabrobó, potencialmente expansivo, estabilizado com cal*. 2013. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

BATISTA, P. H. L. et al. Carta geotécnica de aptidão à urbanização frente aos desastres: instrumento de suporte ao planejamento territorial com apoio do Ministério das Cidades. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 15, 2015, Bento Gonçalves, RS. *Anais...* São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2015.

BITAR, O. Y; FREITAS, C. G. L. DE; SEPE, P. M. Cartografia geotécnica, plano diretor e prevenção de desastres. *Revista Técnica*, ano 20, n. 180, p. 68-74, mar. 2012.

BRASIL. Lei n.º 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, DF, 16 set. 1965, Seção 1, p. 9.529. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1960-1969/lei-4771-15-setembro-1965-369026-publicacaooriginal-1-pl.html>>. Acesso em: 5 ago. 2015.

BRASIL. Lei n.º 6.766, de 19 dez. 1979. Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, DF, 20 dez. 1979.

_____. Lei n.º 7.803, de 18 de julho de 1989. Altera a redação da Lei n.º 4.771, de 15 de setembro de 1965, e revoga as Leis n.º 6.535, de 15 de junho de 1978, e 7.511, de 7 de julho de 1986. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, DF, 20 jul. 1989. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7803.htm>. Acesso em: 5 ago. 2015.

_____. Portaria n.º 58, de 26 de setembro de 2000. Reconhecer, mediante registro, como Reserva Particular do Patrimônio Natural - RPPN: Nossa Senhora do Oiteiro de Maracáipe no Município de Ipojuca, Estado do Pernambuco, de propriedade da Paróquia de São Miguel. 2000. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, DF, 27 set. 2000, Seção 1, n. 187, p. 98. Disponível em: <http://sistemas.icmbio.gov.br/site_media/portarias/2010/04/30/PE_RPPN_NSOMaracaibe.pdf>. Acesso em: 5 ago. 2015.

_____. Lei n.º 10.257 de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, DF, 11 jul. 2001.

_____. *Decreto n.º 7.257*, de 4 de agosto de 2010. Regulamenta a Medida Provisória n.º 494 de 2 de julho de 2010, para dispor sobre o Sistema Nacional de Defesa Civil - SINDEC, sobre o reconhecimento de situação de emergência e estado de calamidade pública, sobre as transferências de recursos para ações de socorro, assistência às vítimas, restabelecimento de serviços essenciais e reconstrução nas áreas atingidas por desastre, e dá outras providências. 2010a. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/Decreto/D7257.htm>. Acesso em: 20 nov. 2016.

_____. *Lei n.º 12.340*, de 1 de dezembro de 2010. Dispõe sobre as transferências de recursos da União aos órgãos e entidades dos Estados, Distrito Federal e Municípios para a execução de ações de prevenção em áreas de risco de desastres e de resposta e de recuperação em áreas atingidas por desastres e sobre o Fundo Nacional para Calamidades Públicas, Proteção e Defesa Civil; e dá outras providências. 2010b. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112340.htm>. Acesso em: 20 nov. 2016.

_____. Lei n.º 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC. Dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil – CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis n.ºs 12.340, de 1º de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, DF, 11 abr. 2012a.

BRASIL. Ministério do Planejamento. *Plano nacional de gestão de riscos e resposta a desastres naturais 2012-2014*. Brasília, 2012b. Disponível em:

<http://www.planejamento.gov.br/apresentacoes/apresentacoes-2012/120808_plano_nac_risco_2.pdf>. Acesso em: 14 set. 2014.

_____. Ministério da Integração Nacional. *Instrução Normativa n.º 01*, de 24 de agosto de 2012. Estabelece procedimentos e critérios para a decretação de situação de emergência ou estado de calamidade pública pelos Municípios, Estados e pelo Distrito Federal, e para o reconhecimento federal das situações de anormalidade decretadas pelos entes federativos e dá outras providências. 2012c. Disponível em: <http://www.mi.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=822a4d42-970b-4e80-93f8-dae395a52d1&groupId=301094>. Acesso em: 20 nov. 2016.

_____. Lei n.º 12.651, de 25 de maio de 2012. Código Florestal Brasileiro. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis n.ºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis n.ºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória n.º 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, DF, 28 maio 2012d.

_____. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. *Anuário brasileiro de desastres naturais 2013*. Brasília: Cenad, 2014.

_____. Constituição (1998). Constituição da República Federativa do Brasil. Texto constitucional promulgado em 5 de outubro de 1988, com as alterações determinadas pelas Emendas Constitucionais de Revisão n.ºs 1 a 6/94, pelas Emendas Constitucionais n.ºs 1/92 a 91/2016 e pelo Decreto Legislativo n.º 186/2008. Brasília: Senado Federal, Coordenação de Edições Técnicas, 2016.

