



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

DANIELA JOSEFA DA SILVA

**MAPA DE RISCO DE DESLIZAMENTO E EROSÃO EM ENCOSTAS COM
OCUPAÇÕES DESORDENADAS NO MUNICÍPIO DE ABREU E LIMA - PE**

RECIFE

2016

DANIELA JOSEFA DA SILVA

**MAPA DE RISCO DE DESLIZAMENTO E EROSÃO EM ENCOSTAS COM
OCUPAÇÕES DESORDENADAS NO MUNICÍPIO DE ABREU E LIMA - PE**

Dissertação apresentada à Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração: Geotecnia.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Roberto Quental Coutinho

RECIFE

2016

Catálogo na fonte

Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

S586m	Silva, Daniela Josefa da Silva. Mapa de risco de deslizamento e erosão em encostas com ocupações desordenadas no município de Abreu e Lima – PE / Daniela Josefa da Silva. - Recife, 2016. 200 folhas, il., gráfs., tabs. Orientador: Prof. Dr. Roberto Quental Coutinho. Dissertação (Mestrado)– Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2016. Inclui Referências. 1. Engenharia Civil. 2. Mapeamento de risco. 3. Vulnerabilidade. 4. Suscetibilidade. 5. Movimento de massa. 6. Transporte de massa. I. Coutinho, Roberto Quental. (Orientador). II. Título. UFPE 624 CDD (22. ed.) BCTG/2016-73
-------	---



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

A comissão examinadora da Defesa de Dissertação de Mestrado

**MAPA DE RISCO DE DESLIZAMENTO E EROSÃO EM ENCOSTAS COM
OCUPAÇÕES DESORDENADAS NO MUNICÍPIO DE ABREU E LIMA – PE.**

defendida por

Daniela Josefa da Silva

Considera a candidata APROVADA

Recife, 22 de fevereiro de 2016.

Orientador:

Prof. Dr. Roberto Quental Coutinho - UFPE
(Orientador)

Banca Examinadora:

Prof.^a Dr.^a Ana Patrícia Nunes Bandeira –UFCA
(Examinadora externa)

Prof. Dr. Ricardo Nascimento Flores Severo – IFRN
(Examinador externo)

Dedico este trabalho aos meus pais que sempre se esforçaram e se doaram em pró de minha formação; ao meu irmão José Alexsandro que sempre me inspirou com seus conselhos para o crescimento profissional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por estar sempre perto de mim, dando-me orientação para enfrentar as dificuldades existentes, transmitindo-me força, persistência e paciência que preciso.

Aos meus pais e ao meu irmão José Alexsandro pelo apoio, incentivo e pelos imensos esforços sempre prestados para permitir toda a minha formação pessoal e profissional.

Ao professor Roberto Quental Coutinho, pela orientação desta dissertação, dedicação, confiança e empenho prestado.

Ao meu namorado Victor Nascimento, pela compreensão, carinho, atenção e pelas inúmeras atitudes que facilitaram esta minha caminhada.

A todos que formam o respeitado GEGEP, por sempre terem me apoiado com seus ensinamentos e orientações, pela atenção, carinho e amizade formada. Grupo este que tenho orgulho de participar.

A todos que formam a Defesa Civil de Abreu e Lima pelo imenso apoio prestado, pela amizade e atenção.

Aos técnicos do Laboratório de Solos e Instrumentação da UFPE que tornam possível a realização dos ensaios aqui apresentados, além de transmitir carinho e incentivo: Severino (Sr Biu), Francisco, Antônio Brito, Gutemberg e Rodrigo.

A todos os servidores da UFPE, em especial à Andrea Seixas e a toda a sua equipe que forma a Secretaria do PPGEC/UFPE pela disponibilidade e apoio.

Aos amigos que me ajudaram a tornar esta dissertação realidade, transmitindo-me conhecimentos técnicos e apoio nesta caminhada: Diego Marcelino, Felipe Tenório, Rodrigo, Hugo Henrique, Raysa Ratters, Élica Maranhão, Fabiano Queiroz, Tathiane Alves, Gleice Pereira, Tayara Barbalho, Cristiane Barbosa, Elmo, Jessica, Cristiana Duarte e Drielli.

Aos grandes amigos Inaldo Minervino, Isabel Mendes, Isabel Pontes e Priscila Oliveira pelo apoio, incentivo e carinho sempre prestados.

E a todos que de alguma forma contribuíram na construção desta pesquisa, seja de forma direta ou indireta.

RESUMO

O expressivo crescimento da população nas grandes cidades, em um curto espaço de tempo, conduz à formação de ocupações desenvolvidas sem planejamento urbano. Diante deste cenário, percebe-se o aumento do número de áreas de risco com ocorrência de acidentes envolvendo perdas humanas e econômicas. Esta pesquisa é parte integrante do projeto elaborado para o Ministério da Integração Nacional/Secretaria Nacional de Defesa Civil (SEDEC/MI), a partir de convênio firmado com o Grupo de Engenharia Geotécnica de Encostas, Planícies e Desastres (GEGEP) / Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFPE. O referido projeto tem como objetivo identificar e mapear parâmetros importantes para o conhecimento da vulnerabilidade, suscetibilidade e do risco existente em áreas suscetíveis a deslizamentos, erosões e inundações, dentro de municípios pernambucanos. A área de estudo escolhida para pesquisa aqui apresentada foi o Município de Abreu e Lima, que pertence a Região Metropolitana do Recife. O território de Abreu e Lima encontra-se inserido, geologicamente, na Província Borborema, sendo constituído pelos litotipos dos complexos Salgadinho e Vertentes, e dos sedimentos das formações Beberibe, Grupo Barreiras, e dos depósitos Flúvio-lagunares (CPRM, 2005). A formação do relevo local é, em grande parte, caracterizada por Tabuleiros com vertentes de inclinações elevadas. Um perfil de sondagem foi realizado, possibilitando assim a coleta de amostras de solos para realização de ensaios geotécnicos. O local escolhido para a realização do perfil do solo é proveniente da Formação Barreiras. As amostras de solo analisadas apresentaram sua classificação de acordo com o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS), como SM (areia siltosa) e SC (areia argilosa). A metodologia empregada para a análise de risco foi desenvolvida a partir de experiências do GEGEP/UFPE, considerando a avaliação de indicadores de suscetibilidade e vulnerabilidade (física-ambiental e social). Toda a avaliação é feita partindo-se da obtenção de dados de campo e de mapas. Assim, foi determinado o grau de risco para a vulnerabilidade, suscetibilidade e para o risco final. Todos os resultados obtidos nas análises são apresentados de forma qualitativa por meio de faixas de grau de risco. Mapas com a localização dos setores estudados e indicação das faixas de grau de risco obtidas são também apresentados.

Palavras chaves: Mapeamento de risco. Vulnerabilidade. Suscetibilidade. Movimento de massa. Transporte de massa.

ABSTRACT

The significant growth of population in large cities, in a short space of time, leads to the formation of disordered occupations developed without urban planning. In this scenario, you can see the increase in the number of risk areas with accidents involving human and economic losses. This research is part of the elaborate design for Ministério da Integração Nacional/Secretaria Nacional de Defesa Civil (SEDEC/MI), from an agreement signed with the Grupo de Engenharia Geotécnica de Encostas, Planícies e Desastres (GEGEP) / Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFPE. This project aims to identify and map important parameters for the vulnerability of knowledge, and susceptibility of the risk in areas susceptible to landslides, erosion and flooding, in Pernambuco municipalities. The study area chosen to research presented here was the municipality of Abreu e Lima, which belongs to Região Metropolitana do Recife. The territory of Abreu e Lima It is inserted geologically in Província Borborema, It is constituted by the complex lithologies Salgadinho e Vertentes, and sediments of the formations Beberibe, Grupo Barreiras, and deposits Flúvio-lagunares (CPRM, 2005). The formation of the local relief is largely characterized in boards with high inclinations strands. A survey profile was conducted, allowing the collection of soil samples for geotechnical testing. The venue for the realization of the soil profile is from the Barreiras Formation. Soil samples analyzed showed their classification according to the Unified System of Soil Classification (SUCS), as SM (silty sand) and SC (clay sand). For development of risk mapping, they were chosen 12 sectors. The methodology used for risk analysis was developed from experiences GEGEP/UFPE, considering the evaluation of susceptibility indicators and vulnerability indicators (physical, environmental and social). All assessment is made starting from the acquisition of field data and maps, with subsequent determination of the degree of risk. Thus, it was determined the degree of risk from the vulnerability, susceptibility and the final risk. All results obtained in this study are presented in a qualitative way through risk level ranges. Maps showing the location of the sectors studied, indicating the risk level ranges obtained are also presented.

Key words: Risk Mapping. Vulnerability. Susceptibility. Mass movement. Mass transit.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

Figura 1.1 – Histórico de mortes por escorregamentos de encostas na RMR.

CAPÍTULO 2 – MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS E TRANSPORTE DE MASSA

Figura 2.1 (a) - Esquema de queda de rocha.

Figura 2.1 (b) - Queda rochosa ocorrida em Clear Creek Canyon, Colorado, EUA.

Figura 2.2 (a) - Esquema de tombamento de rocha

Figura 2.2 (b) - Fotografia de um bloco tombando em Fort St. John, British, Canadá.

Figura 2.3 (a) - Esquema de deslizamento tipo circular

Figura 2.3 (b) - Fotografia de um deslizamento rotacional ocorrido na Nova Zelândia.

Figura 2.4 (a) - Esquema de deslizamento tipo planar.

Figura 2.4 (b) - Fotografia de um deslizamento planar ocorrido no Canadá

Figura 2.5 (a) - Esquema de espalhamento lateral.

Figura 2.5 (b) - Fotografia de um espalhamento lateral ocorrido na Califórnia, EUA.

Figura 2.6 (a) - Esquema de rastejo.

Figura 2.6 (b) - Fotografia tirada em Chalk Grasslands, Reino Unido.

Figura 2.7 (a) - Esquema de corrida.

Figura 2.7 (b) - Fotografia tirada em 2011 na Região Serrana do Rio de Janeiro.

Figura 2.8 – Correlação entre a intensidade da chuva e a chuva acumulada para as encostas da
Formação Barreiras da cidade de Olinda – PE.

Figura 2.9 – Efeito splash ou salpicamento.

Figura 2.10 - Morfologia dos processos de sulcos, ravinas e voçorocas.

Figura 2.11 – Perfil de encostas convexas

Figura 2.12 – Perfil de encostas côncavas

CAPÍTULO 3 – RISCOS GEOLÓGICOS

Figura 3.1 – Gráfico dos desastres naturais no Brasil

Figura 3.2 – Gráfico comparativo de ocorrências entre as décadas de 1990 e 2000.

Figura 3.3 – Divisão das faixas de grau de risco

Figura 3.4 – Medidas de atuação em áreas de risco de deslizamentos

Figura 3.5 (a) - Raízes de capim Vetiver utilizado na proteção de taludes

Figura 3.5 (b) - Espécies de gramíneas, mostrando sua arquitetura e suas raízes.

Figura 3.6 - Esquema do emprego de dispositivos de drenagem superficial em um talude rodoviário.

Figura 3.7 - Influência das fossas rústicas na estabilidade do talude

Figura 3.8 – Esquema do sistema construtivo de muro de pedra seca

Figura 3.9 – Esquema do sistema construtivo de muro de alvenaria de pedra.

Figura 3.10 (a) – Exemplo de seção transversal de muro de concreto armado com base em L

Figura 3.10 (b) Exemplo de seção transversal de muro de concreto armado com contraforte.

Figura 3.11 – Sistema construtivo de muro de contenção do tipo solo-pneu

CAPÍTULO 4 – CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE ABREU

Figura 4.1 - Localização do município de Abreu e Lima

Figura 4.2 – Localização do pluviômetro APAC-198 instalado em Abreu e Lima

Figura 4.3 – Média pluviométrica anual de 1995 a 2014

Figura 4.4 – Médias pluviométricas mensais.

Figura 4.5 - Precipitações máximas e médias mensais de 1995 a 2014.

Figura 4.6 - Vista aérea da sede administrativa da ESEC e da divisão territorial entre os municípios de Abreu e Lima e Paulista, através da Rodovia PE-18.

Figura 4.7 - Mapa Geológico de Abreu e Lima

Figura 4.8 – Áreas de ocorrência de processo erosivo.

Figura 4.9 (a) - Perfil do solo;

Figura 4.9 (b) - Indicação das frações de solo

Figura 4.9 (c) – Indicação dos limites de consistência

Figura 4.10 (a) – Curvas granulométricas do solo (Prof. 0,0 a 1,50m)

Figura 4.10(b) – Curvas granulométricas do solo (Prof. 1,50 a 4,00m)

Figura 4.11 – Perda de solo acumulada determinada no ensaio Inderbitzen

CAPÍTULO 5 - METODOLOGIA APLICADA

Figura 5.1 - Fluxograma das atividades desenvolvidas

CAPÍTULO 6 - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Figura 6.1 – Mapa de localização dos setores de estudo dentro do centro urbano de Abreu e Lima

Figura 6.2 (a) – Mapa de Vulnerabilidade Final (Setores 2, 9 e 11)

Figura 6.2 (b) – Mapa de Vulnerabilidade Final (Setores 1, 3, e 10)

Figura 6.2 (c) – Mapa de Vulnerabilidade Final (Setores 4, 5, 6, 7, 8 e 12)

Figura 6.3 – Expansão desordenada no entorno do Conjunto Habitacional de Caetés

Figura 6.4 (a) – Mapa de Suscetibilidade Final (Setores 2, 9 e 11)

Figura 6.4 (b) – Mapa de Suscetibilidade Final (Setores 1, 3 e 10)

Figura 6.4 (c) – Mapa de Suscetibilidade Final (Setores 4, 5, 6, 7, 8 e 12)

Figura 6.5 (a) – Mapa de Risco Final (Setores 2, 9 e 11)

Figura 6.5 (b) – Mapa de Risco Final (Setores 1, 3, e 10)

Figura 6.5 (c) – Mapa de Risco Final (Setores 4, 5, 6, 7, 8 e 12)

Figura 6.6 – Fluxograma para o Sistema de Alerta à população

Figura 6.7 – Proposta de intervenção estrutural para a área do Subsetor 54.

LISTA DE FOTOS

CAPÍTULO 2 – MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS E TRANSPORTE DE MASSA

Foto 2.1 – Erosão induzida por ação antrópica

CAPÍTULO 3 – RISCOS GEOLÓGICOS

Foto 3.1 (a) – Ação educativa em escola

Foto 3.1 (b) – Treinamento de agentes de Defesa Civil

Foto 3.2 - Deslizamento de encosta com acúmulo de lixo

Foto 3.3 (a) - Utilização de gramíneas como proteção superficial

Foto 3.3 (b) - Manutenção de vegetação natural ao longo do talude

Foto 3.4 – Drenagem improvisada para destino de águas servidas e pluviais

Foto 3.5 – Formação de ravina provocada pelo lançamento inapropriado de águas servidas

Foto 3.6 - Muro de arrimo de pedra argamassada

Foto 3.7 – Muro gabião em construção

Foto 3.8 – Muro de contenção do tipo solo-cimento ensacado.

CAPÍTULO 4 – CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE ABREU

Foto 4.1 – Área de ocupação desordenada no município de Abreu e Lima - PE

Foto 4.2 – Poço artesanal tipo cacimba, perfurado em área urbana sem esgotamento sanitário.

Foto 4.3 - Processo erosivo em Latossolo Amarelo.

Foto 4.4 –. Sedimentos areno-argilosos da Formação Barreiras.

Foto 4.5 – Registro de Formação Beberibe e detalhe de níveis de seixos.

Foto 4.6 – Formação Gramame com detalhe do rejeito de calcário produzido pela mineração

Foto 4.7 – Depósito de sedimentos de mangue em Abreu e Lima.

Foto 4.8 – Retirada da vegetação na área da Comunidade Córrego da Areia

Foto 4.9 – Extração irregular de areia

Foto 4.10 – Erosão ocorrida no Córrego do Desastre, Camaragibe – PE.

Foto 4.11 – Coleta de amostra indeformada

Foto 4.12 - Realização de ensaios Sedimentométrico Comparativo (SCS)

Foto 4.13 – Realização de ensaio Inderbitzen

Foto 4.14 – Amostra de solo após realização de ensaio Inderbitzen (condição da amostra seca ao ar por 72 horas)

Foto 4.15 – Realização de ensaio de condutividade hidráulica com equipamento Guelph.

Foto 4.16 – Amostra de solo com umidade natural submetida ao ensaio de desagregação (amostras parcialmente desagregadas)

Foto 4.17 – Amostra de solo seca ao ar por 72 h submetidas ao ensaio de desagregação (amostras muito desagregadas)

CAPÍTULO 5 - METODOLOGIA APLICADA

Foto 5.1 – Reconhecimento dos setores de risco a serem analisados.

Foto 5.2 - Visitas de reconhecimento da equipe de geologia do GEGEP

Foto 5.3 – Entrevista com moradores

Foto 5.4 – Equipe de Geomorfologia em campo para levantamento de fatores de suscetibilidade.

Foto 5.5 – Elemento de interesse mapeado

CAPÍTULO 6 - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Foto 6.1 (a) - Acesso improvisado às casas do Setor 10

Foto 6.1 (b) - Acesso improvisado às casas do Setor 9.

Foto 6.2 (a) - Proximidade da casa em relação ao topo do talude apresentando risco de deslizamento.

Foto 6.2 (b) - Proximidade de casas em relação ao topo do talude (risco de deslizamento), e proximidade de casas em relação à base do talude (risco de soterramento).

Foto 6.3 (a) - Casa demolida por recomendação da Defesa Civil na área do Setor 5

Foto 6.3 (b) - Casa demolida por recomendação do PMRR.

Foto 6.4 (a) - Casa com paredes de taipa. Local: Setor 2 ; (b) muro de casa com fissuras devido à ocorrência de deslizamento. Local: Setor 2.

Foto 6.5 (a) - Rua de acesso ao Setor 1

Foto 6.5 (b) - Rua de acesso ao Setor 12

Foto 6.6 (a) - Lançamento de lixo em encosta do Setor 3

Foto 6.6 (b) - Lançamento de lixo em encosta do Setor

Foto 6.7 (a) - Construção de fossa rústica em encosta. Local: Setor 11

Foto 6.7 (b) - Lançamento de águas servidas sobre o solo desprotegido. Local: Setor 3.

Foto 6.8 – Placa de obra de contenção realizadas nos Setores 5 (Vila União) e 2 (Rua Transamazônica)

LISTA DE QUADROS

CAPÍTULO 2 - MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS E TRANSPORTE DE MASSA

Quadro 2.1 - Classificação dos movimentos de massa

Quadro 2.2 - Classificação dos movimentos em função da velocidade

Quadro 2.3 – Causas dos movimentos de massa

Quadro 2.4 – Enfoque de estudos sobre erosão por diferentes áreas de conhecimento

Quadro 2.5 - Descrição dos solos e sua suscetibilidade ao processo erosivo

CAPÍTULO 3 – RISCOS GEOLÓGICOS

Quadro 3.1 – Termos e conceitos utilizados pela IUGS

Quadro 3.2 - Principais termos citados pelo manual do JTC-1

Quadro 3.3 – Recomendações de uso de escalas de mapeamento e suas aplicações

Quadro 3.4 – Níveis do grau de risco para Metodologia Gusmão Filho et al. (1992)

Quadro 3.5 – Níveis do grau de risco para metodologia aplicada em Camaragibe

Quadro 3.6 – Descrição das atividades para o mapeamento de riscos proposto pelo IPT.

Quadro 3.7 – Critérios para a determinação do grau de risco.

CAPÍTULO 4 - CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE ABREU

Quadro 4.1 – Publicações em meios de comunicação relacionadas ao risco de deslizamento e erosão no Município de Abreu e Lima.

Quadro 4.2 – Bacias Hidrográficas de Abreu e Lima

Quadro 4.3 – Aquíferos e suas formações geológicas correspondentes

Quadro 4.4 – Resumo da caracterização física do solo coletado em um perfil de sondagem

Quadro 4.5 – Resumo dos ensaios sedimentométricos comparativos

Quadro 4.6 – Resultados dos ensaios de condutividade hidráulica em campo

Quadro 4.7 – Resultados dos ensaios de condutividade hidráulica em laboratório

Quadro 4.8 – Valores dos coeficientes de permeabilidade de solos da Formação Barreiras na RMR – Pernambuco

Quadro 4.9 – Parâmetros de resistência ao cisalhamento

Quadro 4.10 - Parâmetros de resistência ao cisalhamento de solos provenientes da Formação Barreiras na RMR – Pernambuco

CAPÍTULO 5 - METODOLOGIA APLICADA

Quadro 5.1– Indicadores e subindicadores, com seus respectivos pesos, utilizados na avaliação da Vulnerabilidade na Dimensão Física-ambiental

Quadro 5.2 – Indicadores e subindicadores, com seus respectivos pesos, utilizados na avaliação da Vulnerabilidade na Dimensão Social

Quadro 5.3 – Exemplo de determinação do Grau do Sub-indicador de Vulnerabilidade

Quadro 5.4 – Classificação do Grau de Vulnerabilidade Final

Quadro 5.5 – Indicadores e subindicadores, com seus respectivos pesos, utilizados na avaliação da Suscetibilidade.

Quadro 5.6 – Exemplo de determinação do Grau do Sub-indicador de Suscetibilidade

Quadro 5.7 – Classificação do Grau de Suscetibilidade Final

Quadro 5.8 - Determinação da Classificação do Grau de Risco conforme o arranjo entre a Suscetibilidade e a Vulnerabilidade.

CAPÍTULO 6 - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Quadro 6.1 – Informações dos setores estudados e seus processos atuantes

Quadro 6.2 – Apresentação do Grau de Vulnerabilidade na Dimensão Física-Ambiental e de seus indicadores

Quadro 6.3– Apresentação do Grau de Vulnerabilidade na Dimensão Social e de seus indicadores

Quadro 6.4 – Apresentação do Grau de Vulnerabilidade Final.

Quadro 6.5 – Apresentação do Grau de Suscetibilidade Final e de seus indicadores.

Quadro 6.6 - Classificação do Grau de Risco conforme proposta GEGEP

Quadro 6.7 - Apresentação do Grau de Risco Final

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

AGI - American Geological Institute

AGS - Australian Geomechanics Society

APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima

CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

CEPED - Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres

COHAB - Companhia de Habitação Popular do Estado de Pernambuco

CPRH - Companhia de Pesquisa de Recursos Hídricos

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FGV - Fundação Getúlio Vargas

FIDEM - Fundação de Desenvolvimento da Região Metropolitana do Recife

GEGEP - Grupo de Engenharia Geotécnica de Encostas e Planícies

IAEG - International Association of Engineering Geology

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas

ISSMGE - Sociedade Internacional de Mecânica do Solo e Engenharia Geotécnica

IUGS - International Union of Geological Sciences

JTC-1 - Joint Technical Committee 1

MDT - Modelo Digital do Terreno

MI - Ministério da Integração Nacional

NUDEC - Núcleos Comunitários de Defesa Civil

ONU - Organização das Nações Unidas

P_{ac} - Precipitação acumulada

PDP - Plano Diretor Participativo

pH - Potencial Hidrogeniônico

PLAMCON - Plano Municipal de Contingência

PMRR - Plano Municipal de Redução de Riscos

PNGRD - Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres

PNPDC - Política Nacional de Proteção e Defesa Civil

PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

POLICONSULT - Associação Politécnica de Consultoria

RMR - Região Metropolitana do Recife

S2ID - Sistema Integrado de Informações sobre Desastres

SEDEC - Secretaria Nacional de Defesa Civil

SIG - Sistemas de Informação Geográfica

SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

UFPE - Universidade Federal de Pernambuco

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

UNDRO - United Nations Disaster Relief Office

UNISDR - United Nations International Strategy for Disaster Reduction

USGS - United States Geological Survey

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
1.1	Considerações iniciais.....	21
1.2	Justificativas.....	22
1.3	Objetivos.....	23
1.3.1	Objetivo geral.....	23
1.3.2	Objetivos específicos.....	23
1.4	Estrutura da dissertação	24
2	MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS E TRANSPORTE DE MASSA.....	ERRO!
	INDICADOR NÃO DEFINIDO.	
2.1	Movimentos gravitacionais de massa	25
2.1.1	Classificação dos tipos de movimento	27
2.1.2	Tipos de movimentos de massa.....	28
2.1.3	Causas e indícios de movimentos de massa	36
2.1.4	Influência da chuva na deflagração dos movimentos de massa	36
2.2	Transporte de massa.....	38
2.2.1	Tipos de erosão hídrica	39
2.2.2	Desencadeamento e evolução do processo erosivo.....	42
3	RISCOS GEOLÓGICOS.....	48
3.1	Breve histórico	48
3.2	Conceitos gerais	50
3.3	Análise do risco	55
3.4	O uso da cartografia na análise de riscos	55
3.5	Metodologias aplicadas para o mapeamento de riscos	58
3.5.1	Metodologia de Gusmão Filho et al. (1992)	59
3.5.2	Metodologia modificada de Gusmão Filho et al. (1992)	60

3.5.3	Metodologia de mapeamento de áreas de risco do IPT	62
3.6	Intervenções	65
3.6.1	Ações não estruturais para a redução de riscos	66
3.6.2	Ações estruturais	67
4	CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE ABREU E LIMA.....	84
4.1	Informações gerais do Município	84
4.2	Uso e ocupação do solo no município de Abreu e Lima	85
4.2.1	O Plano Diretor Participativo de Abreu e Lima	86
4.2.2	Histórico de ocorrências de desastres.....	87
4.3	Aspectos fisiográficos.....	89
4.3.1	Clima	89
4.3.2	Vegetação	91
4.3.3	Relevo.....	92
4.3.4	Hidrografia	93
4.3.5	Pedologia.....	96
4.4	Características geológicas.....	98
4.5	Caracterização Geotécnica de uma área piloto	102
4.5.1	Localização da área piloto.....	103
4.5.2	Coleta de amostras de solo	106
4.5.3	Caracterização física	107
5	METODOLOGIA APLICADA	122
5.1	Introdução	122
5.2	Etapas do trabalho.....	123
5.3	Metodologia para análise da vulnerabilidade	132
5.3.1	Vulnerabilidade na dimensão físico-ambiental	133
5.3.2	Vulnerabilidade na dimensão social.....	133
5.3.3	Determinação do Grau de Vulnerabilidade.....	135

5.4	Metodologia para análise da Suscetibilidade.....	137
5.4.1	Determinação do Grau de Suscetibilidade	140
5.4.2	Determinação do grau de risco.....	142
6	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	143
6.1	A obtenção dos dados	143
6.2	A avaliação da vulnerabilidade	146
6.2.1	Dimensão física-ambiental.....	146
6.2.2	Dimensão Social.....	155
6.2.3	Vulnerabilidade Final	156
6.3	Suscetibilidade	164
6.4	Risco final	173
6.5	Avaliação institucional	178
6.5.1	A atuação da Defesa Civil e Secretarias em ações de gestão do risco	178
6.5.2	Os instrumentos de apoio e a atuação das Secretarias	179
6.6	Intervenções para redução do risco.....	183
6.6.1	Proposta de intervenções não-estruturais	184
6.6.2	Proposta de intervenções estruturais	184
7	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA NOVAS PESQUISAS.....	187
7.1	Conclusões	187
7.2	Sugestões para novas pesquisas	189
	REFERÊNCIAS	190

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

O significativo aumento da população, em um curto espaço de tempo nas grandes cidades, reflete a interação negativa entre sociedade e natureza. De acordo com o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (1991 a 2012), o déficit habitacional urbano, que engloba as moradias sem condições de serem habitadas em razão da precariedade das construções ou do desgaste da estrutura física, correspondem a 5.546.310 domicílios, dos quais 4.629.832 estão localizados nas áreas urbanas.