BRITO NEVES, B. B. *Regionalização geotectônica do precambriano nordestino*. 1975. 198 f. Tese (Doutorado)–Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1975.

_____ et al. Reavaliação dos dados geocronológicos do pré-cambriano do Nordeste brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., 1973, Porto Alegre. SBG/Núcleo Nordeste. *Anais...* Porto Alegre, 1973. p. 261-271.

BURROUGH, P. A. *Principles of geographical information systems for land resources assessment*. Oxford: Clarendon Press, 1986.

CALAES, G. D. et al. Bases para o desenvolvimento sustentável e competitivo da indústria de agregados nas regiões metropolitanas do país: parte 2. *Revista da Escola de Minas*, v. 61, n. 1, p. 47-56, 2008.

CANIL, K. et al. O processo interativo na elaboração da carta geotécnica de aptidão à urbanização e sua aplicação ao planejamento e gestão territorial do município de São Bernardo do Campo, SP. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE DE ANÁLISE DE RISCO LATINO-AMERICANA: Desenvolvimento e Riscos no Contexto Latino-Americano, 3., 2016, São Paulo. *Anais...* São Paulo: IPT, 2016. Trabalho 125. p. 1-7.

CARVALHO, C. S.; GALVÃO, T. (Org.). Ação de apoio à prevenção e erradicação de riscos em assentamentos precários. In: _____. *Prevenção de riscos e deslizamentos em encostas: guia para elaboração de políticas municipais*. Brasília: Ministério das Cidades, 2006. cap. 1, p. 12-19.

_____; MACEDO, E. S.; OGURA, A. T. (Org.). *Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios*. Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2007.

CARVALHO, J. C. et al. (Org.) *Processos erosivos no Centro-Oeste brasileiro*. Brasília: Finatec, 2006.

CERRI, L. E. S. Carta geotécnica: contribuições para uma concepção voltada às necessidades brasileiras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 6, 1990, Salvador. *Anais...* São Paulo: ABGE, 1990. v. 1, p. 309-317.

_____. Riscos geológicos urbanos. In: CHASSOT, A.; CAMPOS, H. (Org.). *Ciências da Terra e o meio ambiente: diálogos para (inter)ações no planeta*. São Leopoldo, RS: Unisinos, 1999. p. 133-146.

CONDEPE/FIDEM. *Diretrizes para a ocupação sustentável para Suape*. Recife, 2008.

COTTAS, L. R. *Estudo geológico aplicado ao planejamento urbano de Rio Claro-SP*. 1983. 171 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1983.

COUTINHO, R. Q. Gestão de riscos de movimentos de massa para planejamento do uso do solo. PALESTRA ABMS, 2010, São Paulo. *Anais*. São Paulo: Núcleo Regional São Paulo da ABMS, 2010.

_____. (Org.). *Parâmetros para a cartografia geotécnica e diretrizes para medidas de intervenção de áreas sujeitas a desastres naturais*. Recife: Ministério das Cidades; UFPE, 2013. (Documento Técnico).

_____. (Coord.). *Carta geotécnica de aptidão à urbanização frente a desastres naturais do município do Ipojuca, Pernambuco: relatório técnico*. Termo de Cooperação Ministério das Cidades e Universidade Federal de Pernambuco. Recife: Gegep; UFPE, 2014.

_____; BANDEIRA, A. P. Processos e instabilização de encostas e avaliação do grau de risco: estudo de caso nas cidades de Recife e Camaragibe. LACERDA, W. A. et al. (Org.). *Desastres naturais: suscetibilidade e riscos, mitigação e prevenção, gestão e ações emergenciais*. Rio de Janeiro: Coppe/UFRJ, 2012. cap. 4, p. 41-61.

_____; SILVA, M. M. Classificação e mecanismos de movimento de massa. CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS – COBRAE, 4., 2005, Salvador, BA. *Anais...* Salvador, 2005.

_____; SILVA, M. M. *Desenvolvimento de material didático ou instrucional: apostila de estabilidade de taludes*. Recife: UFPE, 2006.

COUTINHO, R. Q.; SEVERO, R. N. F. Investigação geotécnica para projeto de estabilidade de encostas. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 5., 2009, São Paulo. *Anais...* São Paulo, 2009. v. 1, p. 55.

_____ et al. Carta geotécnica da cidade do Recife. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 9, 1990, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: ABMS, 1990. v.1, p. 429-439.

_____ et al. Estudo da erosão da encosta do Horto de Dois Irmãos-PE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 9., 1999, São Paulo. *Anais...* São Paulo, ABGE, 1999. 1 CD-ROM.