Os números apresentados, associados ao pouco investimento em infraestrutura, resultam nas principais causas dos problemas existentes de urbanização. Juntos, formam um conjunto de fatores que geram a segregação social e o aumento da degradação dos recursos naturais como o desmatamento e a poluição dos recursos hídricos. A consequência destes impactos produzem desequilíbrios naturais, formando áreas que são frequentemente afetadas por enxurradas, inundações, deslizamentos e processos erosivos, provocando assim danos materiais e riscos à saúde e à vida da população.

A Lei Federal nº 10.257, de 10 de julho de 2001, denominada Estatuto das Cidades, define normas para assegurar a distribuição adequada de espaços, equipamentos e serviços públicos com infraestrutura necessária, atendendo às demandas da população que habita e/ou atua no município. Incluído neste cenário, identifica-se uma forte contribuição na tentativa de extinguir o desenvolvimento de assentamentos precários, que disponham de riscos à população.

O Plano Diretor Participativo (PDP), citado na Lei Federal 10.257/2001, apresenta-se como um instrumento legal, com objetivo de regulamentar o crescimento e garantir o planejamento e ordenamento territorial de um dado município. O PDP é obrigatório para cidades com população superior a 20.000 habitantes. Assim como coloca Brasil (2010), a prevenção dos desastres associados a deslizamentos de encostas deve fazer parte da gestão do território e da política de desenvolvimento urbano, constituindo-se, portanto, em uma atribuição municipal.

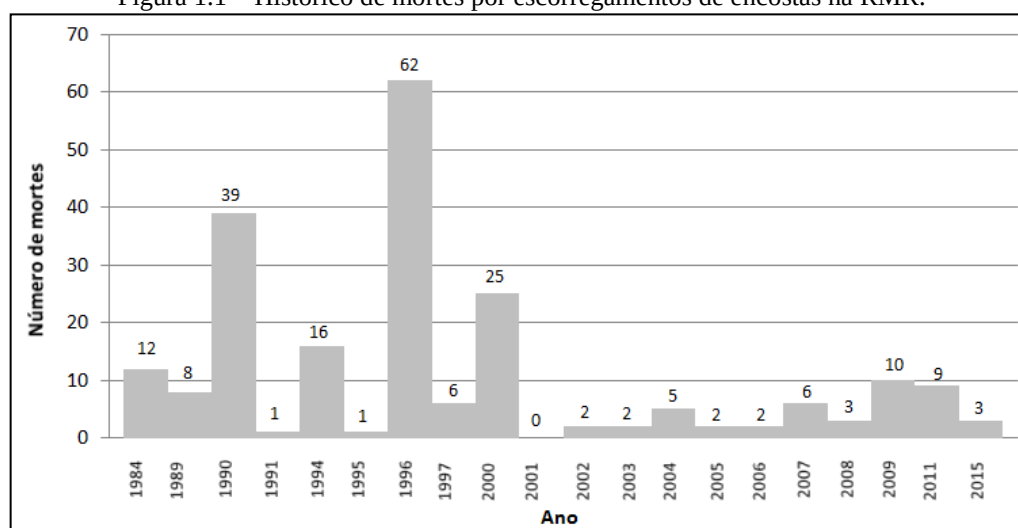
Com os objetivos principais de atuar na identificação e avaliação das ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidades a desastres, de modo a evitar ou reduzir sua ocorrência,

bem como, prestar socorro e assistência às populações atingidas por desastres, foi criada em 10 de abril de 2012, a Lei 12.608, que institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDC). A referida Lei coloca que é atribuição do município identificar e mapear suas áreas de risco, o que pode ser feito por meio do Plano Municipal de Redução de Risco (PMRR).

1.2 Justificativas

Levantamentos realizados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) de São Paulo, a partir de notícias de jornais, revelam um total de 1968 pessoas mortas por escorregamentos no país, no período de 22 anos, compreendido entre 1988 a 2009 (BANDEIRA, 2010). A Figura 1.1 destaca o número de mortes por escorregamentos de encostas na Região Metropolitana do Recife (RMR) entre o período de 1984 a 2015, totalizando 214 mortes. Para os anos de 2012, 2013 e 2014 não foram registradas mortes.

Figura 1.1 – Histórico de mortes por escorregamentos de encostas na RMR.



Fonte: Modificado de Bandeira (2010)

Além dos números de mortes apresentados na Figura 1.1, é importante destacar que ao acontecer os desastres, uma grande quantidade de pessoas feridas, desabrigadas e desalojadas, são também registradas, causando assim danos sociais, econômicos e ambientais.

Silva (2010) comenta que a redução no número de mortes na RMR entre o período de 2001 a 2008 ocorreram devido às intervenções de obras de engenharia e ações não estruturais realizadas. Devido à gravidade dos problemas e da impossibilidade de eliminação do risco em curto prazo, se faz necessário uma ação de convivência com os riscos através de elaborações de planos preventivos de defesa civil (BANDEIRA, 2010).

No ano de 2012 foi criado pelo Governo Federal o Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais, com ações divididas em quatro eixos temáticos: prevenção; mapeamento; monitoramento; alerta e resposta a desastres. O plano tem como objetivo proteger vidas, garantir a segurança das pessoas, minimizar os danos decorrentes de desastres e preservar o meio ambiente.

A pesquisa aqui descrita apresenta-se como parte integrante do produto final desenvolvido para o projeto “Avaliação da vulnerabilidade e do risco em áreas suscetíveis a deslizamentos e inundações em Pernambuco”. O desenvolvimento de tal projeto foi possível através de convênio firmado entre o Ministério da Integração Nacional/Secretaria Nacional de Defesa Civil (MI/SEDEC) e a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), através do Grupo de Engenharia Geotécnica de Encostas e Planícies (GEGEP), coordenado pelo Professor Roberto Quental Coutinho. Os municípios contemplados no convênio foram Abreu e Lima, Camaragibe, Ipojuca, Jaboatão dos Guararapes, Moreno e Recife (área piloto no bairro do Ibura). Abreu e Lima foi o município escolhido como área de pesquisa para esta dissertação, sendo aqui detalhadas suas características, com foco à análise e mapeamento dos riscos geológicos identificados. O produto desta pesquisa possibilitará à gestão municipal o conhecimento dos parâmetros influenciadores para o risco existente, subsidiando a adoção de intervenções em áreas prioritárias.

1.3 Objetivos

Os objetivos que fundamentaram a elaboração desta pesquisa foram divididos em Objetivo Geral e Objetivos Específicos, sendo apresentados a seguir.

1.3.1 Objetivo geral

Este trabalho tem por objetivo analisar e mapear o risco de deslizamento e erosão existentes em áreas de ocupações desordenadas, dentro do município de Abreu e Lima.

1.3.2 Objetivos específicos

A seguir são apresentados os objetivos específicos desta pesquisa:

- Obter informações, em campo e na literatura em geral, a respeito das características ligadas ao risco de deslizamentos e erosão no Município de Abreu e Lima;

- Aplicar a metodologia de análise de vulnerabilidade, suscetibilidade e risco desenvolvida pelo GEGEP;
- Elaborar os mapas de vulnerabilidade, suscetibilidade e risco de deslizamento e erosão das áreas de estudo;
- Realizar ensaios geotécnicos voltados para o conhecimento preliminar do processo erosivo que se desenvolve em uma área piloto do Município.

1.4 Estrutura da dissertação

Esta dissertação está dividida em seis capítulos, de acordo com a seguinte distribuição:

- O Capítulo 1 apresenta o tema estudado, a justificativa para escolha do tema e os objetivos a serem alcançados;
- O Capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica sobre movimento gravitacional de massa e transporte de massa;
- O Capítulo 3 apresenta os conceitos dos termos utilizados no estudo do risco geológico, as possíveis metodologias e as intervenções para redução dos riscos;
- O Capítulo 4 descreve as características gerais do município de Abreu e Lima: físicas, geológicas e a forma de ocupação das áreas urbanas;
- O Capítulo 5 descreve a metodologia utilizada para a realização do mapeamento de risco de deslizamentos e erosão das áreas estudadas;
- O Capítulo 6 apresenta e comenta os resultados obtidos na avaliação da vulnerabilidade, suscetibilidade e do risco.
- O Capítulo 7 apresenta a conclusão do trabalho desenvolvido, com sugestões para novas pesquisas.

CAPÍTULO 2

MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS E TRANSPORTE DE MASSA

Este capítulo descreve a revisão bibliográfica referente aos assuntos tratados sobre movimento e transporte de massa, apresentando a definição, os tipos e as respectivas causas que levam à deflagração e intensificação do processo.

2.1 Movimentos gravitacionais de massa

Coutinho (2005) comenta que os movimentos de massa têm sido objeto de amplos estudos, devido à sua importância como agentes atuantes na evolução das formas de relevo e de sua importância do ponto de vista econômico e social. Voltada a esta linha de estudos, são desenvolvidas pesquisas atuando de forma a detalhar processos de movimento de massa em áreas da Região Metropolitana do Recife, através do Grupo de Engenharia Geotécnica de Encostas, Planícies e Desastres (GEGEP).

Fiori (1995) cita que a força da gravidade origina tensões cisalhantes no interior do manto de alteração ao longo das encostas. Estas tensões, responsáveis pela ocorrência dos movimentos de massa, aumentam com a inclinação e a altura das encostas, com o peso específico do solo e com a quantidade de água que se infiltra e acumula no mesmo.

O processo que provoca o movimento pode ser resultado de causas naturais ou induzidas, ou pela ação combinada de ambos. A ação da gravidade é um fator sempre presente, tendo a contribuição de outros fatores naturais como a geomorfologia, a geologia, a pedologia e o clima. A ação antrópica é, na maioria dos casos, fortemente influente na ocorrência do movimento. Impactos de atividades humanas como corte de taludes, aterros em locais impróprios, remoção de vegetação, acréscimo de carga no topo ou ao longo das encostas, construção de tanques e fossas, despejo de águas servidas, condução da drenagem pluvial, são todos exemplos facilmente encontrados em muitas das ocupações desordenadas estudadas por diversos autores.

Nunes (2009) coloca ainda a possível ocorrência de fatores incomuns tais como abalos sísmicos ou rompimento de barragens. A união destes fatores determina o tipo de movimento, sua velocidade de ocorrência e os danos que podem ser gerados.

Cruden e Varnes (1996) consideram, em sua classificação, três tipos de materiais envolvidos na massa movimentada:

- Rock (rocha): massa dura ou firme que se apresenta intacta antes de iniciar o movimento;
- Soil (solo): agregado de partículas sólidas (minerais e rochas), que foram transportados ou sofreram processos de intemperismo. Representam materiais que possuem 80% ou mais de partículas menores que 2 mm;
- Debris: contem significativa proporção de material grosso com 20 a 80% de partículas maiores que 2mm.

Terzaghi (1950) descreve que o desencadeamento do movimento é proveniente de causas externas e internas que influenciam o equilíbrio das forças de atuação na massa, assim detalhados:

a) Causas externas

Resultam do crescimento das tensões cisalhantes ao longo da superfície de ruptura até o momento de sua ocorrência.

b) Causas internas

Resultam da diminuição da resistência do material.

Vieira et al. (2005) classificam as condicionantes de movimento de massa ocorrentes nas cidades brasileiras em dois grandes grupos:

a) Condicionantes naturais

Representados pelas características físicas naturais das áreas que sofrem os movimentos de massa, como por exemplo: características geomorfológicas (relevo, topografia, declividade), características geológicas, pedológicas e geotécnicas. Tais características determinam a capacidade de suporte do solo aos diversos tipos de uso e ocupação. Características climáticas (regime de precipitação e intensidade), impactando sobre os demais condicionantes.

b) Condicionantes antrópicos

Este grupo é determinado principalmente pelo padrão de uso e ocupação do solo. Encostas desmatadas, obras de terraplenagem que geram depósitos (aterro) com estabilidade precária, habitações desordenadas com condições precárias, grandes assentamentos irregulares desprovidos de obras de infraestrutura básica, tais como: rede de drenagem de águas pluviais; rede de esgoto e pavimentação.

Leroueil (2004) descreve que, numa caracterização geotécnica, todos os tipos de movimento de massa num dado estágio estão associados com fatores de causa específicos, conforme descrito:

- a) Fatores predisponentes - são os que informam sobre a situação atual e determina a resposta do talude, de acordo com os fatores acionantes;
- b) Fatores acionantes ou agravantes - produzem uma modificação significativa nas condições da estabilidade ou na estabilidade do movimento, conduzindo assim à ruptura do talude;
- c) Fatores revelantes - são aqueles que evidenciam o movimento no talude, mas, geralmente, não participam do processo.

2.1.1 Classificação dos tipos de movimento

A classificação dos movimentos é de extrema importância, já que se pode associar, a cada tipo de movimento, determinadas características (profundidade, raio de alcance, material instabilizado, potencial destrutivo, etc) sendo essas, em conjunto com o entendimento dos condicionantes, fundamentais para formulação de modelos, a fim de se orientar a proposição de medidas preventivas e corretivas (AUGUSTO FILHO e VIRGILI, 1998).

Ortigão e Sayão (2004) descrevem que a classificação dos movimentos de massa obedece aos seguintes critérios:

- a) Cinética do movimento: definida pela relação entre a massa em movimentação e o terreno estável (velocidade, direção e sequência dos deslocamentos).
- b) Tipo do material: identificação do material que sofreu o movimento podendo ser solo, rocha, detritos, depósitos, destacando a sua estrutura, textura e conteúdo de água.
- c) Geometria: caracterizada pelo tamanho e forma das massas mobilizadas.

A classificação de Varnes (1978) se tornou referência para muitos pesquisadores em todo o mundo, sendo considerada oficial pela *International Association of Engineering Geology* (IAEG). Nessa classificação apresenta-se, de forma objetiva, para cada tipo de movimento, o tipo de material envolvido. Posteriormente esta classificação passou por atualização através de Cruden e Varnes (1996), como apresentado no Quadro 2.1.

Quadro 2.1 – Classificação dos movimentos de massa

TIPO DE MOVIMENTO	TIPO DE MATERIAL		
	ROCHA	SOLO	
		PREDOMINANTEMENTE GROSSEIRO	PREDOMINANTEMENTE FINO
Queda	Queda de rocha	Queda de detritos	Queda de solo
Tombamento	Tombamento de rocha	Tombamento de detritos	Tombamento de solo
Deslizamento	Escorregamento de rocha	Escorregamento de detritos	Escorregamento de solo
Expansões laterais	Expansões laterais de rocha	Expansões laterais de detritos	Expansões laterais de solo
Escoamento	Movimento lento / corrida de rocha	Movimento lento / corrida de detritos	Movimento lento / corrida de solo

Fonte: Cruden e Varnes (1996 apud MAGALHÃES, 2013)

Varnes (1978) apresentou também uma classificação de acordo com a velocidade do movimento. Em 1995, a *International Union of Geological Sciences* (IUGS), apresentou outras faixas para a velocidade. O Quadro 2.2 apresenta a descrição destas importantes fontes que estudaram o assunto.

2.1.2 Tipos de movimentos de massa

O movimento de massa pode acontecer de formas diversas, a depender do tipo de material movimentado, seu volume, trajetória, velocidade e formato do percurso da massa movimentada. Highland e Bobrowsky (2008) descrevem que o tipo do movimento de massa determinará a velocidade potencial do movimento, o provável volume de deslocamento, a distância deslocada, os possíveis efeitos do deslizamento e as medidas mitigadoras apropriadas a serem consideradas.

Quadro 2.2 - Classificação dos movimentos em função da velocidade

CLASSE DE VARNES (1978)		CLASSE DE WP / WLI (1994)		
Velocidade	Valor em mm/s	Descrição da velocidade	Velocidade	Valor em mm/s
> 3 m/s	3×10^3	Extremamente rápida	> 5 m/s	5×10^3
0,3 m/min	5	Muito rápida	3 m/min	50
1,5 m/dia	17×10^{-3}	Rápida	1,8 m/hora	0,5
1,5 m /mês	$0,6 \times 10^{-3}$	Moderada	13 m/mês	5×10^{-3}
1,5 m /ano	48×10^{-6}	Lenta	1,6 m/ano	50×10^{-6}
0,06 m/ano	$1,9 \times 10^{-6}$	Muito lenta	16 mm/ano	$0,5 \times 10^{-6}$
< 0,06m/ano	$< 1,9 \times 10^{-6}$	Extremamente lenta	< 16 mm/ano	$< 0,5 \times 10^{-6}$

Fonte: Coutinho e Silva (2007 apud IUGS, 1995)

Conhecer e entender as características do movimento de massa é de grande importância para o planejamento e adoção de medidas de intervenção provisórias ou definitivas, diminuindo assim o risco de perdas e danos. Na sequência são detalhadas as características de cada um dos tipos de movimento citado por Cruden e Varnes (1996).

a) Quedas

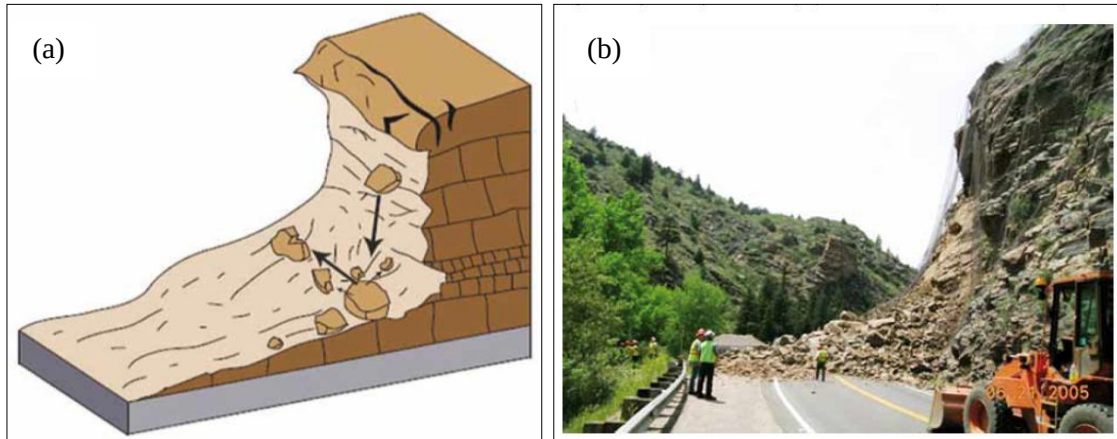
Highland e Bobrowsky (2008) descrevem quedas como movimentos repentinos para baixo, de rocha ou terra, ou ambas, que se desprendem de taludes íngremes ou de penhascos. Todo o processo propicia o isolamento de blocos unitários de rocha, e sua ocorrência está condicionada à presença de afloramentos rochosos em encostas íngremes, abruptas ou taludes de escavação, tais como, cortes em rocha, frentes de lavra etc. (BRASIL, 2007 apud ROQUE, 2013).

O material movimentado pode ter volume variado, desde torrões de solo ou rochas individuais até blocos maciços de dimensões bem maiores. A velocidade do movimento varia de rápida a extremamente rápida, dependendo da inclinação do talude.

Alheiros et al. (2003) destacam que este tipo de movimento ocorre em áreas de relevo mais acentuados, como serras e morros de rochas cristalinas. Os autores explicam que isso se deve ao desequilíbrio de blocos rochosos, que se soltam ao longo de descontinuidades (fraturas e planos de xistosidade), principalmente quando os maciços são submetidos a cortes.

A Figura 2.1 apresenta o esquema do tipo de movimento queda e um registro de ocorrência nos Estados Unidos.

Figura 2.1 – (a) Esquema de queda de rocha; (b) Queda rochosa ocorrida em Clear Creek Canyon, Colorado, EUA, em 2005 (foto por Colorado Geological Survey).

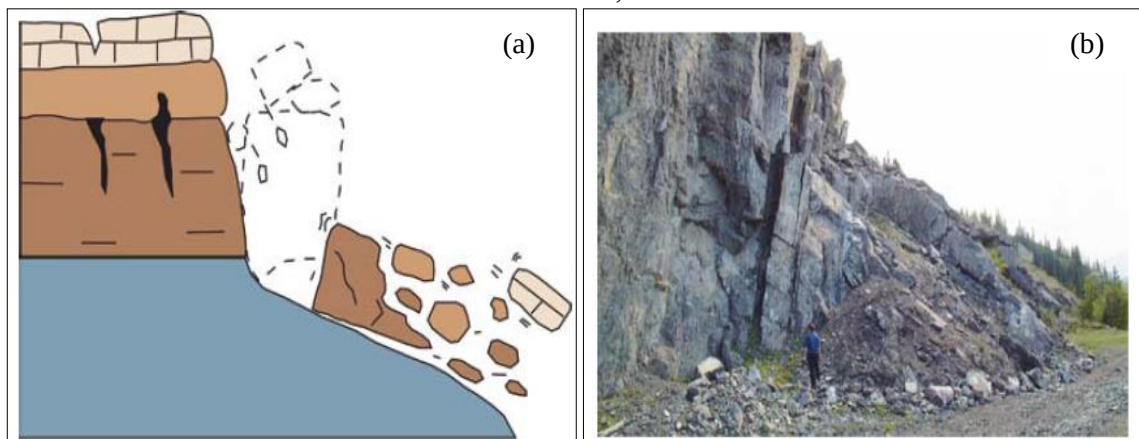


Fonte: Highland e Bobrowsky (2008).

b) Tombamentos

Cruden e Varnes (1996) descrevem que o movimento de tombamento se dá a partir da rotação de um bloco da encosta em torno de um eixo, estando condicionado à existência de planos de fraqueza. Tem a força da gravidade como principal aliada. Ocorre durante um deslocamento frontal da massa, movimentando-se para fora do talude. Highland e Bobrowsky (2008) acrescentam que a massa movimentada pode conter rochas, detritos ou solo. A Figura 2.2 apresenta modelo esquemático para o movimento de tombamento.

Figura 2.2 – (a) Esquema de tombamento de rocha; (b) Fotografia de um bloco tombando em Fort St. John, British Columbia, Canadá.



Fonte: Highland e Bobrowsky (2008).

Na maioria dos casos, este tipo de movimento ocorre em maciços rochosos que apresentam descontinuidades verticais e subverticais, principalmente, quando existe água ou gelo nestas descontinuidades (VARNES, 1978). Brasil (2007) coloca ainda que o movimento pode ocorrer também devido ao crescimento de raízes de vegetação entre as descontinuidades, ocorrência de vibração, erosão regressiva, condições climáticas diferenciadas, escavações ou erosão por curso d'água.

O movimento pode ter velocidade de extremamente lenta a extremamente rápida, podendo sofrer aceleração, dependendo da distância do deslocamento. Pode ter efeito muito destrutivo, a depender do volume de material deslocado e da velocidade atingida.

Bandeira (2003) comenta sobre a classificação de Cruden e Varnes (1996), e destaca que o movimento de rolamento de matacões é uma subclassificação do movimento tipo quedas. Em encostas ocupadas o desencadeamento dos movimentos de massa é comum, em decorrência das deficiências de capacidade e funcionamento, ou mesmo inexistência de um sistema de drenagem superficial adequado nas residências, ou ainda de escoamentos irregulares que se concentram aleatoriamente. Segundo Alheiros et al. (2003), o rolamento de matacões são comuns em encostas formadas por rochas cristalinas alteradas pelo intemperismo químico. A decomposição progressiva ao longo das fraturas e falhas individualiza blocos arredondados (matacões), que ao longo do tempo, destacam-se em meio à massa de solo residual.

c) Deslizamento

Alheiros et al. (2003) descrevem que deslizamentos são movimentos gravitacionais de massa, mobilizando sedimentos, solos e/ou rochas, que ocorrem de modo brusco em decorrência de rupturas nesses materiais, deixando uma cicatriz de geometria plana ou curva.

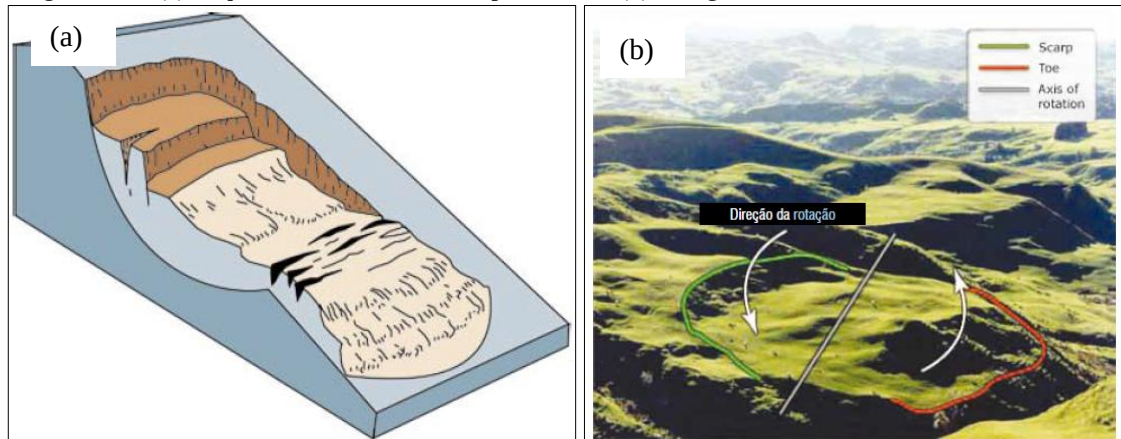
Os deslizamentos resultam da ruptura das condições de equilíbrio, definidas por fatores geológicos, geomecânicos e climáticos. A chuva tem papel fundamental na deflagração desses processos.