_____ et al. Geotechnical characterization of an unsaturated soil in the Barreiras Formation, Pernambuco, Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON UNSATURATED SOILS, 4., 2006, Carefree, Arizona. *Annals...* Carefree: AZ, 2006.

_____ et al. Mapeamento da suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa como subsídio à elaboração de carta geotécnica de aptidão à urbanização no município do Ipojuca, PE. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL, 9, 2015. Cuiabá, MT. *Anais...*, Cuiabá, MT: UFMT, 2015.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Projeto Insumos Minerais para a Construção Civil na Região Metropolitana do Recife. Recife: CPRM, 2012. 144 p. Programa Geologia do Brasil. Série Rochas e Minerais Industriais, nº 9. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/IRM_Recife.pdf. Acesso em: 9 set. 2016.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. DICART – *Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação*: município de Ipojuca-PE. 2016, Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/15024>> Acesso em: 9 set. 2016.

CRUDEN, D. M.; LAN, H. X. Using the working classification of landslides to assess the danger from a natural slope. In: LOLLINO, G. et al. (Ed.). *Engineering geology for society and territory: landslide processes*. Berlin: Springer International, 2015. v. 2, p. 3-12.

_____; VARNES, D. J. Landslide types and processes. In: TURNER, A. K.; SHUSTER, R. L. (Ed.). *Landslides: investigation and mitigation*. *Transportation Research Board: Special Report*, n. 247, p. 36-75, 1996.

CUNHA, C. M. L. *A cartografia geomorfológica em áreas litorâneas*. 2011. 116 f. Tese (Livre Docência)–Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro-SP, 2011.

DEARMAN, W. R.; MATULA, M. Environmental aspects of engineering geological mapping. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, n. 14, p. 141-146, 1977.

DEERE, D. U.; DEERE, D. W. The rock quality designation (RQD): index in practice. KIRKALDIE, L. (Ed.). *Rock Classification Systems for Engineering Purposes*, ASTM STP 984. Philadelphia, Pennsylvania: American Society for Testing and Materials, 1988. p. 91-101.

DIAS, R. D. Proposta de metodologia de definição de carta geotécnica básica em regiões tropicais e subtropicais. *Revista do Instituto Geológico*, São Paulo, v. 16, n. esp., p. 51-55, 1995.

DINIZ, N. C. *Automação da cartografia geotécnica: uma ferramenta de estudos e projetos para avaliação ambiental*. 1998. 2 v. Tese (Doutorado)–Departamento de Transportes, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

_____. Cartografia geotécnica por classificação de unidades de terreno e avaliação de suscetibilidade e aptidão. *Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental*, v. 2, n. 2, p. 29-77, 2012.

_____ et al. (Coord.). Cartografia geotécnica. In: COUTINHO, R. Q. (Org.). *Parâmetros para a cartografia geotécnica e diretrizes para medidas de intervenção de áreas sujeitas a desastres naturais*. Brasília: Ministério das Cidades/Gegep/UFPE, 2013. cap. 7.

DUARTE, C. C. *Eventos extremos de chuva e análise da suscetibilidade a movimentos de massa no município do Ipojuca-PE*. 2015. 275 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Departamento de Ciências Geográficas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). *Procedimentos normativos de levantamentos pedológicos*. Brasília: SPI, 1995.

_____. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

FELL, R. et al. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. *Engineering Geology*, New York, v. 102, n. 3-4, p. 85-98, 2008.

FERREIRA, C. E. O. et al. *A política da CPRM para elaboração das cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL, 9, 2015, Cuiabá, MT. *Anais...* São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2015. Trabalho 3. p. 1-3.

FERREIRA, S. R. M. *Colapso e expansão em solos naturais não saturados devidos à inundação*. 1995. 379 f. Tese (Doutorado)–Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1995.

FLORES, J. A. A. (Coord.). *Elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais no município de São José, estado de Santa Catarina: relatório técnico*: Ministério das Cidades e Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis; UFSC, 2014. Termo de Cooperação.

FORNASARI FILHO, N. (Coord.) et al. *Alterações no meio físico decorrentes de obras de engenharia*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1992.

FORTES, L. R. G. M. *Processo de modelagem de dados em sistema de informação geográfica*. 1998. Dissertação (Mestrado)–Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

FREITAS, C. G. L. *Cartografia geotécnica de planejamento e gestão territorial: proposta teórica e metodológica*. 2000. 238 f. Tese (Doutorado)–Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

FUJIMOTO, N. S. V. et al. A identificação de setores de risco a movimentos de massa no município de São Sebastião-SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA, 2., 1996 e ENCONTRO REGIONAL DE GEOTECNIA E MEIO AMBIENTE, 1., 1996, São Carlos (SP). *Anais...* São Carlos: ABGE, 1996. p. 129-136.

GERSCOVICH, D. M. S. *Estabilidade de taludes*. São Paulo: Oficina de Texto, 2012.
GOMES, H. A. *Geologia e recursos minerais do Estado de Pernambuco. Mapa geológico do Estado de Pernambuco, escala 1:500.000*. Brasília: CPRM/Diedig/Depat, 2001.

GONÇALVES, F. S. *Mapeamento geológico do município de Ipojuca-PE*. 2014. 81 f. Trabalho de Conclusão (Graduação em Geologia) – Curso de Geologia, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.

GRANT, K. Terrain classification for engineering purpose of mare area, south Australia. CSIDO Australia: Division of Soil Mechanics. *Technical Paper*, n. 4, 5, 6 and 7, 1970.

GUERRA, S. M. S. *Cartografia geológico-geotécnica de áreas costeiras: o exemplo de Suape-PE*. 1998. 176 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista, Câmpus de Rio Claro, Rio Claro, 1998.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. *Estabilidade de taludes naturais e de escavação*. São Paulo: E. Blücher; Ed. da Universidade de São Paulo, 1984.

GUSMÃO FILHO, J. A. Risco geológico no Recife. Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 2., 1993, Poços de Caldas. *Anais...* Poços de Caldas: ABGE, 1993. v. 3, p. 41-62.

_____. *Chuvas e deslizamentos nas encostas ocupadas*. In: WORKSHOP A METEOROLOGIA E OS RECURSOS HÍDRICOS APLICADOS À DEFESA CIVIL, Recife-PE, 1997.

_____; ALHEIROS, M. M. Estudo das encostas ocupadas do Recife. In: PAN AM SYMPOSIUM OF LANDSLIDES, COBRAE, 2., 1997, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: IAEG/ABMS, 1997.

_____ et al. Parâmetros geomecânicos dos solos de Olinda. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 8., 1986, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: ABMS, 1986. v.1, p. 199-210.

_____ et al. Estudo das encostas de Jaboatão dos Guararapes, PE. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 1992, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: ABMS-ABGE-ISSMGE, 1992. v. 1, p. 191-209.

_____ et al. *Mapeamento de risco das encostas ocupadas do Recife: relatório técnico*. Recife: Gusmão Eng. Associados; URB; Codecir, 1993.

GUSTAVSSON, M.; KOLSTRUP, E.; SEIJMONSBERGEN, A. C. A new symbol-and-GIS based detailed geomorphological mapping system: Renewal of a scientific discipline for understanding landscape development. *Geomorphology*, v. 77, p. 90-111, 2006.

GUTHRIE, R. H. Mass-movement: style, activity state and distribution. In: SHRODER, J. et al. *Treatise on geomorphology*. San Diego: Academic Press, 2013. v. 7, p. 230-238.

GUZZETTI, F.; TONELLI, G. Information system on hydrological and geomorphological catastrophes in Italy (SICI): a tool for managing landslide and flood hazards. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, n. 4, p. 213-232, 2004.

HENRIQUE, H. M. *Mapa de risco a deslizamento e erosão do bairro de Rurópolis, Município do Ipojuca-PE*. 2014. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.

HOHL, P. *GIS data conversion: strategies, techniques and management*. Santa Fe, New Mexico: OnWord Press, 1998.

HOLL, M. C.; VEDOVELLO, R.; SILVA, A. P. O uso e a ocupação da terra nas avaliações de risco devido a movimentos de massa: exemplo de aplicação para a região do litoral norte do Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA, 4., 2001, Brasília. *Anais...* Brasília: ABGE, 2001. 1 CD-ROM.

HUABIN, W. et al. GIS-based landslide hazard assessment: an overview. *Progress in Physical Geography*, v. 29, n. 4, p. 549-567, 2005.

HUNGR, O.; LEROUEILL, S.; PICARELLI, L. The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*, v. 11, n. 2, p. 167-194, 2014.

HUTCHINSON, J. N. *Mass movement*. In: *ENCYCLOPEDIA of Geomorphology*. New York: Ed. R.W. Fairbidge Reinhold Book, 1968.

IAEG. Statutes of the International Association of Engineering Geology and the environment. *Newsletter*, Paris, n. 19, Dec. 1972.

_____. Commission on Engineering Geological Maps. *Engineering geological maps: a guide to their preparation*. Paris: Unesco, 1976. (Earth Sciences, 15).

IBGE. *Manual técnico em geomorfologia*. 2. ed. Rio de Janeiro, 2009.

_____. *Censo demográfico 2010: características da população e dos domicílios: resultados do universo*. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.