Segundo Varnes (1978), os deslizamentos podem ser classificados, de acordo com a superfície de ruptura formada no movimento, podendo ser rotacionais ou translacionais.

Highland e Bobrowsky (2008) descreve que o deslizamento rotacional é caracterizado por apresentar superfície de ruptura curva, tendo o movimento de massa

rotatório em torno de um eixo imaginário paralelo ao contorno do talude, conforme demonstra a Figura 2.3. A massa deslocada pode, de acordo com as circunstâncias, mover-se de maneira relativamente coerente, ao longo da superfície de ruptura e com pouca deformação interna. Brasil (2007) destaca que, normalmente, estão associados a materiais homogêneos, aterros, depósitos mais espessos, rochas sedimentares ou cristalinas intensamente fraturadas.

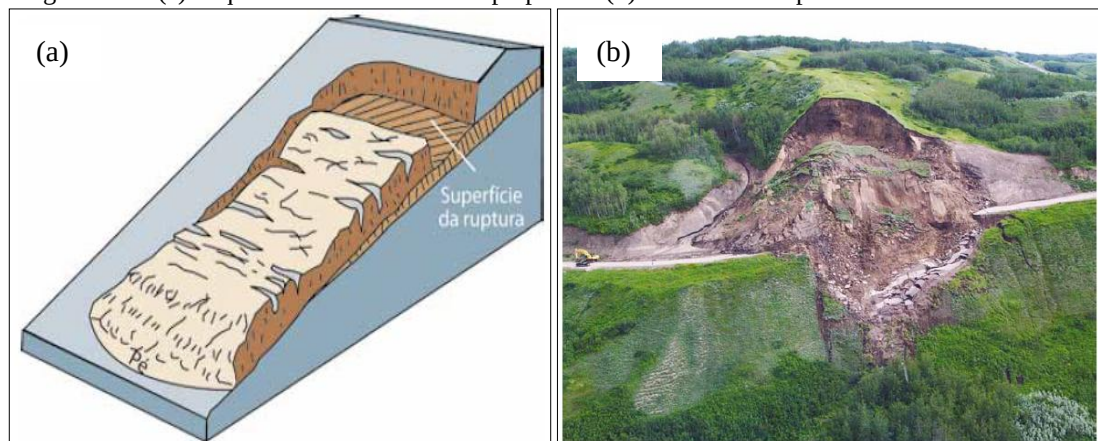
Figura 2.3 – (a) Esquema de deslizamento tipo circular. (b) Fotografia de um deslizamento rotacional.



Fonte: Highland e Bobrowsky (2008).

No deslizamento planar, a massa movimentada desloca-se ao longo de uma superfície relativamente plana, em trajetória paralela à inclinação do talude (GUIDICINI e NIEBLE, 1984), conforme ilustração da Figura 2.4. Highland e Bobrowsky (2008) destacam que esse tipo de deslizamento pode progredir por distâncias consideráveis, se a superfície da ruptura estiver suficientemente inclinada, ao contrário dos escorregamentos rotacionais, que tendem a restaurar o equilíbrio do deslizamento.

Figura 2.4 – (a) Esquema de deslizamento tipo planar. (b) Deslizamento planar ocorrido no Canadá.



Fonte: Highland e Bobrowsky (2008)

Bandeira (2003) destaca o tipo de deslizamentos e suas características mais frequentes na Região Metropolitana do Recife (RMR):

Na Região Metropolitana do Recife, segundo Gusmão Filho (1997), tem sido observado que os deslizamentos em solos, em sua maioria, não são profundos e a sua superfície de ruptura é translacional, paralela ao talude. Observações da variação de umidade e sucção, em perfis levantados no Alto do Reservatório, bairro do Recife (PE), mostraram que a diferença ocorre apenas nos primeiros 3,0 m de profundidade do solo, indicando ser esse o limite da frente de umedecimento e da superfície de ruptura (LIMA, 2002).

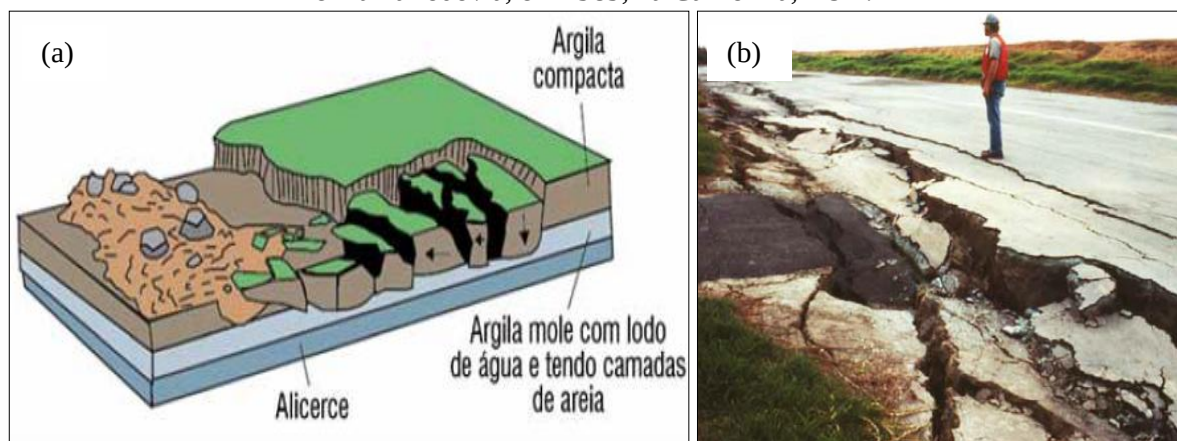
d) Expansões laterais

Varnes (1978) descreve expansões laterais como um movimento predominantemente lateral causado pelo cisalhamento e tensão das fraturas. Highland e Bobrowsky (2008) caracterizam como a extensão de uma massa coesiva, formada por solo ou rocha, combinada a um afundamento da superfície da massa fraturada de material coesivo para a camada inferior, menos rígida. A Figura 2.5 apresenta modelo esquemático para este tipo de movimento.

Brasil (2007) destaca que estas expansões laterais ocorrem, geralmente, em taludes de baixa inclinação ou em terrenos planos.

Highland e Bobrowsky (2008) comenta que em espalhamentos de terra, a camada superior estável estende-se ao longo da camada inferior mais fraca que flui, após uma liquefação ou deformação plástica. A área afetada pode iniciar em proporções pequenas e ter algumas fissuras que se espalham rapidamente, afetando áreas de centenas de metros.

Figura 2.5 – (a) Esquema de espalhamento lateral. (b) Fotografia de um espalhamento lateral ocorrido em uma rodovia, em 1989, na Califórnia, EUA.



Fonte: Highland e Bobrowsky (2008)

e) Escoamentos

São representados por deformações, ou movimentos contínuos, estando ou não presentes uma superfície definida ao longo da qual a movimentação ocorra. Highland e Bobrowsky (2008) colocam que os componentes de velocidade na massa que se desloca em um escoamento são semelhantes à de um líquido viscoso. Dependendo da quantidade de água envolvida, da mobilidade e da evolução do movimento, pode ocorrer uma mudança gradativa de escorregamentos para escoamentos, agravando assim os danos.

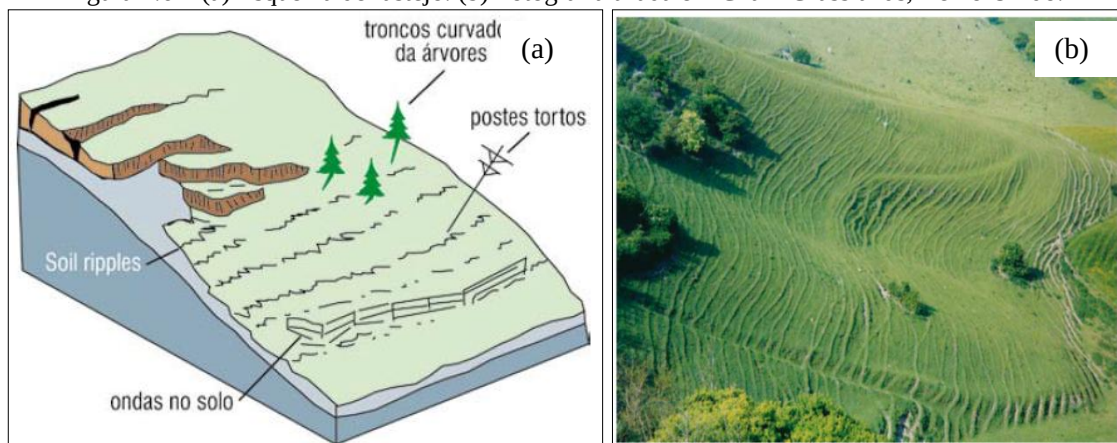
Em função da velocidade do movimento, Guidicini & Nieble (1984) classificam os escoamentos como lentos (rastejos) ou rápidos (corridas).

• Rastejos

Cruden e Varnes (1996) descreve rastejos como movimentos lentos e contínuos, sem superfície de ruptura bem definida, variando de milímetros a centímetros por ano, podendo englobar grandes áreas. Os materiais envolvidos no movimento podem ser solo, rocha ou a mistura de ambos. Alheiros et al. (2003) destaca que este processo ocorre geralmente nos horizontes superficiais, principalmente nos horizonte de transição solo/rocha e em baixa declividade.

É possível observar áreas com ocorrência deste tipo de movimento, apresentando árvores e postes inclinados, construções adernadas, e fraturas de tensão na superfície dos terrenos (BRASIL, 2007), conforme ilustra a Figura 2.6.

Figura 2.6 – (a) Esquema de rastejo. (b) Fotografia tirada em Chalk Grasslands, Reino Unido.



Fonte: Highland e Bobrowsky (2008)

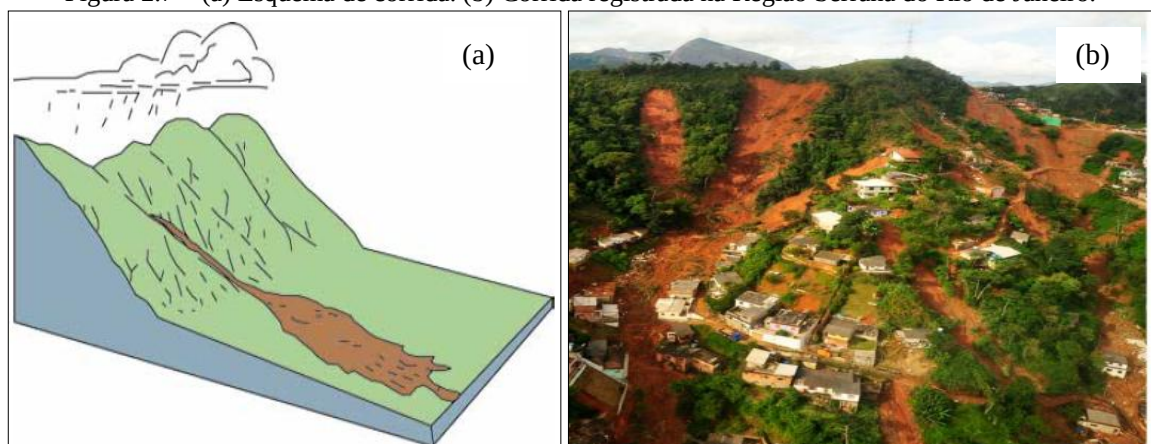
Highland e Bobrowsky (2008) apresentam ainda a identificação de três tipos de rastejo, com suas características: (1) sazonal, no qual o movimento ocorre no interior e no fundo do solo afetado por alterações sazonais, em sua mistura e temperatura; (2) contínuo, no qual a tensão de cisalhamento contínua excede a resistência do material; e (3) progressivo, no qual os taludes atingem o ponto de ruptura gerando outros tipos de movimentação do terreno.

- **Corridas**

Cruden e Varnes (1996) descrevem que corridas são formas rápidas de escoamento, de caráter essencialmente hidrodinâmico, provocado pela perda de resistência do material, devido o excesso de água. Iniciam-se com deslizamentos nas encostas, e com a interferência das altas declividades e grande volume de água, mobilizam expressiva quantidade de material (solo, detritos, blocos de rocha ou combinações destes materiais), tendo comportamento líquido viscoso e alto poder de transporte e destruição (ALHEIROS et al. 2003). A Figura 2.7 apresenta modelo esquemático e registro fotográfico deste tipo de movimento ocorrido em na Região Serrana do Rio de Janeiro – RJ.

São fenômenos mais raros que os deslizamentos, porém podem provocar consequências de magnitudes superiores, devido ao seu grande poder destrutivo e extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas.

Figura 2.7 – (a) Esquema de corrida. (b) Corrida registrada na Região Serrana do Rio de Janeiro.



Fonte: (a) Highland e Bobrowsky (2008). (b) Site <http://g1.globo.com/rio-de-janeiro/noticia/2011/01/buscas-por-vitimas-de-desabamento-continuam-na-regiao-serrana-do-rio.html> (acesso em 23/10/2015)

2.1.3 Causas e indícios de movimentos de massa

Cruden e Varnes (1996) descreveram os principais grupos de causas que interferem nos movimentos de massa. No Quadro 2.3 são descritas as causas geológicas, morfológicas, físicas e humanas apontadas pelos autores.

Quadro 2.3 – Causas dos movimentos de massa

Causas Geológicas	• materiais enfraquecidos, alterados ou intemperizados • materiais sensíveis, cisalhados, fraturados ou fissurados • massa descontínua orientada adversamente (estratificação, xistosidade, etc) • estrutura descontínua orientada adversamente (falha, contato, em conformidade, etc) • contrastes na permeabilidade • contrastes na dureza (material denso sobre material plástico)
Causas Morfológicas	• tectonismo ou vulcanismo • todos os tipos de erosão • carregamento no topo ou na base do talude
Causas físicas	• chuvas intensas • derretimento rápido de neve • precipitação excepcional prolongada • intemperismo/desgaste devido ao congelamento e descongelamento • intemperismo/desgaste devido à contração e inchamento
Causas humanas	• escavação (no talude ou na base) • carregamento (do talude ou da sua crista) • rebaixamento de reservatórios • desmatamento • vibração artificial • vazamentos de águas servidas

Fonte: Cruden e Varnes (1996)

2.1.4 Influência da chuva na deflagração dos movimentos de massa

A maioria dos deslizamentos registrados está associada a episódios de elevada pluviosidade, de duração compreendida entre algumas horas até alguns dias (GUIDICINI e NIEBLE, 1984).

Gusmão (1990) descreve que os índices pluviométricos críticos para a deflagração dos movimentos de massa variam com o regime de infiltração do solo, a dinâmica das águas subterrâneas no maciço e o tipo de instabilização. Os escorregamentos em rocha tendem a

serem mais suscetíveis a chuvas concentradas, enquanto os processos em solo dependem também dos índices pluviométricos acumulados nos dias anteriores.

Diante da importância, entre o índice pluviométrico e a ocorrência de deslizamentos, pesquisas têm sido desenvolvidas no sentido de correlacionar numericamente estes eventos. Este é um dado, que associado às demais características da área estudada, possibilita estimar a possível ocorrência de deslizamentos, e assim contribuir para que os grupos de Defesa Civil municipais possam adotar procedimentos de prevenção na redução dos danos à população.

Ao estudar parâmetros técnicos para gerenciamento de áreas de risco na RMR, Bandeira (2010) comenta os trabalhos realizados neste contexto:

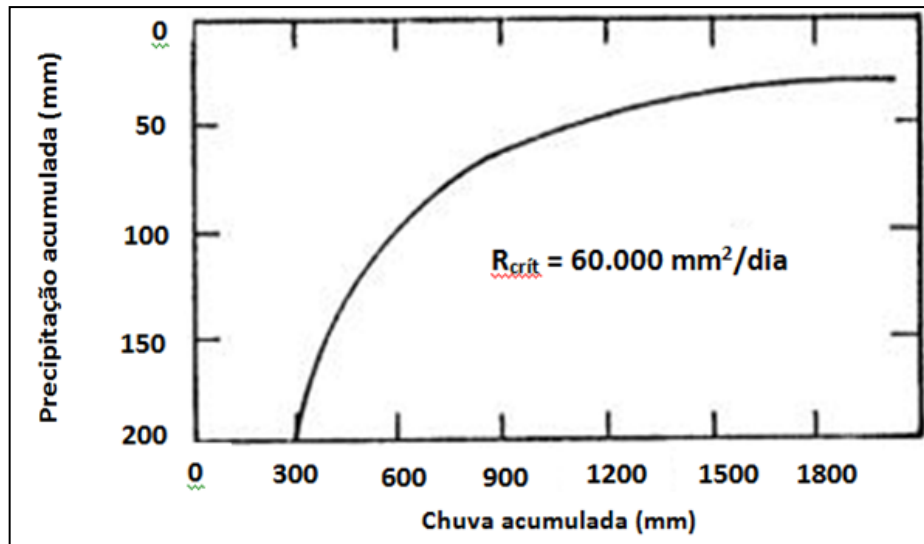
Um dos trabalhos pioneiros de correlação entre chuva e escorregamentos realizado no Brasil é o de GUIDICINI & IWASA (1976), que desenvolveram correlações para os Estados de São Paulo; Rio de Janeiro; Ceará, Minas Gerais e Santa Catarina. As propostas subsequentes foram de COSTA NUNES (1982), VARGAS et al. (1986), TATIZANA et al. (1987), ALMEIDA & NAKAZAWA (1991), ELBACHÁ et al. (1992), CERRI (1993), PEDROSA (1994) e GUSMÃO FILHO (1997).

A pesquisa de Gusmão Filho (1997) correlaciona o índice pluviométrico e os deslizamentos para as encostas de Formação Barreiras da cidade de Olinda – PE. O estudo foi desenvolvido com dados obtidos do monitoramento da variação do nível piezométrico das encostas durante três anos. O autor concluiu que a instabilidade das encostas resulta da ação combinada entre a intensidade de chuva acumulada (P_{ac}), de janeiro até a data avaliada, com a ocorrência de uma chuva diária de intensidade mínima (I) naquela data. Assim, definiu-se o parâmetro R como sendo o produto da chuva de 24 horas pela chuva acumulada até o dia do evento ($R = P_{ac} \times I$). Para os dados estudados, o autor encontrou o valor de $R = 60.000\text{mm}^2/\text{dia}$, como parâmetro que define eminência do acontecimento do movimento de massa na área estudada. A Figura 2.8 apresenta o gráfico da correlação obtida para a cidade de Olinda-PE.

Bandeira (2010) em seu estudo desenvolvido a respeito de parâmetros técnicos adotados na gestão de áreas de riscos de deslizamentos na Região Metropolitana do Recife buscou identificar parâmetros mais objetivos, através do volume crítico de chuva de curtos e longos prazos, que deflagram processos de instabilidade de encostas nas áreas precárias das cidades do Recife, Camaragibe e Jaboatão dos Guararapes. A autora explanou o histórico de regime pluviométrico e as ocorrências de deslizamentos registradas. Durante avaliações, os

parâmetros utilizados na pesquisa foram baseados na metodologia do Plano Preventivo de Defesa Civil de São Paulo e no índice acumulado desde 1º de janeiro, baseadas no estudo de Gusmão Filho (1997), e utilizados pelas defesas civis dos municípios estudados.

Figura 2.8 – Correlação entre a intensidade da chuva e a chuva acumulada para as encostas da Formação Barreiras da cidade de Olinda – PE.



Fonte: Gusmão Filho (1997)

2.2 Transporte de massa

A erosão compreende o processo de desagregação, transporte e posterior depósito de matérias de solo ou rocha por ação dos fatores condicionantes (LOPES, 1980).

Proveniente do latim “*erodere*”, o termo erosão é definido pelo IPT (1989) como um conjunto de processos pelos quais os materiais terrosos e rochosos da crosta terrestre são desagregados ou dissolvidos e transportados pela ação dos agentes erosivos como água, vento e gelo. Assim, os agregados são primeiramente fragmentados em partículas menores e transportados posteriormente para áreas mais baixas onde são depositados (FENDRICH et al 1997).

Bastos (1999) comenta que o tema erosão dos solos é tratado por quatro grandes áreas do conhecimento: Agronomia; Hidráulica; Geologia e Engenharia. O autor descreve de forma sucinta o enfoque de cada área de conhecimento, como apresentado no Quadro 2.4.

Segundo Carvalho et al. (2006), os processos erosivos constituem-se numa forma natural de modelagem do relevo e atuam de modo conjugado aos processos pedogenéticos. De maneira geral, em condições naturais, estes dois processos atuam equilibradamente, havendo certa equivalência entre a quantidade de solo erodida e a quantidade produzida. Comumente, denomina-se este fenômeno de erosão natural ou erosão geológica. Quando este equilíbrio é

rompido devido à interferência do homem e não é permitida ao solo a recuperação natural, dá-se origem à erosão acelerada ou erosão antrópica.

As erosões, tanto geológica como antrópica, se classificam quanto ao meio de transporte do solo em erosão glacial, eólica e hídrica (NOGUEIRA, 2005 apud BASTOS, 1999). Nesta pesquisa será tratada apenas a erosão hídrica que é ainda subdividida em pluvial, interna (ou *piping*), laminar e linear (sulco, ravina e voçoroca).

Quadro 2.4 – Enfoque de estudos sobre erosão por diferentes áreas de conhecimento.

ÁREA DO CONHECIMENTO		ENFOQUE
Agronomia	Física dos solos	Estudo de características físicas, químicas e mineralógicas que influenciam a erodibilidade dos solos dos horizontes superficiais e estudo de modelos de previsão da perda de solo.
	Manejo e conservação dos solos	Estudo do impacto de técnicas de cultivo e manejo no processo erosivo.
Hidráulica	Hidráulica de canais	Estudo da erosão localizada dos solos pelo fluxo d'água em estruturas hidráulicas.
Geologia	Geologia de engenharia	Estudos concentrados no diagnóstico ambiental da erosão, nas condicionantes geológicas e geomorfológicas à erosão regional e no relato de obras para controle da erosão.
Engenharia	Engenharia geotécnica	Ainda limitada abordagem ao problema da erosão. Poucos trabalhos na modelagem dos mecanismos de erosão e em critérios de avaliação da erodibilidade dos solos.

Fonte: Bastos (1999)

2.2.1 Tipos de erosão hídrica

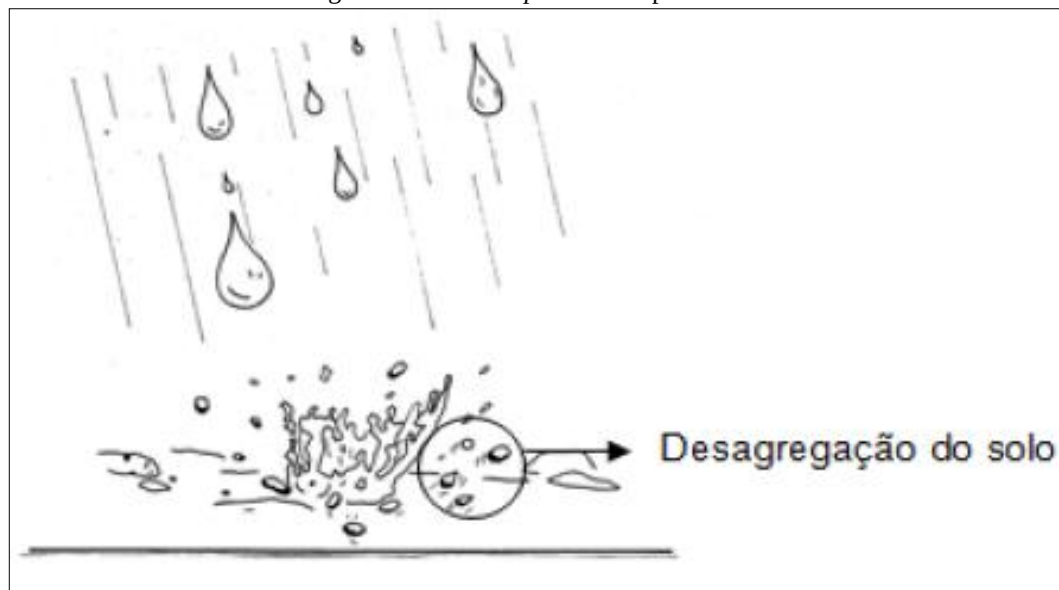
a) Erosão pluvial

Ao cair sobre a superfície do solo, a gota de chuva provoca um impacto que causa o desprendimento e a projeção das partículas menores, formando uma pequena cavidade na superfície do terreno (IPT, 1989). Este é o chamado efeito *splash* ou salpicamento, representado na Figura 2.9.

Bigarella (2003) afirma que este processo pode ser responsável por até 90% da erosão de um solo em algumas circunstâncias. Guerra e Mendonça (2004) acrescentam que o

impacto da gota resulta na compactação do solo pela formação de crostas que irão dificultar e impedir a infiltração da água da chuva. Nas bordas da área compactada, ocorre o deslocamento das partículas que são lançadas para o exterior do orifício formado. A partir dessa etapa, começam a se formar as poças nas irregularidades existentes na superfície do terreno. Quando essas poças se rompem, inicia-se então, o escoamento superficial de forma difusa, onde não há concentração de fluxo em canais.

Figura 2.9 – Efeito *splash* ou salpicamento.



Fonte: IPT (1999)

De acordo com Carvalho et al. (2006) o destacamento das partículas cessa quando o solo passa a resistir aos esforços de arrancamento. A existência de cobertura vegetal na superfície do terreno atua de forma a amenizar a energia do impacto das gotas de chuva, contribuindo assim para a redução da desagregação do solo.

b) Erosão laminar

A erosão superficial surge do escoamento da água que não se infiltra. Está associada ao transporte de partículas desprendidas pelo impacto das gotas de chuva, como também de partículas desprendidas através da força gerada entre o escoamento e a superfície do solo. Carvalho et al. (2006) descrevem que o poder erosivo da água em movimento e sua capacidade de transporte dependem da densidade e velocidade do escoamento, da espessura da lâmina d'água, da cobertura vegetal e da inclinação da vertente.

Diversos fatores são colocados por pesquisadores como agravantes da erosão superficial tais como a densidade e velocidade do escoamento, a espessura da lâmina d'água, a cobertura do solo, o clima, o tipo de solo, sua estrutura e umidade inicial. Ações antrópicas são normalmente os fatores mais atuantes para o agravamento do potencial erosivo, através da remoção da vegetação natural e de drenagens inadequadas.

c) Erosão interna ou piping

A erosão interna ou *piping* é descrita por Hargerty (1991 apud PEREIRA, 2008) como sendo um fenômeno de erosão subterrânea no qual a percolação de água causa a remoção de partículas do interior do solo, formando cavidades de forma tubular que avançam para o interior do terreno. O autor coloca ainda o termo *sapping* aplicado nos casos em que o fenômeno ocorre distribuído numa área mais extensa.

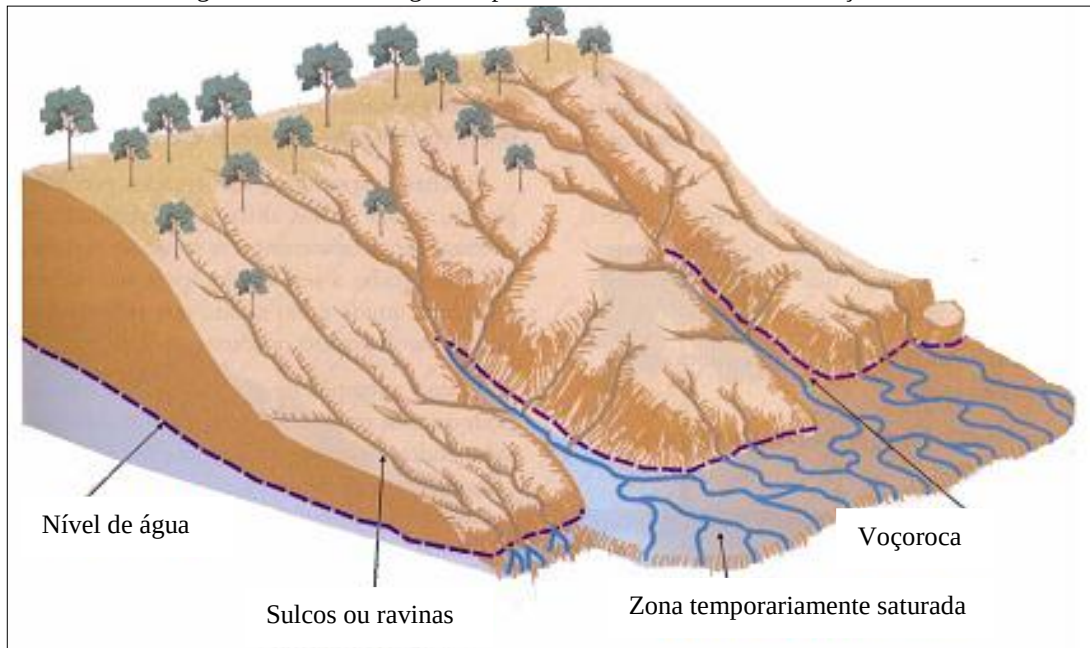
d) Erosão linear (sulcos, ravinas e voçorocas)

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. Estes canais são chamados de sulcos e, em geral, possuem profundidade e largura, inicialmente, pouco expressivas. Carvalho et al. (2006) coloca que sulcos são pequenos canais, de até 10cm de profundidade. O aumento da concentração de água em determinados sulcos faz com que eles evoluam progressivamente devido a ocorrência de pequenas rupturas, aumentando assim suas dimensões e evoluindo para as ravinas. Estas apresentam feições erosivas bem definidas. Segundo Oliveira (1999), nas ravinas deve ser considerado mecanismos de erosão que envolve movimento de massa, representados pelos pequenos deslizamentos de suas bordas, que contribuem para o aumento de suas dimensões. Oliveira (1999) coloca ainda que as ravinas são normalmente de forma alongada, com profundidades variáveis, raramente são ramificadas e não atingem o nível d'água subterrânea. Ao atingir o lençol freático, ocorre então a contribuição das águas subterrâneas no processo erosivo, passando assim ao estágio de voçoroca. Segundo Guidicini e Nieble (1984, apud CARVALHO et al., 2006), as voçorocas se originam ao longo das linhas de drenagem superficiais em seções típicas em V devido ao processo de ravinamento. Carvalho et. al. (2006) coloca que a voçoroca é o estágio mais avançado e complexo do processo erosivo, seu potencial depende da concentração do fluxo de água e do gradiente hidráulico, promovido pela água subterrânea com o desenvolvimento de *piping*. Para as voçorocas, o poder

destrutivo local é superior aos dos outros estágios e, portanto, de mais difícil controle e mais elevado custo de recuperação da área degradada.

Karrmann (2000 apud LAFAYETTE, 2006) apresentou através da Figura 2.10 a morfologia do processo erosivo com a formação de sulcos, ravinas e voçorocas.

Figura 2.10 - Morfologia dos processos de sulcos, ravinas e voçorocas



Fonte: Karrmann (2000 apud LAFAYETTE, 2006).

2.2.2 Desencadeamento e evolução do processo erosivo

O processo erosivo pode exigir o conhecimento de diversas variáveis e necessita de uma visão sistemática do fenômeno. Estes conhecimentos detalhados dos fatores envolvidos contribuem no correto diagnóstico para a área estudada e, conseqüentemente, para obtenção das melhores soluções a serem aplicadas.

Carvalho (et al 2006) descrevem que o desencadeamento do processo erosivo dá-se com a contribuição de dois fatores centrais: a erosividade da água, atuando como agente ativo; e a erodibilidade do solo, atuando como elemento passivo. Guerra e Mendonça (2004) descrevem cinco fatores como condicionantes do processo erosivo: (a) clima; (b) relevo; (c) cobertura vegetal; (d) propriedades do solo; (e) ação antrópica. Estes fatores atuam no desencadeamento e/ou na intensificação do processo erosivo, seja de forma isolada ou em conjunto.

a) Clima

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1999), as características climáticas que mais interferem no processo erosivo são: a intensidade, a duração e a distribuição ou frequência da chuva. Para Fendrich et al. (1997) locais de climas úmidos, tropical quente e temperado, com ciclo de período seco e período chuvoso, são mais propícios de serem afetados pelos processos erosivos.

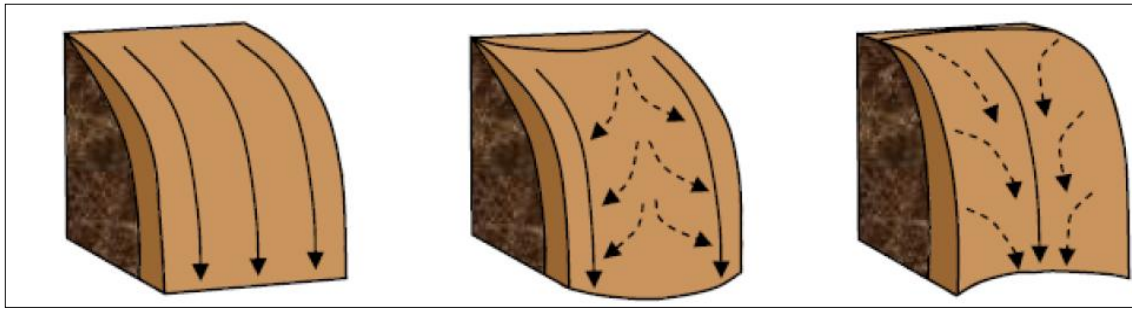
O clima atua de forma significativa controlando o intemperismo. Este por sua vez provoca um conjunto de alteração físicas (desagregação) e químicas (decomposição) que as rochas sofrem quando ficam expostas na superfície. Salomão (1999) descreve que os aspectos climáticos mais importantes no desenvolvimento pedogenético são representados pela precipitação pluviométrica e a temperatura. Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1999), o volume e a velocidade da enxurrada dependem da duração, frequência e intensidade da chuva, sendo esta, o fator pluviométrico mais importante para a erosão. O potencial de desagregação, transporte e deposição das partículas pela ação da água, é chamado de erosividade.

b) Relevo

O relevo, através de suas características de declividade, comprimento da encosta e o tipo de vertente, determina a velocidade, o volume e a trajetória do escoamento. Bastos (1999) descreve que na medida em que o comprimento da rampa e a declividade aumentam, a velocidade do escoamento superficial também aumenta, e assim, eleva a capacidade de desagregação e transporte das partículas do solo. De acordo com o IPT (1989), a erosão é diretamente proporcional à declividade e ao comprimento de rampa que influenciam na velocidade da água, sendo menor nos terrenos mais planos e maiores nos terrenos com maiores comprimentos de rampa.

Nishyama (1995) descreve o perfil da encosta como fator importante para determinação da trajetória e velocidade do escoamento. O autor cita que encostas convexas (ver Figura 2.11), elevam a velocidade do escoamento por apresentarem crescimento da declividade na direção da base das encostas, dispondo-se assim mais suscetíveis aos processos erosivos.

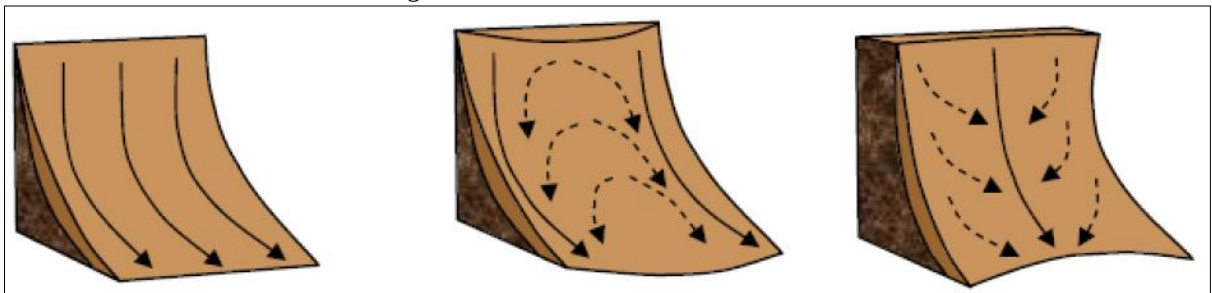
Figura 2.11 – Perfil de encostas convexas



Fonte: Nishyama (1995)

Para as encostas côncavas (ver figura 2.12), Nishyama (1995) comenta que, normalmente, tem-se declividades mais suaves em direção à base da encosta, o que proporciona redução na velocidade do escoamento, resultando em áreas menos suscetíveis à erosão.

Figura 2.12 – Perfil de encostas côncavas



Fonte: Nishyama (1995)

c) Cobertura vegetal

A cobertura vegetal protege naturalmente o solo contra o impacto das gotas de chuva, diminuindo assim a capacidade de desagregação das partículas de solo, e aumentando a infiltração. Parte da água da chuva não chega ao solo, sendo interceptada pela folhagem e evapora diretamente, outra parte se escoia pelos ramos e troncos lentamente, indo ao solo para se infiltrar. A vegetação participa ainda como barreiras físicas naturais que interceptam o escoamento diminuindo assim a sua velocidade e, conseqüentemente, reduzindo o poder de arraste das partículas.

Gomes (2001) comenta que as raízes da vegetação formam um sistema radicular constituído de uma infinidade de filamentos microscópicos aderentes aos grãos de terra dando uma solidez muito maior à sua estrutura, ao mesmo tempo em que aumenta sua porosidade. Acrescenta-se ainda a esses efeitos, a formação de materiais coloidais, pela decomposição de folhas e outros vegetais que caem sobre o chão, e exercem ação aglutinante para as partículas,

originando agregados de maiores dimensões. Estes agregados por sua vez, proporcionam condições de maior porosidade do solo, gerando assim maior infiltração e, conseqüentemente, menor escoamento.

Pereira (2008) destaca que plantas altas e de folhas largas, concentram água nas folhagens, em consequência, as gotas d'água oriundas desta concentração serão maiores podendo assim provocar maior desagregação do solo ao caírem sobre a superfície do terreno.

d) Propriedades do solo

Fendrich et al. (1997) descrevem as características do solo que condicionam o processo erosivo como sua textura, estrutura, estratificação, permeabilidade, teor de umidade, e sua composição. A textura relaciona o tamanho das partículas do solo influenciando na capacidade de infiltração e absorção d'água, interferindo na energia do escoamento e na coesão dos solos. A estrutura representa o arranjo e o agrupamento das partículas, influenciando a permeabilidade. A estratificação do terreno indica que quanto maior for a camada de solo, maior será a sua capacidade de acumular água, podendo assim reduzir o escoamento superficial. A presença de matéria orgânica no solo aumenta a capacidade de retenção da água, diminuindo assim as perdas por desagregação.

Loppes Trilho (1999) comenta que os solos arenosos e os siltosos são mais susceptíveis a processos erosivos por apresentarem baixa coesão. O autor apresentou através do Quadro 2.5 a descrição dos solos e sua suscetibilidade ao processo erosivo.

e) Ação antrópica

Corresponde a ação da ocupação inadequada do homem, provocando desequilíbrio no processo natural do meio ambiente. Este é um fator de grande impacto no processo erosivo, provocando, muitas vezes, a deflagração e a aceleração. Este fator age de forma combinada com os demais fatores condicionantes. A ação antrópica inicia-se com a remoção da vegetação natural, e posterior construção de moradias nas encostas, muitas vezes ausentes de esgotamento sanitário e um sistema adequado de drenagem. Assim, a perda de solo provocada pelo constante lançamento de águas servidas e direcionamento inadequado das águas pluviais, é um acontecimento constante e gradativo, desencadeando erosão laminar, que logo evoluem para os sulcos e progredindo para estágios mais avançados e danosos. Girão et al. (2007 apud BANDEIRA, 2010), coloca que em alguns casos a ação antrópica pode

induzir situações de fuga de solo por ruptura de tubulações, acentuando o processo de erosão, podendo causar acidentes, como apresentado no Foto 2.1.

Quadro 2.5 - Descrição dos solos e sua suscetibilidade ao processo erosivo.

SÍMBOLO	DESCRIÇÃO DO SOLO	ERODIBILIDADE
GW	Pedregulho e mistura de pedregulho e areia, bem graduados, com poucos ou sem finos	Menos erodível ↓ Mais erodível
GP	Pedregulhos e mistura de pedregulho e areia, mal graduados, com poucos ou sem finos	
SW	Areias e areias pedregulhosas, bem graduadas, com poucos ou sem finos	
GM	Cascalho siltoso, misturas de cascalho, areia e silte	
CH	Argilas inorgânicas de plasticidade elevada, argilas gordas	
CL	Argilas inorgânicas de plasticidade baixa ou média, argilas pedregulhosas, argilas arenosas, argilas siltosas, argilas magras	
OL	Siltes orgânicos, siltes e argilas orgânicas de plasticidade baixa	
MH	Siltes inorgânicos, solos arenosos finos ou siltosos micáceos e diatomáceos, solos elásticos	
SC	Areias argilosas,	
SM	Areias siltosas	
ML	Siltes inorgânicos e areias muito finas, pó-de-pedra, areias finas siltosas ou argilosas, e siltes argilosos pouco plástico.	

Fonte: Loppes Trilho (1999)

Carvalho et al. (2006) acrescentam que a intensidade e frequência da manifestação dos processos erosivos urbanos mobilizam milhões de metros cúbicos de solos. O autor coloca que uma parte dos sedimentos proveniente desses processos deposita-se nas vertentes e outra parte atinge os fundos de vales, provocando o assoreamento, propiciando a ocorrência de enchentes, perda da capacidade de armazenamento d'água em reservatórios e prejuízos para o abastecimento.

Foto 2.1 – Erosão induzida por ação antrópica



Fonte: Bandeira (2010)

CAPÍTULO 3

RISCOS GEOLÓGICOS

Este capítulo apresenta os principais conceitos utilizados nos estudos de Riscos e desastres naturais, juntamente com as principais instituições pesquisadoras do assunto. É apresentado também um breve histórico das ocorrências de grande importância para o conhecimento do assunto no Brasil. As principais metodologias de avaliação e análise do risco são também descritas. Os aspectos de vulnerabilidade, em sua dimensão física-ambiental e social, suscetibilidade e risco são também apresentados de forma a permitir um melhor entendimento das questões abordadas ao longo desta pesquisa. Por fim, são explanadas medidas de intervenção estrutural e não-estrutural que apoiam na redução do risco.

3.1 Breve histórico

Em todo o mundo os desastres naturais têm se apresentado com maior frequência, produzindo consideráveis perdas de vidas humanas, além de grandes perdas materiais. Registros históricos demonstram um aumento expressivo na quantidade e na intensidade destas ocorrências. Pesquisas desenvolvidas sobre o assunto relatam que a associação de eventos climáticos com a ocupação desordenada são fatores influenciadores nas ocorrências.

Anazawa e Carmo (2014) atentam que durante o século XX, o Brasil passou por uma transformação importante em termos da redistribuição espacial de sua população. O país, que era predominantemente rural na década de 1950 (36% da população residindo em áreas rurais), passou por uma grande migração da população para áreas próximas aos grandes centros, chegando ao ano de 2010 com 84% da população urbana. Esta mudança de regionalização na ocupação ocorreu, em muitas cidades, mediante condições não planejadas, impactando na qualidade da infraestrutura e de serviços públicos. Este evento prejudicou o processo de transição urbana, refletindo em desigualdades sociais. Desprovidas de recursos financeiros para construção de suas moradias em áreas seguras, a população iniciou a construção de suas moradias em áreas de risco, aumentando assim o número de pessoas envolvidas em desastres.

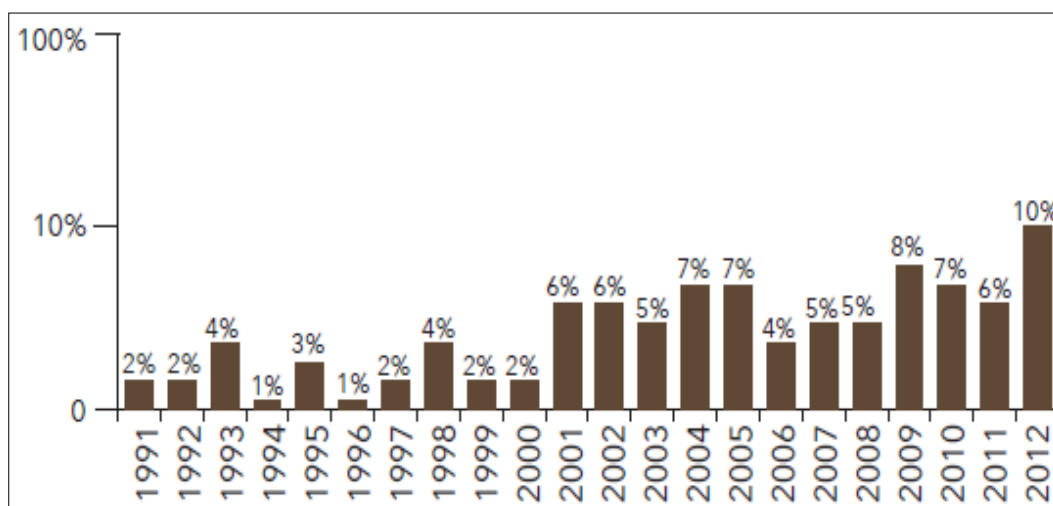
O registro e a análise das causas e consequências dos desastres são de extrema importância para o conhecimento dos fatores envolvidos, possibilitando assim a elaboração de

políticas públicas eficientes na redução das perdas humanas e materiais. O Anuário de Desastres Naturais, publicado em 2011, destaca três iniciativas da Secretaria Nacional de Defesa Civil (SEDEC) que auxiliaram o conhecimento do histórico e perfil dos desastres:

- o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais;
- o Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres (PNGRD);
- o Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID).

O Atlas Brasileiro de Desastres Naturais apresenta e comenta dados referentes aos registros de desastres disponíveis no Banco de Dados e Registros de Desastres disponível no S2ID. Este sistema é alimentado por representantes da Defesa Civil dos municípios brasileiros, possibilitando assim o registro de todas as ocorrências. Entre os registros estão dados referentes a ocorrências de estiagens e secas, enxurradas, inundações, granizo, geada, vendaval, tornado, incêndio, movimento de massa e erosão. Até a elaboração deste estudo, foram obtidos 38.996 registros de ocorrências entre os anos de 1991 a 2012. A Figura 3.1 apresenta a distribuição percentual destes desastres ao longo dos anos avaliados.

Figura 3.1 –Gráfico dos desastres naturais no Brasil

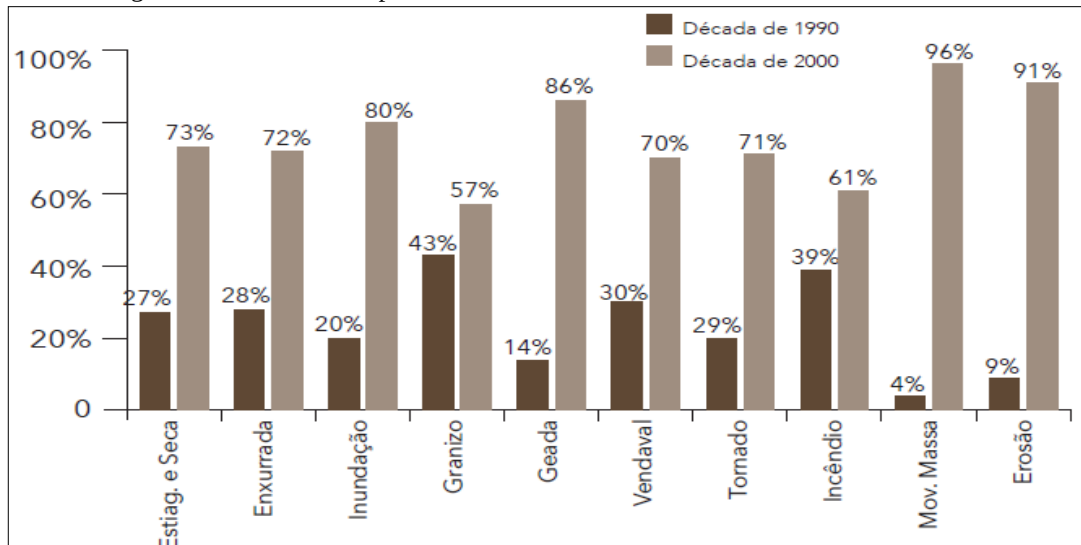


Fonte: Brasil (2013)

Brasil (2013) destaca que 22% dos registros (o equivalente a 8.515 unidades), ocorreram na década de 1990; 56% (21.741 unidades) ocorreram na década de 2000; 22% (8.740 unidades) ocorreram no curto período de 2010 a 2012. A Figura 3.2 ilustra a distribuição dos tipos de ocorrências para as décadas de 1990 e 2000. É possível observar o

expressivo aumento nos registros de movimento de massa e erosão, necessitando assim o aumento dos estudos de mapeamento de risco.

Figura 3.2 – Gráfico comparativo de ocorrências entre as décadas de 1990 e 2000.



Fonte: Brasil (2013)

Ao nível internacional, Roque (2013) comenta que, em dezembro de 1999, a Organização das Nações Unidas (ONU) criou como parte de seu secretariado, a *United Nations International Strategy for Disaster Reduction* (UNISDR), com o objetivo de garantir a implantação da estratégia internacional para a redução de desastres, dedicada à promoção de soluções para redução de riscos, desenvolvendo programas de prevenção.

De acordo com Augusto Filho (1999), a mitigação dos problemas causados por acidentes naturais pode ser feita de acordo com as seguintes ações:

- a) restrições da ocupação das áreas sujeitas a algum tipo de risco;
- b) legislação adequada;
- c) execução de medidas estruturais e;
- d) desenvolvimento de sistemas de alerta

3.2 Conceitos gerais

Vários termos são usados no campo de estudos dos riscos geológicos tais como *natural disaster*, *natural hazard*, *danger*, *susceptibility*, *vulnerability* e *risk* (OLIVEIRA, 2009).

Carvalho (1998) ao descrever sobre natural disaster tomou como referência a United Nations Disaster Relief Office (UNDRO, 2008), e apresentou a seguinte definição:

“ ... is the naturally occurring or man-made geologic condition or phenomenon that presents a risk or is a potencial danger to life and property. ”

[... é uma condição ou fenômeno geológico natural ou induzido pelo homem que apresenta um risco ou é um perigo potencial para a vida e o patrimônio.]

Ao descrever *natural hazard*, Carvalho (1998) apresentou os termos citados pelo American Geological Institut (AGI, 2008):

“ ... is the probability of occurrence within a specified period of time and within a given area of a potentially damaging phenomenon. ”

[... é a probabilidade de ocorrência de um fenômeno potencialmente prejudicial em um determinado período de tempo e numa dada área.]

Varnes et al. (1984 apud OLIVEIRA, 2009) definem *natural hazard* (*perigo natural*) como a probabilidade que uma condição razoavelmente estável possa mudar abruptamente, ou como a probabilidade de ocorrência de certo fenômeno danificar potencialmente uma determinada área e em um determinado período de tempo.

Albala-Bertrand (1993 apud OLIVEIRA, 2009) recomenda que sete parâmetros físicos sejam utilizados na caracterização de eventos perigosos:

- a) magnitude: máxima energia liberada por um evento particular em uma dada localidade;
- b) frequência: incidência média que um evento de uma dada magnitude ocorre em uma área;
- c) duração: espaço de tempo no qual um evento perigoso persiste;
- d) extensão da área: área geográfica coberta por um evento;
- e) velocidade de avanço: período de tempo entre o surgimento de um evento e seu pico;
- f) padrão de dispersão espacial: padrão de distribuição de um evento sobre uma área geográfica afetada.

De acordo com o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD, 2004), vulnerabilidade é uma condição ou processo resultante de fatores físicos, sociais,

econômicos e ambientais, os quais determinam a probabilidade e escala dos danos que podem ser causados pelo impacto de um determinado perigo.

Cardona (1996) descreve que vulnerabilidade é o fator de risco interno de um indivíduo ou sistema exposto a uma ameaça, correspondente a sua predisposição intrínseca a ser afetado ou de ser suscetível a sofrer danos.

É importante ter que, para elaboração do mapa de risco é fundamental analisar o dano potencial aos recursos ali existentes. Assim, o dano depende dos elementos que se encontram expostos ao perigo, ou seja, a vulnerabilidade indicará a magnitude do dano. Koeler et al. (2004), descreve que a severidade de um evento é diretamente proporcional à vulnerabilidade e depende de quatro fatores: físico, ambiental, econômico e social.