_____. *Manual técnico de uso da terra*. 3. ed. Rio de Janeiro, 2013. (Manuais Técnicos em Geociências, n. 7).

INFANTI JUNIOR, N.; FORNASARI FILHO, N. Processos de Dinâmica Superficial. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (Ed.). *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), 1998. cap. 9, p. 131-152.

IPOJUCA. Prefeitura. *Lei Municipal n.º 1.490 de 30 de junho de 2008*. Institui o Plano Diretor Participativo do Município e dispõe sobre as condições de sua implementação no território municipal. Ipojuca: A Prefeitura, 2008. Não paginado.

IPT. *Carta Geotécnica dos morros de Santos e São Vicente: condicionantes do meio físico para o planejamento da ocupação urbana (escala 1:2.000)*. São Paulo, 1980.

_____. *Mapa geomorfológico do estado de São Paulo: Relatório n.º 15.388*. São Paulo, 1981. v. 1-2.

JARDIM DE SÁ, E. F. A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na Cadeia Brasileira/Pan-Africana. 1994. 804 f. Tese (Doutorado)– Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 1994.

_____ et al. Terrenos proterozóicos na Província Borborema e a margem norte do Cráton São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, n. 22, p. 472-480, 1992.

_____ et al. As relações de borda da sequência rifte na Sub-bacia de Pernambuco, NE do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE P & D EM PETRÓLEO E GÁS, 2., 2003, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro, 2003.

JTC-1. Joint Technical Committee on Landslides and Engineering Slopes: guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. *Engineering Geology*, New York, v. 102, n. 3-4, p. 85-98, 2008.

KEGEL, W. O conglomerado do Cabo. *Arquivos de Geologia*, Recife, n. 1, p. 23-36, 1959.

LAFAYETTE, K. P. V. *Comportamento geomecânico de solos de uma topossequência na Formação Barreiras em uma encosta na área urbana do Recife-PE*. 2000. Dissertação (Mestrado)–Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2000.

_____. *Estudo Geológico-geotécnico do processo erosivo em encostas no Parque Metropolitano Armando de Holanda Cavalcanti, Cabo de Santo Agostinho-PE*. 2006. 358 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.

_____; COUTINHO, R. Q.; CAVALCANTI, B. C. H. Avaliação da erosão no Cabo de Santo Agostinho-PE, Parque Metropolitano Armando de Holanda Cavalcante. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL, 5., 2003, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: ABMS, 2003. 1 CD-ROM.

_____; COUTINHO, R. Q.; QUEIROZ, J. R. S. Avaliação da erodibilidade como parâmetro no estudo de sulcos e ravinas numa encosta no Cabo de Santo Agostinho-PE. CONGRESSO BRASILEIRO DE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 4., 2005, Salvador. *Anais...* Salvador: Cobrae, 2005. v. 1, p. 387-399.

LIMA, A. F. *Comportamento geomecânico e análise de estabilidade de uma encosta da Formação Barreiras na área urbana da cidade do Recife*. 2002. 186 f. Dissertação (Mestrado

em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2002.

LIMA FILHO, M. F. *Análise estratigráfica e estrutural da Bacia Pernambuco*. 1998. 180 f. Tese (Doutorado)–Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

LOLLO, J. A. *O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadricula Campinas*. 1995. 2 v. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.

MACHADO, M. R. I. M. O complexo portuário de Suape e as novas dinâmicas sócio-territoriais nos municípios do Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca: o início do desmonte do território canavieiro na Zona da Mata Pernambucana? In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEÓGRAFOS. 7, 2014, Vitória. *Anais...Vitória*: CBG, 2014.

MAGALHÃES, J. S. L. A. *Estudo de estabilidade da Encosta Alto do Padre Cícero no Município de Camaragibe – PE*. 2014. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.

MANDAI, P. R. *Avaliação da aptidão urbana com uso de inferência fuzzy em dados geomorfológicos: subsídios para o planejamento físico-territorial no entorno do Anel Viário do DF*. 2012. 175 f. Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

MARCELINO, E. V. et al. Banco de dados de desastres naturais: análise de dados globais e regionais. *Caminhos de Geografia*, v. 6, n. 19, p. 130-149, 2006.

MATHEWSON, C. C.; FONT, R. G. Geologic environment: forgotten aspects in the land use planning process. *The Geological Society of America: Engineering Geology Case Histories*, v. 10, p. 23-28, 1974.

MATTOSO, A. S. *Ipojuca: passado, presente e futuro do município que mais cresce em Pernambuco*. Recife: Carpe Diem, 2013.

MATULA, M. Principles and types of engineering geological mapping: report of the omission on engineering geological mapping. *Bulletin the International Association of Engineering Geology*, n. 24, p. 227-234, 1976.