A suscetibilidade aos riscos geológicos pode apresentar-se na forma natural ou induzida pela ação antrópica. A suscetibilidade natural envolve a geologia, a pedologia, a geomorfologia e suas características como perfil da encosta, declividade, altura, extensão, drenagem, pluviosidade e vegetação local. A avaliação da suscetibilidade induzida envolve características do uso e ocupação do solo, com objetivo de identificar as ações modificadoras provocadas pela ação antrópica, tais como mudança do relevo, remoção da vegetação e execução de drenagem inadequada.

Pfaltzgraff (2007) destaca que é fundamental uma perfeita distinção entre a suscetibilidade natural cujo estudo apresenta um caráter eminentemente preventivo e, serve como ferramenta para planejamento da ocupação de áreas ainda livres, da suscetibilidade induzida. Esta última representa, basicamente, a probabilidade de ocorrência de processos geológicos, conforme o uso antrópico e respectivas funções sócio-econômicas dadas a uma determinada área já ocupada ou, com uso pré-definido.

Ao descrever o conceito do termo *risk*, Varnes (1974) assim o define:

“... means the expected degree of loss due to a particular phenomenon.”

[... significa o grau de prejuízo esperado devido a um fenômeno particular.]

Varnes (1984) complementa que o *landslide risk* [risco de deslizamento de terra] é definido como o número esperado de vidas perdidas, as pessoas prejudicadas, danos à propriedade e rompimento de atividade econômica devido a um particular *landslide hazard* [perigo de deslizamento de terra], para uma determinada área e período de referência.

Ao descrever risco geológico, Brito e Oliveira (1998) definem como uma condição de perigo, perda ou dano, ao homem e a suas propriedades, em razão da possibilidade de ocorrência de processo geológico induzido ou não.

Oliveira (2009) apresenta de forma sucinta no Quadro 3.1 os conceitos utilizados nas análises de risco conforme a *International Union of Geological Sciences* (IUGS).

A discussão dos conceitos básicos envolvidos nas análises de risco é presente na maior parte da literatura (BANDEIRA, 2003). Com o objetivo de buscar a padronização dos termos e metodologias que possam ser adotados universalmente, o *Joint Technical Committee 1* (JTC-1) uniu o conhecimento de especialistas de entidades internacionais das áreas de Mecânica dos Solos, Geologia de Engenharia e Mecânica das Rochas. Assim, foi elaborado o Manual para o zoneamento de susceptibilidade de perigo e risco de escorregamento para o planejamento de uso do solo. Lacerda (2012) destaca que o referido manual apresenta:

- definições e terminologia para uso internacional;
- descrição dos tipos e níveis de zoneamento de deslizamentos;
- orientação sobre os locais onde são necessários o zoneamento de deslizamentos e o planejamento de uso do solo levando em conta os deslizamentos;
- definições de níveis de zoneamento e escalas sugeridas para mapas de zoneamento;
- orientação sobre a informação requerida para diferentes níveis de zoneamento levando em conta os vários tipos de deslizamentos;
- orientação sobre confiabilidade, validade e limitações dos métodos;
- conselhos sobre as qualificações necessárias das pessoas que realizam o zoneamento de deslizamentos e conselhos sobre a preparação de um relatório para consultores conduzirem o zoneamento de deslizamentos e planejamento de uso do solo.

As definições dos termos utilizados em zoneamento de escorregamentos e gerenciamento de riscos são apresentadas pelo JTC-1 tomando-se como referência o IUGS (1997). O JTC-1, no entanto, esclarece que o manual apresenta pequenas mudanças nas definições internacionalmente adotadas. O Quadro 3.2 apresenta definições dos principais termos citados pelo manual do JTC-1.

Conforme recomendação do JTC-1, as definições dos termos apresentados devem ser usadas para todos os trabalhos de zoneamento, relatórios e planejamento do uso do solo. Assim, estes são os termos adotados como referência ao longo desta pesquisa.

Quadro 3.1 – Termos e conceitos utilizados pela IUGS

TERMO	CONCEITO
Risco (<i>risk</i>)	Medida da probabilidade e intensidade de um efeito adverso para a saúde, propriedade ou ambiente. Geralmente, é o produto da probabilidade pelas consequências.
Perigo (<i>danger</i>)	Fenômeno natural (movimento de massa gravitacional) geometricamente e mecanicamente caracterizado.
Ameaça (<i>hazard</i>)	Uma condição com potencial para causar consequências indesejáveis. Ameaças de escorregamento devem ser descritas por zonas e magnitudes.
Elemento sob risco (<i>element at risk</i>)	População, edificações, infraestrutura e componentes ambientais existentes na área potencialmente afetada pelos movimentos de massa.
Vulnerabilidade (<i>vulnerability</i>)	Grau de perda potencial para um dado elemento ou grupo de elementos dentro da área afetada por um evento.
Risco individual (<i>individual risk</i>)	Risco de perda de vida ou perdas materiais para um indivíduo que vive ou desenvolve atividades nos domínios da zona exposta aos movimentos de massa.
Risco social (<i>societal risk</i>)	Risco de perda de vida ou perdas materiais para um indivíduo que vive ou desenvolve atividades nos domínios da zona exposta ao risco de múltiplas perdas (ou mortes) para a sociedade como um todo, causado pelos movimentos de massa.
Análise de risco (<i>risk analysis</i>)	O uso da informação disponível para estimar o risco para indivíduos ou populações, propriedades ou o ambiente. A análise de risco, geralmente, contém as seguintes etapas: definição do escopo, identificação do perigo e determinação do risco.

Fonte: Adaptado de IUGS (1997 apud OLIVEIRA, 2009)

3.3 Análise do risco

A análise do risco depende de dois condicionantes essenciais: a suscetibilidade e a vulnerabilidade. A suscetibilidade indica a potencialidade de ocorrência de processos destrutivos em uma dada área. Expressa a propensão do meio físico, para a ocorrência do processo. Já a vulnerabilidade é descrita como indicador do grau de perda para um dado elemento, grupo ou comunidade, na área passível de ser afetada pelo processo destrutivo.

Varnes (1974) expressa o Risco (R) como o produto da probabilidade de ocorrência de um fenômeno ou evento no tempo e espaço conhecido (H), pela vulnerabilidade ou grau de perda de um dado elemento de risco (V), como expresso:

$$R = H \times V.$$

3.4 O uso da cartografia na análise de riscos

A carta de risco geológico é um instrumento que apresenta a distribuição, o tipo e o grau dos riscos geológicos, objetivando a definição de medidas de prevenção de acidentes. No Brasil, a elaboração de cartas de risco teve início na década de 80, com o aumento do registro de ocorrências nos grandes centros urbanos. Brito e Oliveira (1998) destacam que naquele período os serviços de cartografia de risco incluíram-se dentre as atividades mais procuradas no campo da Geologia de Engenharia.

A elaboração da Carta de Risco pode ser subdividida em três etapas: o levantamento de dados básicos do meio físico e antrópico; o mapeamento de campo e a representação cartográfica (BRITO e OLIVEIRA, 1998). Por representar a distribuição do risco em áreas ocupadas, as cartas de risco podem auxiliar no planejamento de infraestrutura ou na delimitação de áreas para intensificação dos trabalhos de orientação à população, desenvolvidos por agentes de Defesa Civil.

A existência do mapeamento geotécnico permite uma classificação do território em termos das expectativas gerais de comportamento do terreno para utilização em possíveis projetos de engenharia ou implantação de ocupações ordenadas planejadas. Oliveira (2009) coloca que a carta geotécnica de um meio urbano deveria ser o documento a ser respeitado para minimizar os acidentes relacionados aos escorregamentos (e outros processos), uma vez que dita as regras de suporte às construções.

O Manual JTC-1, em apoio à elaboração de zoneamento de escorregamentos para obtenção de planejamento regional, local e de sítio específico, coloca algumas recomendações

básicas para tal atividade, os tipos e níveis de detalhamento do zoneamento e a escala dos mapas. O JTC-1 recomenda que os relatórios de zoneamentos de escorregamento incluam a descrição da área (geologia, geomorfologia, hidrologia), os tipos de escorregamento e o contexto nos quais eles são produzidos.

Quadro 3.2 - Principais termos citados pelo manual do JTC-1.

TERMO	CONCEITO
Escorregamento	O movimento da massa de rochas, cascalhos ou terra (solo) que desliza em uma encosta.
Escorregamento ativo	Um escorregamento que está em movimento no momento; este pode ser um primeiro movimento ou uma reativação.
Escorregamento reativado	Um escorregamento que se torna ativo outra vez após estar inativo.
Inventário de escorregamento	Um inventário do local, classificação, volume, atividade, data de ocorrência e outras características de um escorregamento em uma área.
Susceptibilidade de escorregamento	Uma análise quantitativa ou qualitativa da classificação, volume (ou área) e distribuição espacial de escorregamentos que existem ou podem ocorrer em uma área.
Elementos em risco	A população, prédios e construções, atividades econômicas, serviços públicos, outros tipos de infra-estrutura e valores do meio ambiente na área que é potencialmente afetada pelo perigo do escorregamento.
Vulnerabilidade	O grau de perda para um dado elemento ou grupo de elementos dentro da área afetada pelo escorregamento.
Risco	uma medida da probabilidade e severidade de um efeito adverso à saúde, propriedade ou meio ambiente. O risco é frequentemente estimado pelo produto da probabilidade de um fenômeno de uma dada magnitude multiplicada por suas consequências.
Zoneamento	A divisão do solo entre áreas homogêneas ou domínios e sua classificação de acordo com graus de susceptibilidade de escorregamentos reais ou em potencial, perigo ou risco ou aplicabilidade de certas regulamentações ligadas ao perigo.

Fonte: JTC-1

A elaboração de mapas de zoneamento de escorregamentos deve ser baseada na escala adequada ao seu objetivo, permitindo a visualização das informações necessárias ao nível de trabalho desenvolvido. De acordo com as recomendadas do JTC-1, o Quadro 3.3 apresenta de forma resumida as recomendações de escalas de mapas e inventários de escorregamentos de acordo com a sua aplicação.

Oliveira (2009) coloca que o zoneamento é função do objetivo para os quais é elaborado. Se possuir caráter preventivo, que evite a ocupação de pessoas, bens ou certas atividades, o mais adequado é um zoneamento dos graus de susceptibilidades ao risco. Porém, se a intenção é aplicar medidas corretivas ou minimizadoras de danos, um zoneamento de riscos será o mais indicado. É importante ressaltar a necessidade de atualizações das cartas utilizadas no estudo de risco, considerando-se a dinâmica inerente às modificações locais na área de estudo.

Quadro 3.3 – Recomendações de uso de escalas de mapeamento de zoneamento e suas aplicações

Descrição da Escala	Variação Indicativa das Escalas	Exemplos de Aplicação do Zoneamento	Áreas Típicas de Zoneamento
Pequena	< 1 : 100.000	Inventários de deslizamentos e suscetibilidade para informar tomadores de decisões e público em geral	> 10.000 quilômetros quadrados
Média	1 : 100.000 a 1 : 25.000	Inventários de deslizamentos e zoneamento de suscetibilidade para construções regionais, ou projetos de engenharia de grande porte. Mapeamento de perigo de nível preliminar para áreas locais.	1.000 - 10.000 quilômetros quadrados
Grande	1 : 25.000 a 1 : 5.000	Inventários de deslizamentos, zoneamento de perigo e suscetibilidade para áreas locais, zoneamento de perigo de nível intermediário e avançado para obras de desenvolvimento regional. Zoneamento de risco de nível preliminar a intermediário para áreas locais e estágios avançados de planejamento de projetos de engenharia de grande porte, estradas e ferrovias.	10 - 1.000 quilômetros quadrados
Detalhada	> 1 : 5.000	Zoneamento de perigo e risco de nível intermediário e avançado para áreas locais e sítios específicos e para a fase de design da construção de estruturas de engenharia de grande porte, estradas e ferrovias.	Muitos hectares ou dezenas de quilômetros quadrados

Fonte: JTC-1

Clerici et al. (2002) ao comentarem sobre as cartas de suscetibilidade, mencionam que estas cartas apresentam um modelo conceitual comum, que consiste de:

- mapeamento de escorregamentos já ocorridos (inventário);
- mapeamento dos fatores geoambientais, que influenciam direta ou indiretamente a estabilidade das encostas;
- estabelecimento da correlação entre os fatores geoambientais (litologia, forma das encostas, declividade, etc.) e os escorregamentos antigos e recentes;
- classificação das unidades de paisagem em diferentes graus de susceptibilidade, com base nas relações identificadas.

Importante destacar que o ordenamento do território urbano e o planejamento ambiental, necessitam de conhecimento detalhado das condições existentes, retratados em mapas com escalas que permitam adequadas interpretações.

O mapeamento da vulnerabilidade, suscetibilidade e risco a deslizamento e erosão aqui apresentados foram desenvolvidos na Escala 1:10.000. A escala de trabalho em campo foi de 1:2.000. Os mapas produzidos para o Projeto a que está vinculado este trabalho foram apresentados na escala citada. Para efeito de melhor visualização das informações ao longo desta dissertação, as escalas foram alteradas, permitindo assim identificar os dados obtidos para cada um dos subsetores no formato da impressão de papel tamanho A-4.

3.5 Metodologias aplicadas para o mapeamento de riscos

De acordo com Oliveira (2009), diversos países desenvolvem mapeamentos de risco, muitos com metodologias semelhantes, mas com enfoques diferenciados, que muitas vezes resultam em respostas diferentes e não uniformes.

Bolt et al. (1975 apud BANDEIRA, 2003) comentam que a determinação do grau de risco geológico/geotécnico de uma área pode ser feita através de análise probabilística (quantitativa), ou através de análise relativa (qualitativa). De acordo com o descrito pelos autores, na análise quantitativa a avaliação é feita através da apresentação da probabilidade de ocorrência do acidente geológico/geotécnico, em determinado intervalo de tempo. No caso da análise qualitativa, a avaliação é feita através da simples comparação entre as situações de riscos identificadas, sem cálculos probabilísticos quanto à ocorrência.

Cerri (2006 apud HENRIQUE, 2014) comenta que no Brasil, como em muitos países, os mapeamentos de risco são, em sua maioria, realizados através de avaliações qualitativas, ou seja, os riscos são analisados com base na opinião técnica da equipe que realiza o mapeamento, tendo contribuição dos moradores das áreas mapeadas através do fornecimento informações. O autor acrescenta que os mapeamentos de risco também podem ser executados por meio de métodos quantitativos. O uso deste método só é possível quando o município dispõe de registro de informações referente à pluviometria, ao inventário de ocorrências, às causas dos acidentes e suas características, entre outras informações necessárias a uma boa avaliação.

Carvalho et al. (1998 apud BANDEIRA, 2003) comentam que, para os projetos de urbanização de favelas, mais do que comparar setores de encostas, o importante é identificar a situação de risco de cada moradia, permitindo estabelecer as intervenções necessárias e as ações da defesa civil, sendo nestes casos avaliada a probabilidade de destruição de cada moradia, que pode ser feita também qualitativamente.

3.5.1 Metodologia de Gusmão Filho et al. (1992)

De acordo com Bandeira (2003), a metodologia desenvolvida por Gusmão Filho et al. (1992) é um método índice, que se baseia na utilização de um índice numérico para cada fator avaliado. Sua análise é feita de forma relativa, comparando-se as situações de risco, resultando assim numa avaliação qualitativa. A metodologia consiste em dividir as áreas de encostas em setores homogêneos através da observação das condições de ocupação e elementos de infraestrutura disponíveis.

Os autores que desenvolveram o método recomendam a utilização de ficha cadastral onde são informados os fatores geológico, topográfico e ambiental, focando no reconhecimento dos principais grupos de atributos que prejudicam a estabilidade das encostas ocupadas. O fator topográfico e o fator geológico têm como atributos os elementos da suscetibilidade; e o fator ambiental envolve os atributos relacionados à suscetibilidade e à vulnerabilidade da área (BANDEIRA, 2003). Ao analisar os fatores isoladamente, a metodologia recomenda a avaliação dos riscos sob condições de chuvas intensas.

Após obtenção dos dados em campo, os valores e características dos atributos são analisados qualitativamente de forma a compor o resultado final do grau de risco. Nesta metodologia o grau de risco é dividido em cinco níveis conforme apresenta o Quadro 3.4.

Quadro 3.4 – Níveis do grau de risco para Metodologia Gusmão Filho et al. (1992)

TERMO LINGUÍSTICO	GRAU DE RISCO
Muito baixo	1
Baixo	2
Médio	3
Alto	4
Muito alto	5

Fonte: Gusmão Filho et al. (1992 apud BANDEIRA, 2003)

O cálculo do grau de risco de cada setor da encosta é obtido através do uso da Equação 3.1 que utiliza a média ponderada, onde cada um dos pesos é determinado com seus respectivos fatores.

$$GRF_{ENC} = \left[\frac{(P1 * GRT) + (P2 * GRG) + (P3 * GRA)}{(P1 + P2 + P3)} \right] \quad (\text{Equação 3.1})$$

Sendo:

GRF_{ENC} = Grau de risco de cada setor de encosta;

GRT = Grau de risco topográfico (média aritmética dos atributos topográficos);

GRG = Grau de risco geológico (média aritmética dos atributos geológicos);

GRA = Grau de risco ambiental (média aritmética dos atributos ambientais);

P1, P2 e P3 são, respectivamente, os pesos do fator topográfico, geológico e ambiental.

3.5.2 Metodologia modificada de Gusmão Filho et al. (1992)

Ao realizar o mapeamento das áreas de risco de erosão e escorregamento no Município de Camaragibe, Bandeira (2003) adotou como base a metodologia de Gusmão Filho et al. (1992), adotando ajustes necessários à adequação ao modelo de avaliação de risco sugerido pelo Programa de Prevenção e Erradicação de Riscos em Assentamentos Precários, da Secretaria Nacional de Programas Urbanos do Ministério das Cidades. A autora adotou também ajustes recomendados nos trabalhos de Gusmão Filho et al. (1993) e Alheiros (1998).

Bandeira (2003), durante seus trabalhos avaliou os seguintes fatores e atributos:

a) fatores topográficos: altura da encosta, perfil, morfologia, extensão da encosta, declividade da encosta, altura do corte e largura do corte;

b) fatores geológicos: litologia, textura, estrutura, evidência de movimento;

c) fatores ambientais: vegetação, drenagem, cortes, densidade demográfica e tratamento.

Cada um desses atributos foi analisado segundo uma escala de quatro níveis, associados aos graus de risco, conforme apresenta o Quadro 3.5.

Quadro 3.5 – Níveis do grau de risco para metodologia aplicada em Camaragibe

TERMO LINGÜÍSTICO	GRAU DE RISCO
Baixo (B)	1
Médio (M)	2
Alto (A)	3
Muito alto (MA)	4

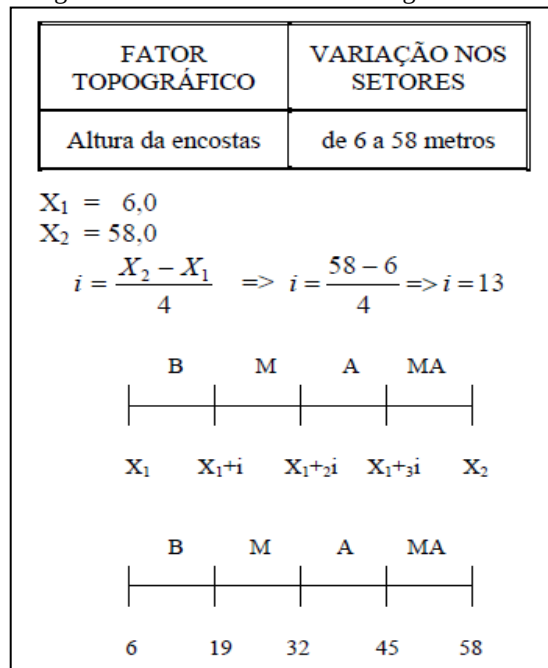
Fonte: Bandeira (2003)

Percebe-se assim uma modificação em relação à Metodologia Gusmão et. al (1992), visto que Bandeira (2003) em sua avaliação unificou os graus de risco “Muito baixo” e “Baixo”, resultando desta união o grau de risco “Baixo”. Destaca-se que para a situação de risco iminente não houve a aplicação da metodologia, tendo em vista que na iminência de um acidente, o caso requer ação imediata da Defesa Civil, no sentido de sua redução ou remoção, não se justificando criar uma entidade cartográfica tão efêmera (BANDEIRA, 2003).

Para determinação do enquadramento das análises dos setores de risco nos graus definidos no Quadro 3.5, a autora tomou seus valores extremos (X_1 e X_2), obtidos em todos os setores de encosta, e dividiu o intervalo em quatro faixas para encontrar o incremento (i) que foi utilizado para delimitar os intervalos, como explica a Figura 3.3.

Bandeira (2003) explica que neste modelo, a escala de graus de risco é usada como “notas” de 1 a 4, associada a cada atributo de risco isoladamente, sendo o risco final do setor estudado, obtido através de média ponderada, entre os graus de risco dos fatores topográfico, geológico e ambiental, e seus respectivos pesos. Para o município de Camaragibe, Bandeira (2003) atribuiu peso 2 para a topografia e para a geologia; para o fator ambiental, atribuiu peso 3. Assim, o grau de risco final foi calculado em Camaragibe, através da Equação 3.2.

Figura 3.3 – Divisão das faixas de grau de risco



Fonte: Bandeira (2003)

$$GRF = \left[\frac{(2 * GRT) + (2 * GRG) + (3 * GRA_t)}{7} \right] \quad (\text{Equação 3.2})$$

Sendo:

GRF = Grau de risco final;

GRT = Grau de risco topográfico;

GRG = Grau de risco geológico;

GRA_t = Grau de risco ambiental, incluindo a nota do tratamento.

Da mesma forma como foi determinado os intervalos para classificação do grau de risco de cada atributo (ver Figura 3.3), é também determinado o grau de risco final para os setores de encosta.

3.5.3 Metodologia de mapeamento de áreas de risco do IPT

Em agosto de 2003 o Ministério das Cidades organizou, em conjunto com a Agência Condepe/Fidem do Governo do Estado de Pernambuco, o 1º Seminário Nacional de Controle de Risco em Assentamentos Precários. O objetivo principal foi implantar ações de prevenção de riscos. Para isto, desenvolveram-se trabalhos e discussões com a contribuição de especialistas nos assuntos que envolvem o controle de riscos. Em março de 2006, o evento

teve sua segunda edição com a realização do 2º Seminário Nacional de Controle de Riscos em Assentamentos Precários, realizado na cidade de Belo Horizonte-MG. Em 2007 foi apresentado o manual obtido destes trabalhos: Mapeamento de Riscos em Encostas e Margens de Rios, elaborado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), com a coordenação do Ministério das Cidades. Em muitas cidades brasileiras observa-se o uso da metodologia recomendada pelo IPT, através do uso do manual produzido que é gratuitamente disponibilizado no site do Ministério das Cidades. Esta metodologia apresenta procedimentos para obtenção de uma avaliação qualitativa, através da obtenção de indicadores de instabilidade obtidos através de visitas a campo onde as informações são registradas em formulários cadastrais. Estes formulários são inclusive já sugeridos no manual. O roteiro apresentado pelo manual Mapeamento Riscos em Encostas e Margens de Rios indica que o cadastramento de riscos seja elaborado em oito etapas como apresenta o Quadro 3.6.

Quadro 3.6 – Descrição das atividades para o mapeamento de riscos proposto pelo IPT.

Etapas de trabalho	Descrição das atividades
1	Registrar as condições da moradia, sua localização, material que compõe sua estrutura, os acessos existentes e suas condições de trafegabilidade.
2	Caracterizar a origem do terreno (encosta natural, talude de corte ou aterro), a existência de blocos de rocha ou depósitos de lixo, e o posicionamento da moradia em relação a estes interferentes (distância e inclinação).
3	Registrar as possíveis formas de ocorrência de água (abastecimento, esgoto, drenagem, surgências de água, riachos, rios, canais ou córregos).
4	Registrar a presença de vegetação indicando o seu porte e localização na encosta.
5	Registrar a possível existência de sinais de movimentação e cicatrizes no terreno.
6	Registrar o tipo de processo de instabilização que a área é propícia. Nesta etapa poderá ser preciso rever e avaliar todas as etapas anteriormente citadas.
7	Definir o grau de risco em níveis que variam de 1 a 4, relacionando as condições identificadas em campo e os critérios apresentados no Quadro 3.7.
8	Registrar e imediatamente informar à Defesa Civil municipal a existência de moradias em áreas de risco eminente devendo assim serem removidas.

Fonte: Modificado de Ministério das Cidades (2007)

A definição do grau de risco citada na etapa de trabalho 7 é obtida através de análise qualitativa, com base nos critérios apresentados no Quadro 3.7.

Quadro 3.7 – Critérios para a determinação do grau de risco.

Grau de Risco	Descrição
R1 (Baixo)	- Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno, etc) e o nível de intervenção no setor, são de baixa ou nenhuma potencialidade para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos. - Não se observa(m) sinal/feição/evidência(s) de instabilidade. Não há indícios de desenvolvimento de processos de instabilização de encostas e de margens de drenagens. - Mantidas as condições existentes não se espera a ocorrência de eventos destrutivos no período compreendido por uma estação chuvosa normal.
R2 (Médio)	- Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno, etc) e o nível de intervenção no setor são de média potencialidade para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos. - Observa-se a presença de algum(s) sinal/feição/evidência(s) de instabilidade (encostas e margens de drenagens), porém incipiente (s). Processo instabilização em estágio inicial de desenvolvimento. - Mantidas as condições existentes, é reduzida a possibilidade de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.
R3 (Alto)	- Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno, etc) e o nível de intervenção no setor são de alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos. - Observa-se a presença de significativo(s) sinal/feição/evidência(s) de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, etc). Processo de instabilização em pleno desenvolvimento, ainda sendo possível monitorar a evolução do processo. - Mantidas as condições existentes, é perfeitamente possível a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.
R4 (Muito Alto)	- Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno, etc) e o nível de intervenção no setor são de muito alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos. - Os sinais/feições /evidências de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, trincas em moradias ou em muros de contenção, árvores ou postes inclinados, cicatrizes de deslizamento, feições erosivas, proximidade da moradia em relação à margem de córregos, etc) são expressivas e estão presentes em grande número ou magnitude. Processo de instabilização em avançado estágio de desenvolvimento. É a condição mais crítica, sendo impossível monitorar a evolução do processo, dado seu elevado estágio. - Mantidas as condições existentes, é muito provável a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período chuvoso

Fonte: Ministério das Cidades (2007)

3.6 Intervenções

As possíveis intervenções em áreas de encostas é o conjunto de ações, estruturais ou não estruturais, que melhoram as condições de estabilidade e diminuem a atuação de agentes negativos, reduzindo assim o risco. Estas melhorias são potencializadas quando a avaliação das causas e a intervenção adotada consideram as condições ambientais e o modo de ocupação.

De acordo com Coutinho (2008), a adoção de intervenções para prevenir e reduzir o risco consideram as seguintes abordagens:

- elaboração de planos de intervenção estruturais integrados considerando os aspectos técnicos, econômicos e sócio-culturais;
- inclusão de obras de contenção em programas de reurbanização ou consolidação geotécnica;
- avaliação de reuso da área de risco para fins habitacionais voltados à população de baixa renda, utilizando técnicas construtivas adequadas às condições geotécnicas das encostas.

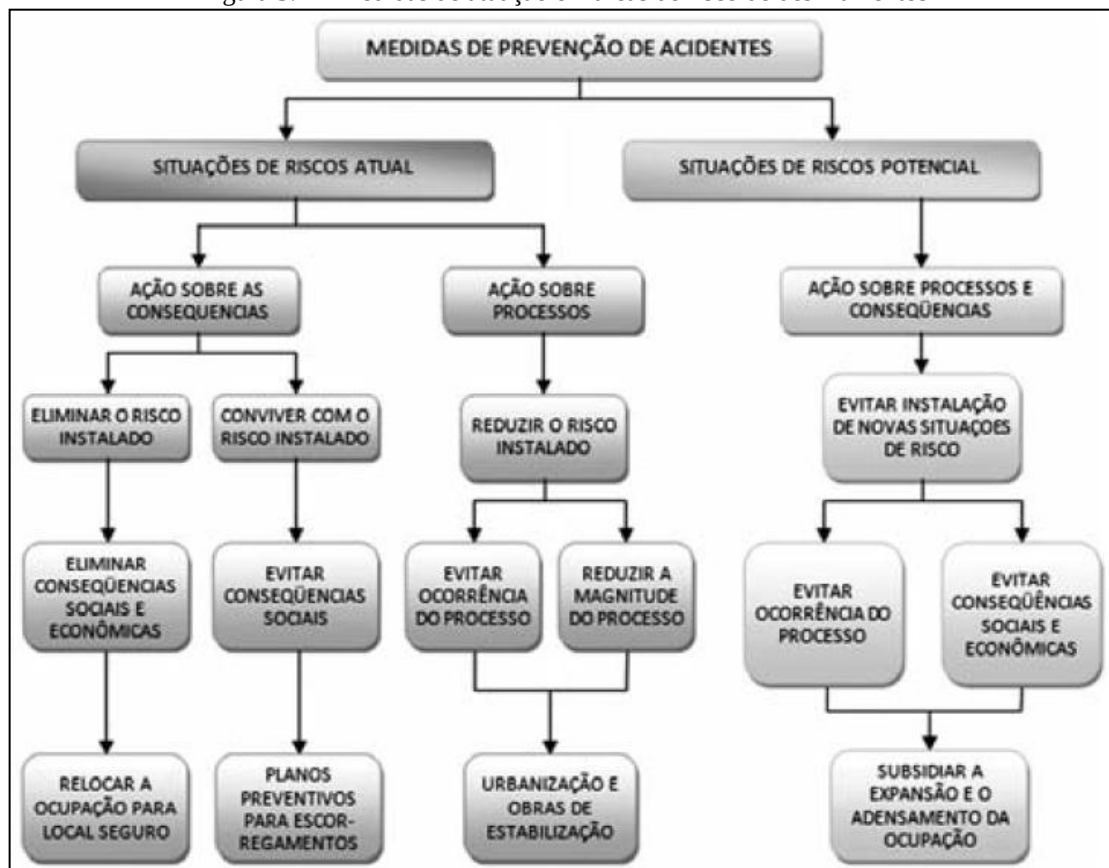
O modelo de abordagem da UNDRO (1991 apud COUTINHO, 2008), descreve que o gerenciamento de áreas de risco está formulado em estratégias que visam o conhecimento destas áreas, o planejamento para adoção de medidas estruturais e não estruturais e a disseminação do conhecimento entre os envolvidos no problema. A seguir são descritas as estratégias colocadas:

- identificação e análise de riscos;
- adoção de medidas estruturais para prevenção de acidentes e a redução dos riscos;
- adoção de medidas não-estruturais com implantação de planos preventivos de gestão de riscos para os períodos das chuvas mais intensas, monitoramento e atendimento das situações de emergência;
- informação pública e capacitação para prevenção e autodefesa.

Carvalho et al. (2007), ilustrou através da Figura 3.4 a complexidade do gerenciamento das ações de prevenção de acidentes, que de forma ampla impactam sobre os

processos e consequências dos riscos. São citadas ações conjuntas que envolvem o planejamento urbano, ações sociais e a orientação à população.

Figura 3.4 – Medidas de atuação em áreas de risco de deslizamentos



Fonte: Carvalho et al. (2007)

3.6.1 Ações não estruturais para a redução de riscos

As ações não estruturais englobam um conjunto de medidas preventivas que não envolvem obras de engenharia. Atuam intensamente de forma preventiva, alertando sobre as causas e consequências do risco. Envolvem a participação da gestão municipal e dos moradores. As medidas em geral, apresentam baixo custo de implantação e a possibilidade de serem adotadas ao longo de todo o ano (em períodos chuvosos e secos). Muitos municípios adotam ainda a elaboração e distribuição de manuais e panfletos educativos com orientações para boas práticas de ocupação das encostas, além de palestras e treinamentos, conseguindo assim conscientizar a população dos efeitos negativos das ações antrópicas. A Foto 3.1 (a) apresenta ação educativa sobre risco em escola.

Em 2010, foi elaborado o manual “Gestão e Mapeamento de Riscos Socioambientais”, elaborado pelo GEGEP com o objetivo principal de apoiar a capacitação dos agentes de Defesa Civil para desenvolverem a identificação e análise do risco dentro de

seus municípios. A Foto 3.1 (b) apresenta treinamento de agentes de Defesa Civil com aulas de campo.

Foto 3.1 (a) – Ação educativa em escola. Foto 3.1 (b) – Treinamento de agentes de Defesa Civil



Fonte: (a) e (b) – Prefeitura Municipal do Recife.

3.6.2 Ações estruturais

As ações estruturais consistem na implantação de obras de engenharia, com o objetivo de estabilizar os processos de movimentos de massa, melhorar a urbanização ou mesmo conter a massa já movimentada. O planejamento destas ações deve atentar aos aspectos técnicos, ambientais, econômicos e socioculturais. Em muitos casos, é necessária a aplicação de diferentes tipos de intervenções como drenagem, esgotamento sanitário, proteção superficial, revegetação, retaludamento de encostas e obras de contenção.

Highland e Bobrowsky (2008) colocam o seguinte:

[... para uma boa eficácia, deve-se, identificar o processo de controle mais importante que afeta a estabilidade da encosta; determinar a técnica apropriada que precisa ser suficientemente aplicada para reduzir a influência desse processo; e a aplicar ações complementares como a drenagem e o plantio de vegetação adequada.].

3.6.2.1 Obras sem estruturas de contenção

As intervenções sem o uso de obras de contenção compõem medidas que diminuem as forças indutoras do movimento de massa ou, medidas que elevam as formas que impedem o movimento.

a) Limpeza urbana

Em muitas comunidades ocorrem com frequência o lançamento de lixo nas encostas. Esse lixo comporta-se de forma a reter água, elevando assim o seu peso sobre o talude, provocando a sua desestabilização. A Foto 3.2 apresenta um caso em que uma encosta com acúmulo de lixo deslizou provocando a morte de duas pessoas, o fato foi publicado no Jornal do Commercio, em sua edição do dia 29/06/2015. A obstrução de elementos de drenagem devido ao lixo prejudica a correta condução da água provocando casos de inundação e maior infiltração no solo.

Foto 3.2 - Deslizamento de encosta com acúmulo de lixo. Local: Bomba do Hemetério-Recife.



Fonte : Jornal do Commercio (publicado em 29/06/2015)

A intervenção de limpeza urbana na remoção de lixos e entulhos de encostas, elementos de drenagem e vias de circulação, reduzem o risco de deslizamentos e inundações. É de grande importância também a conscientização da população de forma a evitar a ocorrências destes registros.

b) Retaludamento

O retaludamento compõe as atividades de terraplenagem com a realização de cortes e/ou aterros em taludes, com o objetivo de suavizar a sua geometria, possibilitando assim maior estabilização. Com este tipo de intervenção ocorre a redução das forças atuantes sobre o talude que são favoráveis a deslizamentos e/ou o aumento das forças que se opõem ao movimento. Alheiros et al. (2003) descrevem que quando associado a elementos de drenagem

e cobertura superficial, o retaludamento é uma solução eficiente e de custo reduzido. Vale destacar que em áreas ocupadas, torna-se dificultosa, ou até impossibilitada, a adoção desta medida de intervenção devido a dificuldade de manuseio de equipamentos e materiais. Wolle (1980) destaca que a atividade de remoção de parte do material do talude é um dos métodos mais antigos e simples para estabilização, pois a suavização de sua inclinação resulta na alteração do estado de tensões atuantes no maciço.

c) Proteção superficial

A primeira atividade ao ocupar uma encosta de forma desordenada é a remoção da vegetação e das camadas superficiais do solo. Este procedimento resulta na retirada da proteção natural do terreno, deixando-o desprotegido da ação da água. Assim, o solo é exposto à ação erosiva tanto pelo efeito do impacto das gotas de chuva, como pelo efeito do escoamento. A infiltração é também modificada, provocando acréscimo do volume de água infiltrada, resultando na redução das condições de estabilidade e, conseqüentemente, provocando deslizamentos.

Alheiros et al. (2003) colocam que, como o revestimento superficial tem a função de reduzir o volume da água de infiltração, fazendo, portanto, com que aumente o volume das águas de escoamento superficial, faz-se necessária a elaboração de projeto que considere a encosta no contexto da sua microbacia, buscando resolver o escoamento superficial com obras complementares de um sistema de microdrenagem, com canaletas e dissipadores de energia compatíveis com as vazões e os caminhos naturais da água. Na grande maioria dos casos, a estabilização de taludes naturais ou de corte têm nas soluções de revestimento e drenagem as respostas mais eficientes, com menor tempo de execução e menor custo.

As soluções para o revestimento podem conter materiais naturais ou artificiais, podendo sua escolha ser feita através de avaliações das características do solo, clima, topografia do terreno e condições técnico-econômicas. A definição da solução deve considerar ainda as condições de manutenção, principalmente, nos casos de plantio de vegetação.

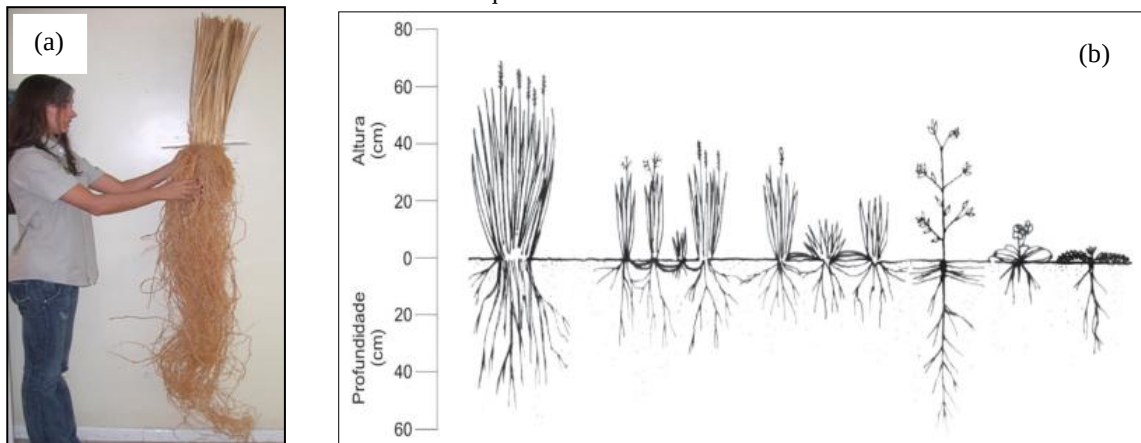
• Proteção superficial com materiais naturais

O revestimento vegetal atua de forma a conter o processo erosivo através da redução do impacto das gotas de chuva sobre o solo e através da redução da velocidade de

escoamento. O risco de deslizamento também é atenuado devido à redução da infiltração da água e, no caso de algumas espécies de vegetação, ocorre também a elevação da resistência ao cisalhamento do talude devido ao efeito das raízes.

Vários tipos de raízes podem ser encontrados entre as espécies vegetais, podendo conferir diferentes ganhos na resistência ao cisalhamento do solo. Pereira (2008) apresenta nas Figura 3.5(a) e 3.5(b) algumas das espécies de gramíneas e leguminosas, que podem ser utilizadas na proteção de taludes, destacando a importância da profundidade e a arquitetura das raízes, que poderão ter contribuição fundamental na estabilidade da área.

Figura 3.5 – (a) Raízes de capim Vetiver utilizado na proteção de taludes; (b) Espécies de gramíneas, mostrando sua arquitetura e suas raízes.



Fonte: Pereira (2008)

A escolha correta de plantas para uso em áreas degradadas, erosões e áreas instáveis contribui para a obtenção dos efeitos positivos que a revegetação pode proporcionar. Fatores como a temperatura, o regime de chuvas, a umidade relativa do ar e, o pH e a textura do solo, são determinantes para a escolha adequada da espécie a ser utilizada em cada região.

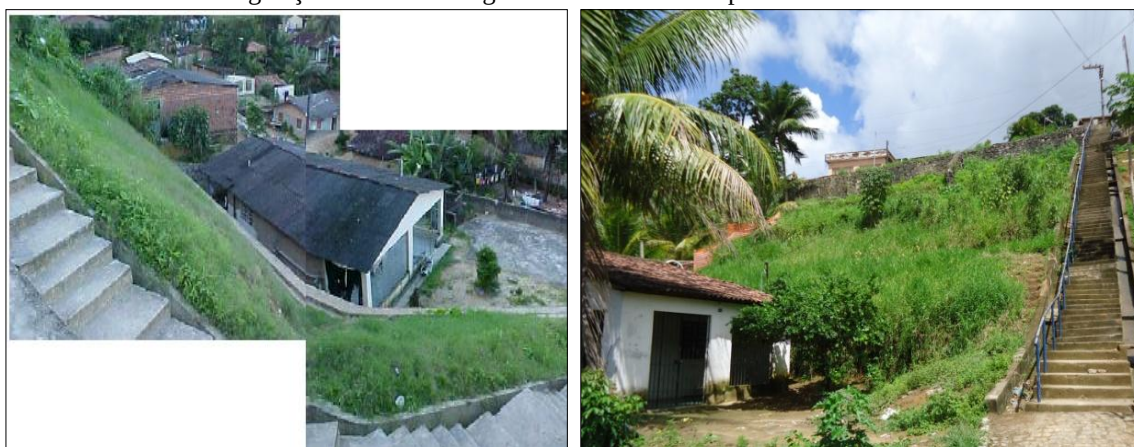
Pereira (2008) destaca os principais efeitos positivos das plantas:

- redução no transporte de sedimentos;
- aumento da taxa de infiltração da água no solo, a porosidade e os canais de sucção;
- redução da erosão pelo efeito do impacto das gotas de chuva;
- efeito de atirantamento no solo, com aumento da coesão e resistência ao cisalhamento.

A concepção de alguns projetos considera a aplicação de mais de uma espécie de vegetação na proteção de um determinado talude, isto para ter o melhor desempenho em função das características de cada uma das espécies. Esta é a chamada revegetação com o mix de plantas.

Em áreas urbanas, a presença da vegetação tem ainda o benefício de desfrutar de temperaturas locais mais amenas e ambientes mais agradáveis visualmente. As Fotos 3.3(a) e 3.3(b) apresentam exemplo de utilização de gramíneas na proteção de encostas ocupadas.

Foto 3.3 – (a) Utilização de gramíneas como proteção superficial no município de Camaragibe; (b) Manutenção de vegetação natural ao longo do talude no município de Abreu e Lima.



Fonte: (a) Santana (2006 apud SILVA, 2010); (b) Acervo da autora.

De acordo com Alheiros et al. (2003), a população dos morros não tem o devido cuidado com a manutenção da vegetação dos taludes. Os moradores alegam que a existência de vegetação nas proximidades de suas residências contribui para a proximidade de insetos e ratos. Assim, de forma errônea, a população remove a proteção vegetal. Outra prática prejudicial e muito observada nas encostas ocupadas é a plantação de bananeiras, prejudiciais à estabilidade por permitir a formação de um bulbo que se mantém sempre úmido ao redor de suas raízes.

A presença de árvores de grande porte nos taludes torna-se um fator prejudicial à estabilidade, isto porque, ocorre o efeito mecânico do tipo alavanca, proveniente da combinação da ação da gravidade e dos ventos mais fortes atuando nos caules.

• Proteção artificial

A proteção superficial dos taludes consiste na sua impermeabilização, evitando assim o efeito do impacto das gotas de chuva, bem como de seu escoamento. Com isto tem-se a

eliminação da desagregação superficial do solo, impedindo assim a ocorrência de erosão. Outro efeito benéfico é a impossibilidade de infiltração da água no talude.

Este tipo de intervenção é muito adotada nos casos de taludes com elevadas inclinações, dificultando assim a execução de grandes obras de retaludamento. Seus efeitos benéficos são potencializados quando são executadas obras complementares de drenos subsuperficiais (com o uso de barbaças) e obras de microdrenagem.

Bandeira (2003) descreve que a impermeabilização deve ser executada em toda a superfície a ser protegida, estendendo-a para além do topo do talude até o sistema de drenagem implantado na crista.

Silva (2010) destaca que poderão ser aplicadas técnicas como a impermeabilização asfáltica, a aplicação de solo-cimento, argamassa, tela argamassada, geomantas, geocélulas, lajotas, telas metálicas ou até mesmo lonas sintéticas.

Destaca-se na RMR o uso da geomanta formada por um composto de PVC que impede a passagem de água. Antes da aplicação da geomanta é preciso limpar e regularizar o terreno das encostas e abrir valas nos topos para poder cravar a geomanta no solo. O passo seguinte é chamado de proteção mecânica, que consiste no chapisco projetado, espalhando sobre a geomanta um líquido que mistura água, areia, cimento e alguns aditivos. Por fim, pinta-se toda a superfície de verde para melhorar a aparência. A geomanta é mais resistente, impermeável e durável que a lona plástica. Tem durabilidade mínima de cinco anos.

d) Drenagem

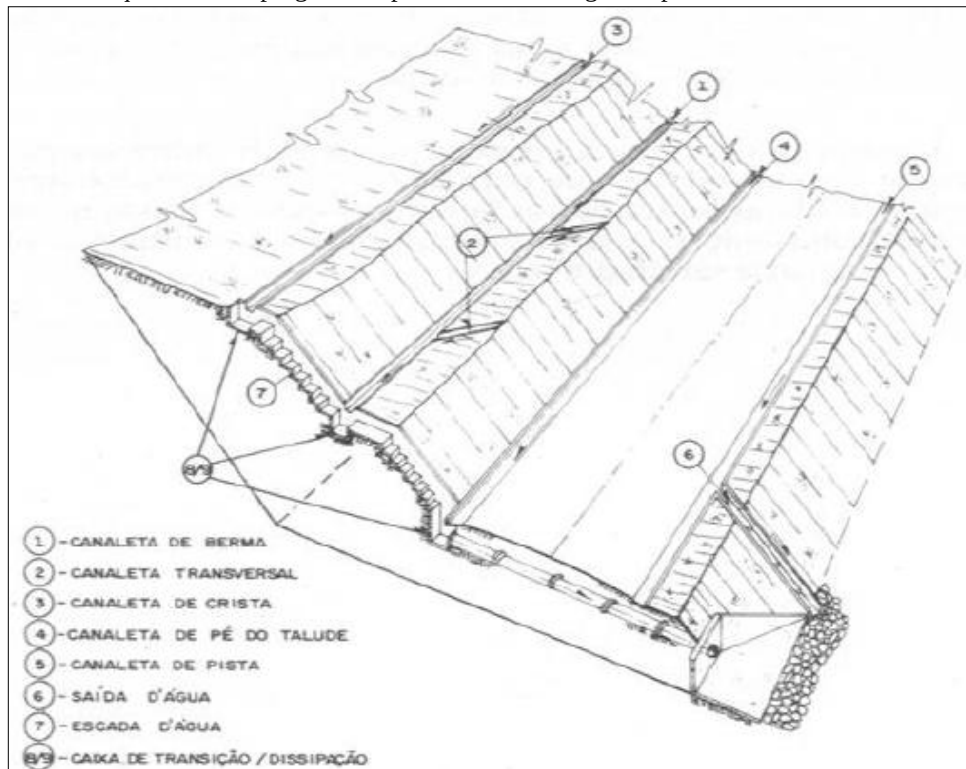
De acordo com Alheiros et al. (2003) a água é o principal agente deflagrador dos movimentos gravitacionais de massa e de transporte de massa (erosão). Este fato é fácil de comprovar ao perceber que o período chuvoso é representativo nas ocorrências de deslizamentos. A ausência de elementos de drenagem, esgotamento sanitário e as precárias redes de abastecimento clandestino contribuem com o constante lançamento de água sobre os taludes de áreas ocupadas.

O caminho preferencial do escoamento tem o relevo como determinante do seu traçado. Assim, a concepção do sistema de drenagem tem sua melhor eficiência quando se leva em consideração as características topográficas locais. Os elementos do sistema de drenagem são classificados em função de suas dimensões em microdrenagem ou macrodrenagem.

Silva (2010) descreve que o sistema de drenagem em encostas ocupadas pode ser dividido em drenagem superficial, drenagem subsuperficial ou profunda, e drenagem de estruturas de contenção.

Carvalho (1991) ao propor o sistema de drenagem em talude rodoviário, apresentou a Figura 3.6 onde são projetados, em um talude escalonado, dispositivos de drenagem superficial integrados entre si.

Figura 3.6 - Esquema do emprego de dispositivos de drenagem superficial em um talude rodoviário.



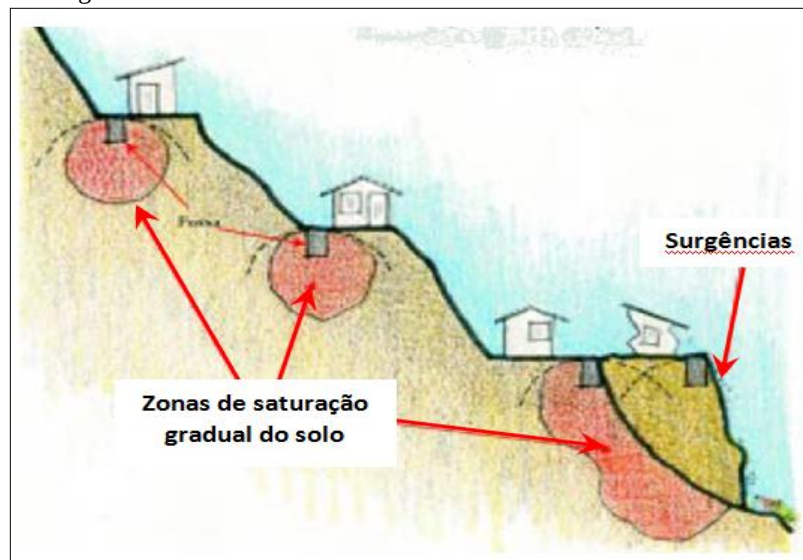
Fonte: Carvalho (1991 apud Coutinho et al. 2008)

e) Esgotamento sanitário

A ausência de esgotamento sanitário nas encostas ocupadas de forma desordenada conduz ao lançamento diário de águas servidas na superfície do solo, propiciando assim a formação de processo erosivo que constantemente desagrega a superfície do terreno. Associado a isto, a construção de fossas sanitárias é muito comum nestas áreas. As fossas são construídas sem nenhum tipo de proteção impermeabilizante, provocando a contaminação do lençol freático. A existência desta forma rudimentar de esgoto propicia a formação de bolsões de solo saturado prejudicando as condições de estabilidade dos taludes, conforme mostra o esquema da Figura 3.7.

Em Abreu e Lima, foi possível encontrar lançamento de águas servidas em canaletas construídas de forma improvisada pelos próprios moradores. Nos dias de chuva, também não existe local adequado para a água precipitada. A Foto 3.4 demonstra a inexistência de elementos de esgotamento sanitário e de drenagem na encosta visitada.

Figura 3.7 - Influência das fossas rústicas na estabilidade do talude



Fonte: Alheiros et al. (2003)

Foto 3.4 – Drenagem improvisada para destino de águas servidas e pluviais



Fonte: A autora.

A inexistência de elementos de drenagem e esgotamento sanitário na encosta apresentada, na Foto 2.5, indica local propício à ocorrência de erosão linear. A Foto 3.5 apresenta a condição encontrada em campo alguns metros a jusante do escoamento

apresentado. A população local tem ainda a dificuldade de locomoção devido à inexistência de escadarias ou rampas de acesso.

As intervenções em saneamento básico nos morros necessitam de um planejamento inicial que considere bacias e microbacias de esgotamento como unidades de coleta independentes e de tratamento descentralizado, podendo ter vida própria para sua operação, de forma a permitir que sua implantação se faça de forma parcial, por etapas.

Foto 3.5 – Formação de ravina de erosão provocada pelo lançamento inadequado de águas servidas.



Fonte: A autora.

A estruturação de sistemas ou microssistemas de esgotamento sanitário deverá compreender as soluções internas individuais de cada moradia e, a rede de coleta e destinação final dos esgotos. Este é um planejamento que envolve investimentos elevados visto à necessidade primária de instalações sanitárias mínimas para os moradores, e permitindo sua interligação a um completo sistema de esgotamento sanitário.