MEDEIROS, L. C.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, L. G. Avaliação de modelos digitais de elevação para delimitação automática de bacias hidrográficas. *Revista Brasileira de Cartografia*, n. 61/02, p.137-151, 2009.

MEDEIROS, M. C. et al. Os impactos do Complexo Industrial Portuário de Suape – CIPS nos municípios do Cabo e Ipojuca. *Architecton: Revista de Arquitetura e Urbanismo*, v. 4, n. 7, 2014.

MEIRA, F. F. D. A. *Estudo do processo erosivo em encostas ocupadas*. 2008. 474 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

MELLO A. A. et al. *Elementos tectono-estruturais do NE meridional*. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8., 1977, Campina Grande. *Atas...* Campina Grande: SBG, 1977. 343-367.

MENEZES, J. B. et al. Melhoria do mapeamento de solos da escala 1:100.000 para 1:25.000 com base em estudos morfológicos na bacia do rio Natuba-PE. *Revista de Geografia, Recife*, v. 27, n. 3, 2010.

MUNSELL COLOR COMPANY. *Munsell soil color charts: catalog*. Baltimore, MD, 1975. Não paginado.

NAKAZAWA, V. A.; PRANDINI, F. L.; DINIZ, N. C. Subsidências colapsos de solo em áreas urbanas. In: BITAR, O. Y. (Coord.). *Curso de geologia aplicada ao meio ambiente*. São Paulo: ABGE/IPT, 1995. cap. 3, 5, p. 101-133.

NEVES, S. P. Proterozoic history of the Borborema Province (NE Brazil): correlations with neighboring cratons and Pan-African belts, and implications for the evolution of the Western Gondwana. *Tectonics*, v. 22, 2003.

NEVES, S. P. et al. Timing of crust formation, deposition of supracrustal sequences, and Transamazonian and Brasiliano metamorphism in the East Pernambuco Belt (Borborema Province, NE Brazil): implications for western Gondwana assembly. *Precambrian Research*, v. 149, p. 197-216, 2006.

NOGUEIRA, F. R.; CANIL, K. Metodologia e procedimentos para a elaboração de cartas de aptidão à urbanização nos municípios de São Bernardo do Campo e Rio Grande da Serra, Região do Grande ABC, SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL, 9, 2015, Cuiabá, MT. *Anais...* São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2015. Trabalho 56, p. 1-5.

OLIVEIRA, L. M. *Acidentes geológicos urbanos*. Curitiba: Mineropar, 2010.

OLIVEIRA, M. A. T. Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas. In: Guerra, A. J. T. et al. (Org.). *Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p. 56-99.

OLIVEIRA FILHO, I. B. de. *Carta geotécnica de aptidão à urbanização em ambiente cárstico, Lapão, BA*. 2015. 136 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, 2015.

PERNAMBUCO. Decreto n.º 8.447, de 2 de março de 1983. Aprova as Normas de Uso do Solo, Uso dos Serviços e Preservação Ecológica do Complexo Industrial Portuário de SUAPE. *Diário Oficial do Estado de Pernambuco*, Recife, 3 mar. 1983.

PERNAMBUCO. *Lei n.º 9.860*, de 12 de agosto de 1986. Delimita as áreas de proteção dos mananciais de interesse da Região Metropolitana do Recife, e estabelece condições para a preservação dos recursos hídricos. 1986a. Disponível em: <<http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/lei9860n1.doc>>. Acesso em: 5 ago. 2015.

_____. *Lei n.º 9.931*, de 11 de dezembro de 1986. Define como áreas de proteção ambiental as reservas biológicas constituídas pelas áreas estuarinas do Estado de Pernambuco. 1986b Disponível em: <<http://legis.alepe.pe.gov.br/arquivoTexto.aspx?tiponorma=1&numero=9931&complemento=0&ano=1986&tipo=&url=>>. Acesso em: 5 ago. 2015.

_____. *Decreto Estadual n.º 21.972*, de 29 de dezembro de 1999. Aprova o Zoneamento Ecológico Econômico Costeiro – ZEEC do litoral sul de Pernambuco, e dá outras providências. 1999. Disponível em: <<http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/4decreto21972.pdf>>. Acesso em: 5 ago. 2015.

_____. *Decreto n.º 37.160*, de 23 de setembro de 2011. Institui o Plano Diretor - SUAPE 2030 e dispõe sobre o ordenamento do solo da Empresa SUAPE - Complexo Industrial Portuário Governador Eraldo Gueiros. 2011. Disponível em: <<http://legis.alepe.pe.gov.br/arquivoTexto.aspx?tiponorma=6&numero=37160&complemento=0&ano=2011&tipo=&url=>>. Acesso em: 16 nov. 2016.