3.6.2.2 Obras com estruturas de contenção

Obras de contenção são todas aquelas estruturas que, uma vez implantadas na encosta, oferecem resistência ao movimento de massa ou à ruptura do talude, ou ainda, aquelas que reforçam uma parte do maciço, de modo que esta parte possa resistir aos esforços de instabilização. Exemplos comuns de estruturas de contenção são os muros de arrimo, as cortinas de estacas prancha e as paredes diafragma. Embora a geometria, as técnicas construtivas e os materiais utilizados sejam muito distintos entre si, todas as estruturas são construídas para conter a possíveis movimentos do maciço. Carvalho (1991) classifica essas obras de contenção como descrito a seguir.

a) Muros de Arrimo

São estruturas corridas de contenção de parede vertical ou quase vertical, apoiadas em uma fundação rasa ou profunda. Para o seu dimensionamento devem ser considerados o empuxo, causado pelo maciço do solo contido, e o atrito, formado entre a base da estrutura e o solo de suporte. Para resistir aos esforços de empuxo do solo e atrito da base, normalmente, a geometria da estrutura é de formato trapezoidal, com maiores dimensões na base. Podem ser construídos em alvenaria (tijolos ou pedras) ou em concreto (simples ou armado), ou ainda, de elementos especiais (Carvalho, 1991). O sistema estrutural constitui-se por paramento e fundação e, eventualmente, por elementos de reforço do maciço. Os paramentos podem ser de concreto armado, concreto ciclópico, pedra argamassada, *crib-wall*, gabião, solo-cimento compactado, solo-cimento ensacado, enrocamento, alvenaria armada etc. Alheiros et al. (2003) recomendam que para os terrenos que apresentam solo com resistência suficiente para suporte de fundação, podem-se utilizar muros rígidos (pedra rachão, concreto e outros tipos). Mas nos casos em que esta condição não seja possível, podendo ocorrer deformações, recomenda-se que sejam utilizados muros flexíveis como gabião, solo-cimento ou de pneus. Seja nos muros de arrimo do tipo rígido ou flexível, é importante a existência de elementos drenantes e filtrantes, como exemplo, filtros de areia ou brita, dreno profundo, barbacã, dreno sub-horizontal e canaleta.

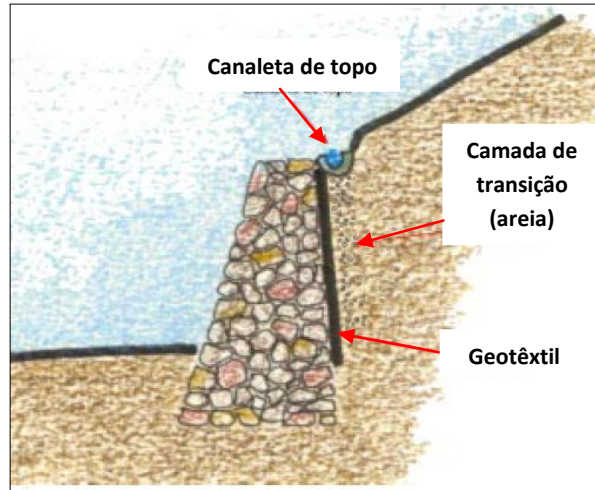
Alheiros et al. (2003) descrevem que os muros de arrimo ou gravidade são indicados em situações de solicitações reduzidas já que, para atender aos esforços elevados, passam a demandar maior espaço para a implantação da base e podendo tornar-se economicamente inviáveis, pelo alto custo de sua execução. Além disto, a escolha do tipo de muro de contenção deve considerar fatores importantes como as condições da fundação, o tipo do solo local, disponibilidade de espaço e acessos, as cargas atuantes e o custo.

b) Muro de pedra seca (sem rejunte)

Muro construído com o arranjo manual de pedras tipo rachão, a resistência do muro resulta unicamente do embricamento dos blocos de pedras (CUNHA, 1991). Este muro apresenta como vantagens a simplicidade de construção e a dispensa de dispositivos de drenagem, pois o próprio material do muro já é drenante, evitando assim pressões da água, possivelmente, presente no maciço contido. Outra vantagem é o reduzido custo de construção, especialmente quando no local existem os blocos disponíveis. Como não é utilizada

argamassa para aglomerar todos os blocos de pedra, necessita-se que os blocos tenham dimensões aproximadamente regulares, possibilitando assim menor atrito. A Figura 3.8 ilustra o modelo esquemático deste tipo de muro de contenção.

Figura 3.8 – Esquema do sistema construtivo de muro de pedra seca



Fonte: Adaptado de Cunha (1998) a partir de Alheiros et al. (2003)

c) Muro de alvenaria de pedra argamassada

Este muro é semelhante ao muro de pedra seca, sendo que as pedras são envolvidas por argamassa de cimento e areia, os blocos utilizados podem ter dimensões variadas. Esse arranjo com pedras de dimensões variadas, bem como seu rejuntamento, confere maior rigidez no muro, possibilitando seu uso em contenções de taludes com alturas de até 3 metros (ALHEIROS et al., 2003). Por ter seus vazios preenchidos por argamassa, faz-se necessária a implementação de dispositivos usuais de drenagem, tais como dreno de areia ou geossintético no tardo e tubos barbacãs para alívio de poropressões na estrutura de contenção (CARVALHO, 1991). A Foto 3.6 representa exemplo deste tipo de estrutura de contenção.

Foto 3.6 - Muro de arrimo de pedra argamassada

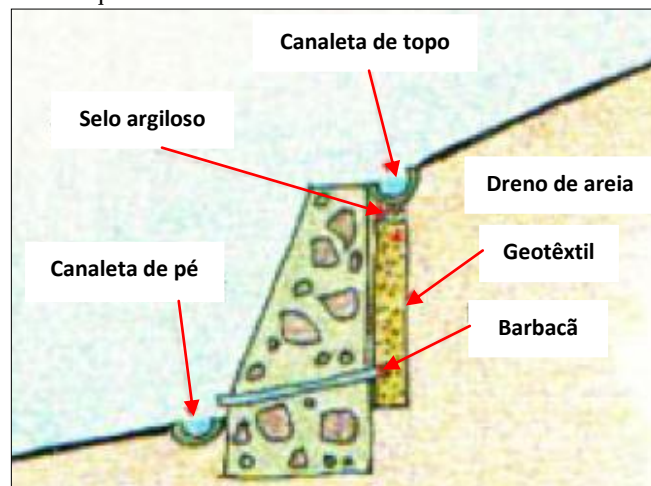


Fonte: Silva (2010)

d) Muro de concreto ciclópico

São estruturas construídas com o uso de concreto e agregados de grandes dimensões. Sua execução consiste no preenchimento de uma fôrma com concreto e blocos de rocha com dimensões variadas. Podem ser usados para contenção de taludes com altura superior a 3 metros (ALHEIROS et al., 2003). A seção transversal é geralmente trapezoidal, com dimensão da altura sendo o dobro da dimensão da base. É indispensável a execução de um sistema adequado de drenagem. A face do muro que fica em contato com o maciço pode ter sua drenagem feita através de dreno de areia e manta de material geossintético (tipo geotêxtil). Assim a água do maciço do solo é recolhida através de tubos de drenagem (barbacãs) adequadamente posicionados e conduzidos para canaletas posicionadas próximo à base do muro (CARVALHO, 1991). A Figura 3.9 apresenta modelo esquemático.

Figura 3.9 – Esquema do sistema construtivo de muro de alvenaria de pedra.



Fonte: Alheiros et al. (2003 a partir de FIDEM, 2001)

e) Muro de concreto armado

Os muros de concreto armado são estruturas mais esbeltas com seção transversal em forma de “L” ou “T” invertido que resistem aos empuxos por flexão. Apresentam a vantagem de redução de suas dimensões em comparação a outros tipos de muro, no entanto, apresentam custo elevado e a necessidade de mão de obra mais qualificada. Geralmente estão associados à execução de aterros ou reaterros, uma vez que, para sua estabilidade contam com o peso próprio e com o peso de uma porção de solo adjacente apoiada sobre a sua base, que funciona como parte integrante da estrutura de arrimo (CUNHA, 1991).

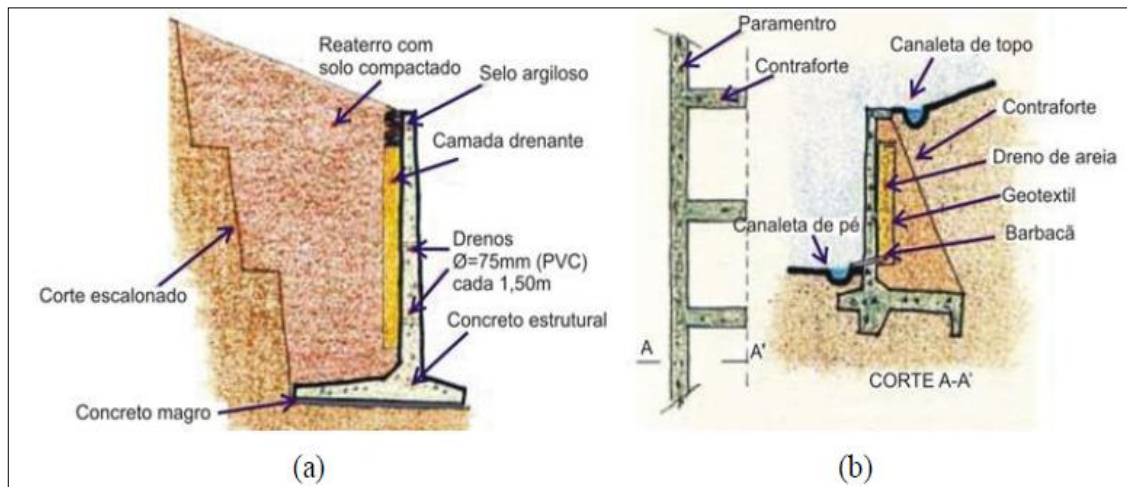
Normalmente, utilizam fundação direta, mas nos casos em que o terreno não tenha boa capacidade de suporte, poderão ser adotadas fundações profundas, a depender do projeto. Devem ser previstos dispositivos de drenagem constituídos por drenos de areia ou geotêxteis e barbacãs, para alívio da pressão da água na estrutura de contenção. Devem ser previstas juntas de dilatação, com espaçamento máximo de 20m. Estas juntas deverão ser preenchidas com neoprene ou material similar. O reaterro deve ser executado em camadas com espessuras de 0,20m, compactadas manualmente ou através de equipamento mecânico leve, de forma a evitar danos na estrutura (FIDEM, 2001 apud ALHEIROS et al. 2003). Durante a compactação do reaterro, recomenda-se o controle da umidade do solo e a realização de ensaios de densidade *in situ* para determinação do grau de compactação.

GeoRio (2000 apud Silva, 2010) descreve os principais muros de concreto armado:

- a) muro em L (ou T invertido): usualmente considerados para alturas inferiores a 6m;
- b) muro com contraforte no interior do retroaterro: os contrafortes trabalham à tração e são usados para minimizar a seção transversal de muros com alturas acima de 6m;
- c) muros com gigantes em sua face externa: os gigantes trabalham à compressão, porém este tipo de muro tem sido menos utilizado.

A Figura 3.10 apresenta exemplo de seção transversal de muro de concreto armado com base em L e muro com contraforte.

Figura 3.10 – Exemplo de seção transversal de muro de concreto armado: (a) muro com base em L; (b) muro com contraforte.



Fonte: Alheiros et al. (2003 apud SILVA, 2010)

f) Muro Gabião

Gabiões são estruturas armadas, monolíticas e permeáveis. Proveniente do italiano *gabbione*, aumentativo de *gabbia*, gabião significa gaiola. Os gabiões são formados por redes de aço zincado preenchidas com pedras de mão de dimensões entre 10cm e 20cm, não intemperizadas. O preenchimento é manual, sendo as pedras organizadas de forma a reduzir os vazios. Alheiros et al. (2003) descrevem que o índice de vazios entre as pedras deve ser cerca de 30 a 35%, pois arranjos muito frouxos podem comprometer a estabilidade do muro.

A união das caixas em campo deve ser feita de forma contínua, permitindo que todas as arestas de contato sejam fortemente unidas evitando que ocorram desprendimentos e separações. Têm a característica de alta permeabilidade e grande flexibilidade, altamente drenantes e capazes de acomodar-se a maiores deslocamentos e deformações sem comprometimento de suas funções.

É recomendável o uso de geotêxtil ou areia, na transição entre os gabiões e o material do corte ou aterro (CUNHA, 1991). Este é um procedimento de execução que evita o transporte de partículas de solo para o interior do gabião, o que poderia provocar o preenchimento dos vazios, e a redução da capacidade drenante. A Foto 3.7 apresenta um muro de gabião em construção, sendo possível visualizar o método construtivo.

Foto 3.7 – Muro gabião em construção



Fonte: NARESI (2014)

Este tipo de muro de contenção é pouco utilizado em áreas ocupadas por apresentarem o inconveniente de servir como abrigo para pequenos insetos e roedores.

g) Muro de solo-cimento ensacado

São indicados para terrenos que apresentam baixa capacidade de carga, por terem estrutura flexível. Este tipo de muro é formado por sacos de aniagem ou de geossintéticos, preenchidos por uma mistura cimento-solo da ordem de 1:10 a 1:15, em volume (LEITE, 2011). Tal mistura é colocada em sacos, com preenchimento até cerca de dois terços do volume útil do saco. Procede-se então o fechamento mediante costura manual. O ensacamento do material facilita o transporte para o local da obra e torna dispensável a utilização de fôrmas para a execução do muro. Silva (2010) destaca a facilidade de execução do muro com forma curva, podendo adaptar-se ao relevo da encosta. Sua utilização é recomendável para alturas máximas de 4 a 5m, e pode ser aplicado em áreas com solo arenoso sujeitas à erosão.

Alheiros et al. (2003) recomendam que antes de se optar pela utilização do solo-cimento, deve-se verificar o tipo de solo local e a ocorrência, nas proximidades, de jazidas adequadas. Os solos que contenham de 50% a 90% de areia resultam em solo-cimento mais econômico e durável. Os solos finos (argila) dificultam a pulverização e provocam maior consumo de cimento. Assim, recomenda-se estudo prévio para determinar a melhor proporção da mistura do solo argiloso com solo arenoso, capaz de resultar uma composição que atenda aos requisitos de economia, durabilidade e resistência mecânica. Nos casos de solo com

matéria orgânica, ocorre retardo nas reações de hidratação do cimento, o que reduz a estabilidade do solo-cimento, devendo assim estes solos ser evitados.

A Foto 3.8 apresenta muro de contenção do tipo solo-cimento ensacado, com a devida utilização de drenos. O local da foto foi o bairro de Águas Compridas, Olinda – PE.

Foto 3.8 – Muro de contenção do tipo solo-cimento ensacado.



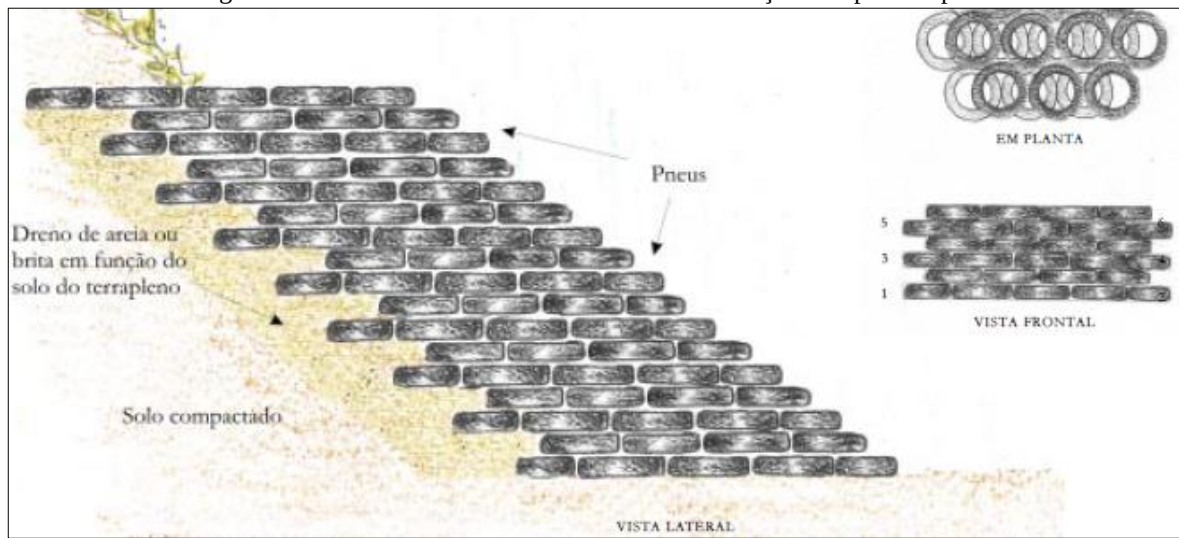
Fonte: A autora

h) Muros de solo-pneu

Os muros de solo-pneu são construídos partindo-se da montagem de camadas horizontais de pneus descartados, unidos com corda ou arame e preenchidos com solo compactado. A utilização de pneus em obras geotécnicas tem apresentado-se como uma solução que combina a elevada resistência mecânica do material com o baixo custo, comparando-se aos materiais convencionais. Acrescenta-se ainda a vantagem da destinação adequada aos pneus, contribuindo assim para a questão ecológica. Por ser um muro de peso, os muros de solo-pneus têm limitação de 5m para sua altura, e base com largura de aproximadamente 40 a 60% da altura (ALHEIROS et al., 2003). Este tipo de muro é uma estrutura flexível, comportando-se bem às deformações horizontais e verticais. Caso o solo utilizado no enchimento dos pneus seja argiloso, recomenda-se que sejam colocados barbacãs para a saída de água do dreno que poderá ser feito de areia ou de brita.

Alheiros et al. (2003) recomendam que o muro de solo-pneu deve ser recoberto com gramínea para evitar o carreamento ou erosão do solo utilizado para o enchimento dos pneus. A Figura 3.11 apresenta o sistema construtivo do muro de solo-pneu.

Figura 3.11 – Sistema construtivo de muro de contenção do tipo solo-pneu



Fonte: Alheiros et al. (2003)

Na adoção deste tipo de contenção, é importante considerar a necessidade de revestir a face exposta dos pneus. Este cuidado irá proteger o material de fogo que possa existir, além de proteger a população de possíveis cortes devido à presença de arames utilizados na amarração dos pneus.

CAPÍTULO 4

CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE ABREU E LIMA

As principais características do Município de Abreu e Lima referentes ao uso e ocupação, aspectos fisiográficos e geologia são apresentadas neste capítulo de forma a conhecer as condições de toda a área estudada. É descrito também um resumo do histórico das ocorrências de risco e as principais informações publicadas nos meios de comunicação disponíveis. Com o objetivo de entender as características do solo local, foram realizados ensaios geotécnicos em campo e em laboratório para uma área piloto, representativa dos processos atuantes no Município, o local escolhido foi o Setor 12, situado na Rua 124 do bairro Caetés I.

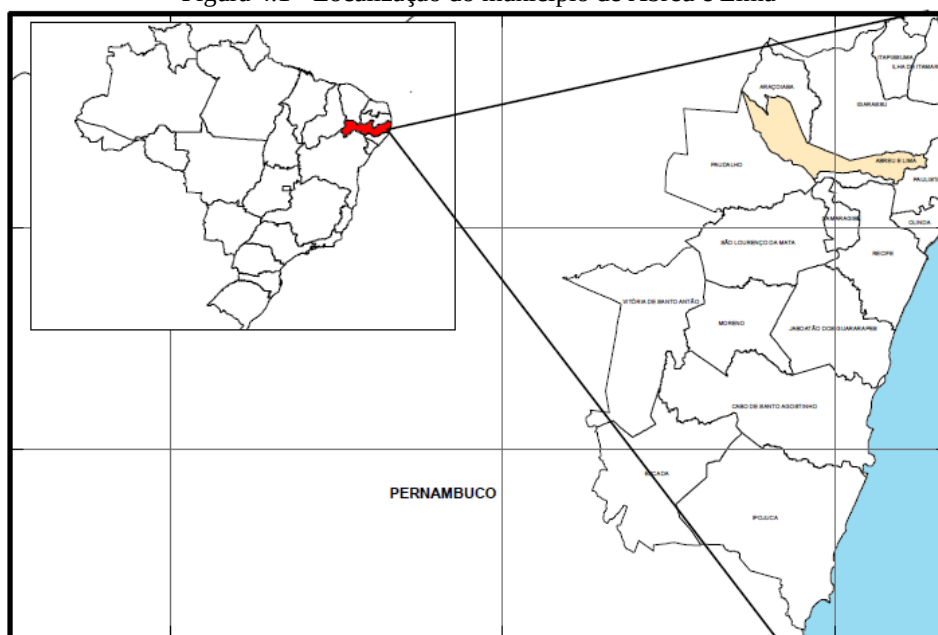
4.1 Informações gerais do Município

A área de estudo é o município de Abreu e Lima que está localizado na Mesorregião Metropolitana e na Microrregião Recife, no estado de Pernambuco. O município faz limite a norte com Araçoiaba e Igarassu; a Sul, Leste, Sudeste e Sudoeste o município limita-se com Paulista. A Oeste o município limita-se com Paudalho e a Noroeste, limita-se com Araçoiaba.

A Figura 4.1 apresenta o mapa de localização do município dentro da Região Metropolitana do Recife, e no contexto do Estado de Pernambuco, que está inserido na região do Nordeste Brasileiro.

A área que hoje é identificada como o município de Abreu e Lima, pertencia ao município vizinho de Paulista. O povoamento da área onde hoje o município está localizado iniciou-se através de Duarte Coelho. Na época, Duarte Coelho era donatário da Capitania de Pernambuco, dividindo assim a capitania em Sesmarias no ano de 1535. Neste ano, inicia-se o povoamento da Sesmaria de Jaguaribe, embrião que deu origem à cidade, antes denominada Maricota. Segundo historiadores, existem registros de que nestas terras, precisamente no Engenho Jaguaribe, teria sido travado o primeiro combate da Revolução Praieira, em 1848.

Figura 4.1 - Localização do município de Abreu e Lima



Fonte: Plano Diretor Participativo de Abreu e Lima (2007)

Abreu e Lima passou 400 anos sob o domínio político e administrativo do município de Igarassu e outros 47 anos, de Paulista. Em 1982, pela lei estadual Nº 421, Abreu e Lima foi separada de Paulista, tornando-se uma cidade autônoma. O atual nome do município é proveniente de uma homenagem ao general José Inácio de Abreu e Lima, filho de um dos principais líderes da Revolução Praieira, o padre Roma, e também um notável político, escritor e jornalista pernambucano que lutou ao lado de Simão Bolívar pela independência da Venezuela.

4.2 Uso e ocupação do solo no município de Abreu e Lima

De acordo com o IBGE-2014, Abreu e Lima possui uma população de 98.201 habitantes, distribuídos numa área de 125,991 km², tendo assim, uma densidade demográfica de 779,43 hab/km². Seu perímetro urbano definido por lei é de 2.825,91 ha, o equivalente a 22% de sua área total. O restante de sua superfície, que totaliza 9.773,19 ha, são áreas rurais e não urbanizáveis, situadas nas porções leste e oeste do seu território. O Núcleo Urbano de Abreu e Lima (Área Central) se configura como elemento divisor das áreas rurais.

4.2.1 O Plano Diretor Participativo de Abreu e Lima

Em atendimento ao que determina o Estatuto da Cidade (Lei Federal Nº 10.257/2001), o município de Abreu e Lima adquiriu o seu Plano Diretor Participativo no ano de 2007, através do estudo realizado pela Associação Politécnica de Consultoria (POLICONSULT). O produto deste trabalho funciona como um instrumento legal que garante a regulação do crescimento do município, através de um processo de planejamento sustentável da cidade.

Durante sua elaboração, a equipe técnica verificou que diante da visão estratégica e do reconhecimento e potencialidade de cada espaço, percebeu-se áreas homogêneas de oportunidades que apresentam uniformidade internas nas suas características diante do uso e ocupação do solo. Assim, através da percepção de campo, da leitura das características bióticas e antrópicas, da vocação e reconhecimento da identidade e potencialidade de cada fragmento do território analisado, o Município de Abreu e Lima foi subdividido em três áreas homogêneas, com as seguintes características: Núcleo Central (Centralidade Urbana); Área Rural de Aldeia e Área Rural de Timbó. Com foco ao objetivo deste trabalho, são apresentadas apenas as características descritas para a Centralidade Urbana.

O Núcleo Central (Centralidade Urbana) abrange a área urbana e de possível urbanização do município, delimitada pelo perímetro urbano, definido pela Lei de Uso e Ocupação do Solo, Lei nº 440 de 01 de abril de 2001. Toda a área do perímetro urbano é composta de 2.825,91 ha, sendo que 968,35ha é composta de área já ocupada (o equivalente a 34,27%). Resta assim, uma área vazia de 1.857,56 ha, das quais 913,70ha poderá ser ocupada com área urbanizável (áreas sem restrições ambientais), segundo o Estudo de Análise do Mercado de Solo Urbano na Região Metropolitana do Recife – Mercado Imobiliário II (Agencia de Desenvolvimento Municipal - FIDEM, 2003), deduzindo-se as áreas de restrições ambientais.

A Centralidade Urbana está localizada entre áreas rurais e apresenta de um modo geral, uma ocupação desordenada e de baixo padrão urbanístico e paisagístico. A área urbana de Abreu e Lima posiciona-se ao longo do importante eixo de conexão interestadual e metropolitano - a BR 101 Norte – vista como “espinha dorsal” da ocupação urbana.

Área que abrange os 12 bairros residenciais de Abreu e Lima, caracterizados por variadas densidades demográficas e, na maioria das vezes, precária infraestrutura de

saneamento ambiental. Trata-se de uma área urbana consolidada que se expandiu sobre um meio físico, composto de planícies, morros e planaltos.

A área urbana caracteriza-se pelo surgimento de bairros planejados e bairros que tiveram seu desenvolvimento com inexistência de uma ocupação ordenada. Ao longo do tempo, mesmo aqueles bairros que tiveram suas origens de forma planejada, foram, aos poucos, sendo ocupados por moradias irregulares e clandestinas em áreas públicas, tanto nos conjuntos habitacionais, como em áreas protegidas por Lei.

O município apresenta uma parcela da população de baixa renda que não dispõe de recursos financeiros para construção de suas moradias em áreas apropriadas. Assim, ao longo dos anos, parte da população ocupou áreas que apresentam problemas de infraestrutura como mostra a Foto 4.1.

Foto 4.1 – Área de ocupação desordenada no município de Abreu e Lima



Fonte: A autora.

4.2.2 Histórico de ocorrências de desastres

As ocorrências de deslizamento e erosão no Município de Abreu e Lima começaram a ser registradas quando do início da atuação da Defesa Civil no ano de 2011. Estes registros são feitos através de visitas da equipe de técnicos da Defesa Civil às áreas de risco, sendo então as informações registradas em formulários de inspeção, com o apoio de fotografias da área. Posteriormente, em escritório, estes registros são arquivados em meio digital. Estas informações foram então cedidas para o desenvolvimento desta pesquisa.