_____. Decreto Estadual n.º 38.261, de 5 de junho de 2012. Cria a Estação Ecológica de Bitá e Utinga, localizada nos Municípios do Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca, neste Estado, e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado de Pernambuco*, Recife, 6 jun. 2012, p. 4. Disponível em: <<https://www.jusbrasil.com.br/diarios/44519950/doi-pe-06-06-2012-pg-4>>. Acesso em: 5 ago. 2015.

PFALTZGRAFF, P. A. S. (Coord.). *Carta geotécnica e de suscetibilidade a processos geológicos do município de Ipojuca/Pernambuco*. Recife: CPRM/Fidem, 1998.

_____. (Coord.). *Sistema de informações geoambientais da região metropolitana do Recife: Projeto Sistema de Informações para Gestão Territorial da Região Metropolitana do Recife (Singre)*. Recife: CPRM, 2003.

_____. *Mapa de suscetibilidade a deslizamentos na região metropolitana do Recife*. 2007. 153 f. Tese (Doutorado)–Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

PINHEIRO, A. P.; SOBREIRA, F. G.; LANA, M. S. Influência da expansão urbana nos movimentos em encostas na cidade de Ouro Preto, MG, Brasil. *REM: Revista Escola de Minas*, Ouro Preto, v. 56, n. 3, p. 169-174, jul.- set. 2003.

PINTO, C. S. *Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas*. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

PINTO, D. C. (Coord.). *Formalização da produção de agregados para construção civil na região metropolitana do Recife/PE: relatório técnico*. Programa Nacional de Formalização da Produção Mineral. Recife: Deminas; UFPE, 2009.

POLÔNIA, J. A. P. *Geometria e cinemática do Rifte do Cabo, litoral sul do estado de Pernambuco*. 1997. 132 f. Dissertação (Mestrado)–Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1997.

PRANDINI, F. L.; FREITAS, C. G. L.; NAKASAWA, V. A. A cartografia geotécnica na prevenção e mitigação dos impactos ambientais. *Anuário do Instituto de Geociências, UFRJ*, Rio de Janeiro, v. 15, p. 173-180, 1992.

_____ et al. Cartografia geotécnica nos planos diretores regionais e municipais. In: BITAR, O. Y. (Coord.). *Curso de geologia aplicada ao meio ambiente*. São Paulo: ABGE/IPT, 1995. cap. 4, p. 187-202.

PROIN/CAPES; UNESP/IGCE. *Material didático*: arquivos de transparências (CD). Rio Claro: Departamento de Geologia Aplicada, 1999.

RIBEIRO NETO, A.; BATISTA, L. F. D.; COUTINHO, R. Q. Methodologies for generation of hazard indicator maps and flood prone areas: municipality of Ipojuca/PE. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 21, n. 2, p. 377-390, abr.-jun. 2016.

RODRIGUES, V. L.; AUGUSTO FILHO, O. Mapeamento geotécnico do perímetro urbano e sua área de expansão no município de Jaú-SP: base para o planejamento urbano e ambiental. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL, 6., 2007, Uberlândia, MG. *Anais...* Uberlândia, MG: ABGE, 2007. 1 CD-ROM.

ROSENFELD, A. *Image processing and recognition*: technical report 664. Maryland: University of Maryland, 1978.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. *Revista do Departamento de Geografia da USP*, n. 6, p. 17-29, 1992.

_____. Análise e sínteses na abordagem geográfica da pesquisa para o planejamento ambiental. *Geografia*, Rio Claro, v. 9, n. 1, p. 65-75, 1995.

_____; MOROZ, I. C. Mapa geomorfológico do estado de São Paulo. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 10, p. 42-58, 1996.

ROSSINI-PENTEADO, D.; FERREIRA, C. J.; GIBERTI, P. P.C. 2007. Mapeamento do uso e ocupação do solo urbano aplicado à análise de risco. In: FERREIRA, C. J. (Coord.). *Diretrizes para a regeneração sócio-ambiental de áreas degradadas por mineração de saibro (caixas de empréstimo)*, Ubatuba, SP: 3.º Relatório técnico parcial. São Paulo: Instituto Geológico, 2007.

SAATY, T. L. A. Scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, n. 15, p. 234-281, 1977.

SALOMÃO, F. X. T.; ANTUNES, F.S. Solos. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (Ed.). *Geologia de engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), 1998. cap. 6, p. 87-99.

SALOMÃO, F. X. T.; IWASA, O. Y. *Curso de geologia aplicada ao meio ambiente*. São Paulo: ABGE/IPT, 1995. cap. 3, p. 31-57.

SAMUEL, F. A. *Contribuição à cartografia geotécnica*: sistema de informações geográficas dos solos expansivos e colapsíveis do estado de Pernambuco (SIGSEC-PE). 2004. 138 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Civil, Recife, 2004.

SANEJOUAND, R. *La Cartographie geotechnique en France*. Paris: Ministère de l'Équipement et du Logement, 1972.

SANTOS, A. R. *Manual básico para a elaboração e para o uso da Carta Geotécnica*. São Paulo: Rudder, 2014.

SANTOS E. J. *O complexo granítico Lagoa das Pedras: acresção e colisão na região de Floresta (PE), Província Borborema*. 1995. 219 f. Tese (Doutorado)–Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

SANTOS, L. M. *Caracterização geotécnica e estudo da erodibilidade associado à sucção de um solo da Formação Barreiras-Horto Dois Irmãos/PE*. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

SANTOS, R. D. et al. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. 5. ed. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, 2005.

SANTOS, R. F. *Planejamento ambiental: teoria e prática*. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SCHUSTER, R. L.; HIGHLAND, D. W. The third hans cloos lecture. urban landslide: socioeconomic impacts and overview of mitigative strategies. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment: Official Journal of the IAEG*, v. 66, n. 1, p. 1-27, Mar. 2007.

SEVERO, R. N. F. et al. Propriedades geotécnicas de sedimentos da Formação Barreiras no litoral do Rio Grande do Norte. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 13., 2006, Curitiba. *Anais...* Curitiba: Cobramseg, 2006. v. 1.

SILVA, F. B. R. E. et al. *Zoneamento agroecológico do estado de Pernambuco*. Recife: Embrapa Solos - Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento, 2001. 1 CD-ROM. (Embrapa Solos. Documentos, n. 35).

SILVA, J. M. F. *Caracterização e mapeamento das unidades geomorfológicas da bacia do Rio Pequeno, Antonina-PR*. 2010. 95 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

SILVA, M. M. *Estudo geológico-geotécnico de uma encosta com problemas de instabilidade no município de Camaragibe-PE*. 2007. 402 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

SILVA, M. M. et. al. Caracterização geológico-geotécnica de um deslizamento numa encosta em Camaragibe, Pernambuco. CONGRESSO BRASILEIRO DE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 4., 2005, Salvador. *Anais...* Salvador: Cobrae, 2005. v.1, p. 345-360.

SILVA FILHO, A. F.; GUIMARÃES, I. P.; VAN SCHMUS, W. R. Crustal evolution of the Pernambuco-Alagoas complex, Borborema Province, NE Brazil: Nd isotopic data from neoproterozoic granitoids. *Gondwana Research*, v. 5, n. 2, p. 409-422, 2002.

SILVEIRA, K. A. *Conflitos socioambientais e participação social no Complexo Industrial Portuário de Suape, Pernambuco*. 2010. 101 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Meio Ambiente) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

SOBREIRA, G. F.; SOUZA, L. A. Cartografia geotécnica aplicada ao planejamento urbano. *Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental*, São Paulo, v. 2, n. 2, p. 79-98, maio 2012.

SOUZA, A. P. L. *Estudos geotécnicos e de estabilidade de taludes da encosta do Alto do Padre Cícero no município de Camaragibe-PE*. 2014. 177 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.

STEPHAN, A. M. *Análise de processos erosivos superficiais por meio de ensaios de inderbitzen (MG)*. 2010. 192 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

SUJATHA, E. R.; KUMARAVEL, P.; RAJAMANICKAM, G. V. Assessing landslide susceptibility using bayesian probability-based weight of evidence model. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, v. 73, p. 147-161, 2014.

TORRES, F. S. M. *Carta de suscetibilidade a movimentos de massa e erosão do município do Ipojuca-PE*. 2014. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.

UFSC. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. *Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2012*. 2. ed. rev. ampl. Florianópolis: Ceped UFSC, 2013.

USGS. Science for a Changing World. *Landslide types and processes*. US: Departamento of Interior, 2004. Disponível em: <<http://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/fs-2004-3072.html>> Acesso em: 6 jan. 2016.

VARNES, D. J. Slope movement types and processes. In: SCHUSTER, R. L.; KRIZEK, R. J. (Ed.). *Landslides: analysis and control*: National Research Council, Washington, D. C. *Transportation Research Board: Special Report*, n. 176, p. 11-33, 1978.

VEDOVELLO, R.; MATTOS, J. T. A utilização de unidades básicas de compartimentação (UBCs) como base para a definição de Unidades Geotécnicas: uma abordagem a partir do sensoriamento remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA, 3. 1998, Florianópolis, SC. *Anais*. São Paulo: ABGE, 1998. 1 CD-ROM.

ZAINE, J. E. *Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaios de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP)*. 2000. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

ZUQUETTE, L. V. *Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras*. 1987. 219 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1987.