Apesar das atividades da equipe de Defesa Civil ter iniciado só no ano de 2011, observa-se que existem ocorrências registradas em anos anteriores, sendo a mais antiga registrada em 2007. Dentre as ocorrências registradas, até a data de 30/12/2015, observam-se os seguintes números: 214 registros de deslizamentos (incluindo-se aqueles de pequenas proporções); 369 vistorias em encostas; 30 solicitações para construção de obra de contenção. Em visitas às áreas de risco, percebe-se a remoção de moradias de áreas que apresentavam risco eminente. De acordo com a Defesa Civil parte dos moradores foi relocada para vila de moradias construída com o apoio do Governo Federal (localizadas nos bairros de Desterro e Matinha), e outra parte dos moradores recebe o benefício do auxílio moradia. No entanto, não foi fornecida a informação da quantidade de moradias relocadas.

Dentre as publicações em meios de comunicação relacionadas ao risco de deslizamento e erosão no Município de Abreu e Lima, destacam-se as apresentadas no Quadro 4.1:

Quadro 4.1 – Publicações em meios de comunicação relacionadas ao risco de deslizamento e erosão no Município de Abreu e Lima.

Meio de comunicação	Data do registro	Título da matéria	Assunto
Site: www.abreuelimaemacao.blogspot.com.br	04/11/2009	Mais um descaso, dos nossos representantes publicos, desde fevereiro, moradores de Caetés I temem queda de barreira	Moradores solicitam providências para contenção de erosão em encosta na Rua 129 no bairro de Caetés I. Uma casa sofreu danos materiais, e parte da rua foi destruída.
Jornal do Commercio	26/02/2011	Esgoto despeja dejetos em encostas de Abreu e Lima	Solicitação de providências para contenção da erosão do tipo ravina ocorrida na área da Rua 94 em Caetés I, sendo este processo intensificado por problemas na atuação do esgotamento sanitário. O líder comunitário apresenta-se como o representante descrevendo o problema existente.
Site www.abreuelimaemdestaque.com.br	20/07/2011	Cratera com 70m de profundidade assusta quem vive em Caetés II	População solicita providências do Poder Público para construção de obras de contenção de erosão e deslizamentos ocorridos na Av. A de Caetés II. A área é prejudicada pelo risco de transitar na via. O líder comunitário, Alfredo Leão, apresenta o problema.
Site: www.blogs.ne10.uol.com.br/jamildo	24/01/2013	Abreu e Lima inicia contenção de encostas pensando no inverno de 2014	Assinatura de ordem de serviço para construção de obras de contenção nas ruas 94, 128 e 129 no bairro de Caetés I
Site: www.abreuelima.pe.gov.br	04/02/2015	Prefeito Marcos assina ordem de serviço em Caetés II	Assinatura de ordem de serviço para construção de obras de contenção na Vila União. Nesta área existem registros de deslizamentos com danos à moradias.

Fonte: Meios de comunicação citados.

De acordo com o Diretor da Defesa Civil de Abreu e Lima, o Município utiliza também o registro de ocorrências de desastres através do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID), gerenciado pela Secretaria Nacional de Defesa Civil (SEDEC).

4.3 Aspectos fisiográficos

4.3.1 Clima

O município de Abreu e Lima localiza-se em uma área cujo clima predominante é o tropical úmido do tipo As' ou pseudotropical, segundo a classificação climática de Köppen. As temperaturas médias anuais variam entre 24°C (julho e agosto) e 27°C (fevereiro). De acordo com registros pluviométricos da Pernambucana de Águas e Clima (APAC), a precipitação pluviométrica média anual é de 1.752mm, e os meses mais chuvosos estendem-se do período de abril a agosto.

A pluviometria do município é monitorada pela APAC que utiliza pluviômetro instalado em local seguro na Rua Presidente Castelo Branco, n. 50, bairro Timbó, na localização das coordenadas UTM N 0288 485; E 9123 925. Este pluviômetro foi identificado pela APAC com o registro 198. A Figura 4.2 apresenta sua localização.

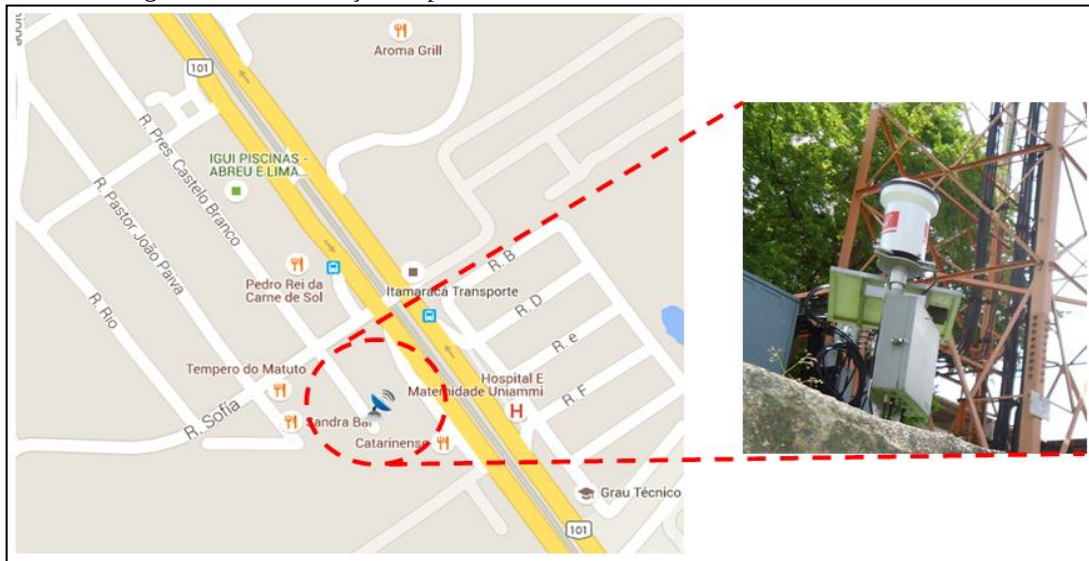
O pluviômetro APAC-198 encontra-se ativo e realiza o registro dos dados pluviométricos diários desde o mês de abril de 1994. Todos os dados registrados são disponibilizados para a população no site da APAC. De posse destes dados, foi realizado estudo pluviométrico do município, com o objetivo de melhor conhecimento do regime de chuvas. Importante ressaltar que, devido a problemas técnicos de operação deste pluviômetro, não foram considerados para o estudo aqui apresentado os dados do ano de 1998.

A Figura 4.3 apresenta a média pluviométrica anual registrada entre o período de 1995 a 2014.

A Figura 4.4 apresenta o estudo pluviométrico da série histórica com registros de pluviometria média para os meses do ano. Esta série foi obtida através do período de janeiro de 1995 a dezembro de 2014.

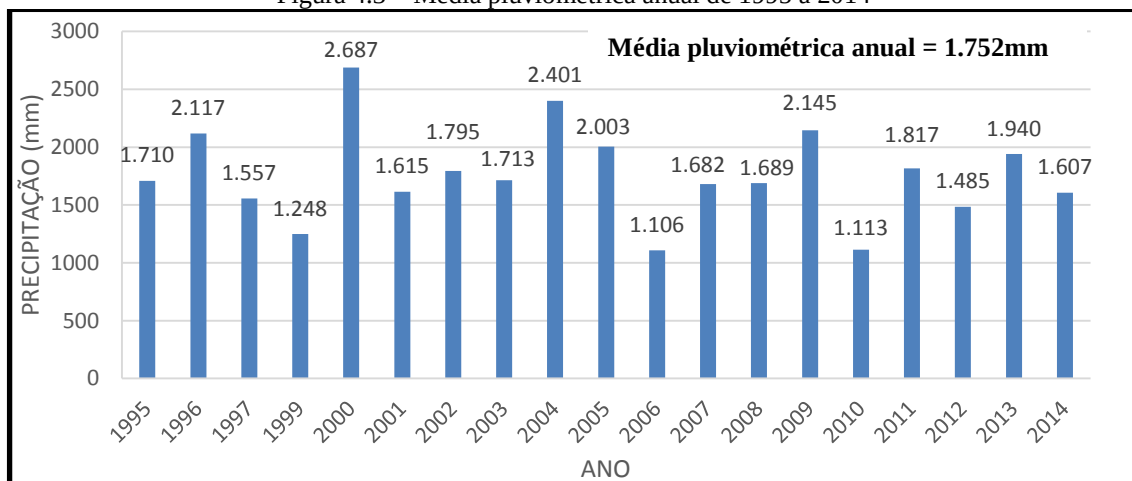
Observa-se que entre os meses de abril a agosto, há um período chuvoso concentrado, com médias mensais maiores que 150 mm. O mês de junho apresenta-se com a máxima precipitação mensal, com 384 mm de chuva.

Figura 4.2 – Localização do pluviômetro APAC-198 instalado em Abreu e Lima



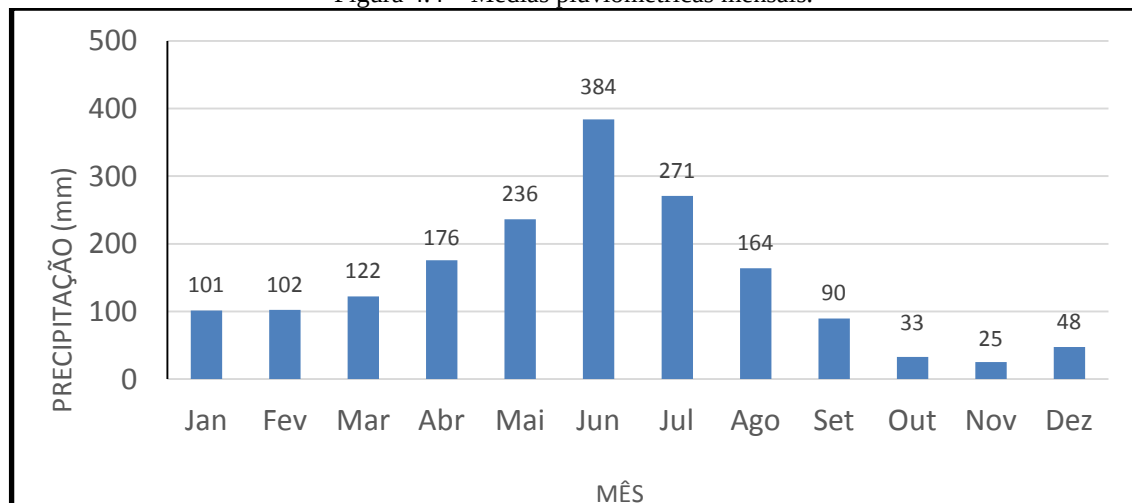
Fonte: A autora.

Figura 4.3 – Média pluviométrica anual de 1995 a 2014



Fonte: A autora, a partir de registros da APAC.

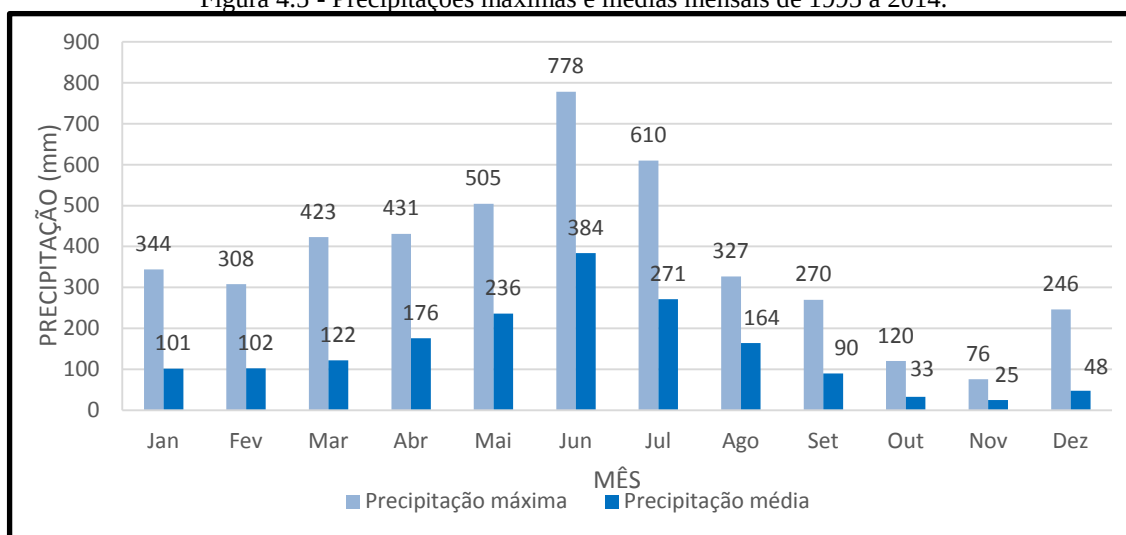
Figura 4.4 – Médias pluviométricas mensais.



Fonte: A autora, a partir de registros da APAC.

A Figura 4.5, apresenta a série histórica com registros de precipitação máxima e média para os meses do ano. Esta série foi obtida através do período de janeiro de 1995 a dezembro de 2014, excetuando-se o ano de 1998 devido a problemas técnicos na operação do pluviômetro.

Figura 4.5 - Precipitações máximas e médias mensais de 1995 a 2014.



Fonte: A autora, a partir de registros da APAC.

4.3.2 Vegetação

No município, a vegetação nativa é a Mata Atlântica, composta por florestas sub-perenifólias, com áreas de floresta sub-caducifólia. De acordo com o Plano Diretor Participativo de Abreu e Lima (2007), o município tem 34,3% da área coberta por Mata Atlântica, distribuídos na parte ocidental dos vales dos rios Barro Branco, Utinga, Botafogo bem como no tabuleiro de Chã da Cruz.

De acordo com o PDP de Abreu e Lima, as Matas de Miritiba e São Bento foram definidas como reservas ecológicas, através da Lei nº 9.989, de 13 de janeiro de 1987. A Mata de Miritiba, localizada no extremo Oeste do município, tendo acesso pela PE-27, ocupa uma área de 273,40ha, com relevo local predominante de encostas com declividade superiores a 30%. A Mata de São Bento, localizada ao Sul do Arroio Desterro, entre a BR-101 e o Rio Timbó, possui área de 109,60ha, seu relevo apresenta elevações cujas altitudes não ultrapassam 80m, com encostas de declividade predominantemente superiores a 30%.

Vestígio de Mata Atlântica é também presente na Comunidade de Córrego da Areia. A área é formada por encostas de alta declividade que margeiam os bairros de Caetés I e Caetés II. Durante a implantação destes bairros planejados, a vegetação presente nas vertentes

das encostas foram preservadas, contudo, devido à ocorrência de ocupações desordenadas, parte da vegetação foi removida.

Outra área de grande impacto para o município de Abreu e Lima é a Estação Ecológica de Caetés (ESEC), localizada dentro do território de Paulista, a Estação posiciona-se no limite territorial com Abreu e Lima, separando-se fisicamente através da Rodovia PE-18. Com área de 157,1ha de Mata Atlântica, também conhecida como “Mata de Chã Pau-de-Légua”, a área recebeu proteção ambiental devido a ações dos moradores do bairro vizinho de Caetés I, pertencente a Abreu e Lima. Em 1984, estes moradores organizaram um movimento ambientalista que protestou e contribuiu para o embargo do projeto do Governo Estadual que definia a construção de um aterro sanitário na área. A Figura 4.6 apresenta a localização da sede administrativa da ESEC, mostrando a proximidade do limite territorial com o Município de Paulista.

4.3.3 Relevô

O relevo do município de Abreu e Lima divide-se em cinco conjuntos morfológicos. De acordo com o PDP de Abreu e Lima (2007), as formas de relevo presentes no município são descritas a seguir:

- a) **Tabuleiros costeiros:** caracterizado por relevos de t6po plano, que no município apresenta variação de altitude de 40 a 50m, quando localizados próximo à planície costeira, já na porção oeste do município, estes tabuleiros apresentam elevações de até 160m. Suas vertentes apresentam alta declividade, muitas vezes com inclinações superiores a 30%. Decorrentes de deposições de solos provenientes da geologia da Formação Barreiras, em muitos casos o solo apresenta características argilo-arenosas.
- b) **Relevo plano a suave ondulado:** formado por áreas originadas da Formação Beberibe, com relevo variando de plano a suave e altitudes, normalmente, inferiores a 30m com vertentes de declividade baixa.
- c) **Colinas:** regiões com inclinações suaves e arredondadas que resultaram da conformação da Formação Gramame, com altitudes variando entre 10 e 40m, e encostas de declividade média a baixa. Estão posicionadas de forma a circundar os tabuleiros constituindo a porção inferior da vertente desses relevos, com pendentes suaves, de onde avança até o limite das várzeas e terraços fluviais. Em Abreu e Lima, as colinas encontram-se nos vales dos rios Timbó e Arroio Desterro, destacando-se nos bairros de Desterro, Timbó e Fosfato.

- d) Morros:** situados a oeste do município, são provenientes do embasamento cristalino, de forma arredondada, manto de alteração espesso, com ocorrência de afloramento rochoso.
- e) Áreas baixas dos vales fluviais:** são áreas provenientes de depósito fluvial e apresentam morfologia plana. Em Abreu e Lima, ocorrem na planície dos rios Desterro e Barro Branco.

Figura 4.6 - Vista aérea da sede administrativa da ESEC e da divisão territorial entre os municípios de Abreu e Lima e Paulista, através da Rodovia PE-18



Fonte: Modificado de CPRH (2003)

4.3.4 Hidrografia

O Município de Abreu e Lima tem seus recursos hídricos formados por fontes superficiais e subterrâneas. Seus riachos e rios são perenes, tendo sempre fluxo de água em seus leitos, mesmo que em vazões variadas, a depender do regime de chuvas. A maioria dos seus cursos d'água tem formato dendrítico, caracterizado pelo conjunto de afluentes e subafluentes que se unem. Este é um formato muito comum em planícies localizadas em regiões de clima tropical com chuvas abundantes.

- **Recursos hídricos superficiais**

De acordo com a CPRH (2001), os cursos d'água de maior importância integram as bacias dos rios Botafogo-Aratoca, Igarassu e Timbó.

A bacia do Rio Botafogo-Aratoca é a bacia que ocupa maior área do município. Nessa bacia, localiza-se o único reservatório do Litoral Norte, integrado ao sistema de abastecimento da Região Metropolitana do Recife, através da Barragem do Botafogo, que tem capacidade para armazenar 27,5 milhões de m³. Com área total de 47.679,36ha, distribuídos entre os territórios de Abreu e Lima, Araçoiaba, Itapissuma, Itaquitinga e Igarassu. Em Abreu e Lima, 50,7% do seu território é ocupado por esta bacia, abrangendo assim uma área de 6.989,78ha. O Rio Botafogo nasce a oeste de Araçoiaba, onde ali recebe o nome de Catucá. Já o Rio Aratoca nasce na vertente sul da Chã do Infimca, na extremidade norte-oriental de Igarassu (Plano Diretor Participativo – 2007).

A Bacia do Rio Igarassu distribui-se pelos municípios de Igarassu e Abreu e Lima, abrangendo uma área total de 14.341,20ha. 16,8% do território de Abreu e Lima são ocupados por esta bacia, abrangendo assim uma área de 2.312,87ha. O Rio Igarassu nasce a sudoeste da cidade homônima e deságua no Canal de Santa Cruz.

A Bacia do Rio Timbó abrange uma área total de 9.296,41ha, distribuídos nos municípios de Abreu e Lima, Paulista e Igarassu. Em Abreu e Lima, 32% do seu território é ocupado por esta bacia, o equivalente a 4.472,82ha. Seu principal rio, o Timbó, que deu o nome à bacia, nasce com o nome de Barro Branco na localidade do Tabuleiro de Araçá em Abreu e Lima. Só quando chega ao estuário no município de Paulista, o rio passa a se chamar de fato Timbó. Seu estuário possui expressiva vegetação de mangue e é considerado um dos mais férteis da região, com altos índices de produtividade primária (FIDEM, 1987).

A CPRH em seu Diagnóstico Sócio Ambiental do Litoral Norte, realizado no ano de 2001, sintetizou no Quadro 4.2 as áreas de ocupação de cada uma destas bacias dentro do município.

Quadro 4.2 – Bacias Hidrográficas de Abreu e Lima

Bacia Hidrográfica	Distribuição da superfície da Bacia em Abreu e Lima		Área de Abreu e Lima ocupada pela Bacia
	Área ocupada em Abreu e Lima	% da área total da Bacia	
Rios Botafogo-Aratoca	6.989,78 ha	14,70%	50,7%
Rio Igarassu	2.312,87 ha	16,10%	16,8%
Rio Timbó	4.472,82 ha	48,10%	32,5%

Fonte: Diagnóstico Sócio-Ambiental do Litoral Norte – CPRH/Gerco – Fevereiro 2001.

• Recursos Hídricos Subterrâneos

Em decorrência da formação geológica do território de Abreu e Lima, os aquíferos existentes são o Beberibe, o Barreiras, o Sedimentos Diversos e o Fissural ou Fraturado. Em 2005 a CPRH publicou o estudo feito para avaliar a vulnerabilidade e propor ações de proteção aos aquíferos na faixa Costeira Norte de Pernambuco. Em uma síntese dos recursos hídricos subterrâneos existentes e suas respectivas formações geológicas no município de Abreu e Lima, foi apresentado o Quadro 4.3.

Quadro 4.3 – Aquíferos e suas formações geológicas correspondentes

Formações geológicas correspondentes	Aquíferos
Formação Beberibe	Beberibe
Formação Barreiras	Barreiras
Depósitos Fluviais	Sedimentos diversos
Embasamento cristalino	Fissural ou Fraturado

Fonte: CPRH (2005)

O Aquífero Beberibe é o principal manancial subterrâneo da área Norte da Região Metropolitana do Recife, onde está localizado o município de Abreu e Lima. Por apresentar produtividade elevada, com vazões médias dos poços de $58\text{m}^3/\text{h}$, e boa qualidade da água para exploração, este é um manancial que pode ser utilizado para abastecimento humano e suprimento de indústrias.

Cuidados devem ser adotados para a manutenção da qualidade da água, principalmente em áreas onde existem ocupações irregulares, ausência de esgotamento sanitário, grandes plantações de açúcar, postos de gasolina, indústrias e depósitos de resíduos sem o devido controle de contaminação. A inexistência de esgotamento sanitário é o principal fator para contaminação do aquífero em áreas urbanas. Nestas áreas é frequente a construção de fossas rústicas sem a adoção dos devidos cuidados para evitar contaminações.

De forma aleatória e sem conhecimento do risco da contaminação, moradores acabam perfurando poços e cacimbas para obtenção de água em áreas urbanas desprovidas de esgotamento sanitário. Este fato foi observado durante trabalhos de campo no bairro Centro de Abreu e Lima, como demonstra a Foto 4.2.

O Aquífero Barreiras apresenta boa qualidade da água, com produtividade considerada média, e vazão média dos poços de $16\text{m}^3/\text{h}$. Por apresentar-se em profundidade mais elevadas, a sua exploração é pouco comum.

O Aquífero dos Sedimentos Recentes é encontrado ao longo dos rios e riachos, em poços rasos, cacimbas e cacimbões, sendo muitas vezes explorado para abastecimento de núcleos urbanos, granjas e áreas rurais. Este tipo de aquífero é muito vulnerável à contaminação por águas salinizadas e/ou poluídas, em função de sua característica de aquífero pouco profundo (com profundidades inferiores a 40m).

Foto 4.2 – Poço artesanal tipo cacimba, perfurado em área urbana sem esgotamento sanitário



Fonte: A autora.

O Aquífero Fissural ou Fraturado, proveniente da formação geológica do Embasamento Cristalino, tem baixa vazão por apresentarem sua capacidade de reserva de água muito pequena. O armazenamento da água nestes aquíferos é restrito aos espaços fendilhados e/ou fraturados existentes na rocha. Têm custo elevado de exploração e por isto apresentam-se em profundidades rasas inferiores a 20m.

4.3.5 Pedologia

A área do município de Abreu e Lima é representada por três tipos de formação dos solos: Latossolo Amarelo; Argissolo Amarelo e Chernossolo.

Neto (2010) destaca que os Latossolos Amarelos são solos desenvolvidos principalmente de sedimentos do Grupo Barreiras, que constitui a faixa sedimentar costeira paralela ao litoral. São solos bastante uniformes em termos de cor, textura e estrutura; são

profundos e muito profundos, bem drenados, com predominância de textura arenosa e argilosa. Na faixa sedimentar costeira estão situados nos terços superiores e superfícies aplanadas dos Tabuleiros.

A Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA) descreve o uso do Latossolo Amarelo na Zona da Mata de Pernambuco, principalmente com a cultura da cana-de-açúcar e em menor proporção com fruticultura. Sua baixa fertilidade natural conduz à necessidade de correção da acidez e da adubação.

Em Abreu e Lima, os Latossolos Amarelos estão presentes nas áreas dos Tabuleiros formados por sedimentos da Formação Barreiras, com textura arenosa e argilosa e com estrutura muito porosa. Nas bordas dos Tabuleiros, principalmente em áreas com declividade elevada e drenagem deficiente, este conjunto de características propicia áreas suscetíveis a processos erosivos como representado na Foto 4.3.

Foto 4.3 - Processo erosivo em Latossolo Amarelo. Local: Rua 137, Caetés I, Abreu e Lima



Fonte: A autora.

Os Argissolos Amarelos são solos desenvolvidos de sedimentos do Barreiras, mas, são também desenvolvidos de rochas cristalinas ou sob influência destas (Neto, 2010). Apresentam textura variando de arenosa a muito argilosa. Diferenciam-se dos Latossolos Amarelos no teor de argila, quantidade de macroporos e de microporos, e assim da capacidade de retenção de água nas diferentes camadas do perfil, que por sua vez, influenciam no desenvolvimento radicular (POTAFÓS, 2005).

Nos Argissolos podem ser encontrados horizontes, entre 0,20 a 0,30m de profundidade, que apresentam alta resistência mecânica à penetração, mesmo com teor de umidade próximo ao da capacidade de campo. Essa característica pedogenética, associada à redução da porosidade pelo adensamento natural, influencia direta e significativamente na diminuição da capacidade de infiltração e armazenamento de água, além de agir como impedimento físico ao desenvolvimento das raízes (PACHECO,2010).

Os Chernossolos são solos de pequena a mediana espessura, com grande concentração de matéria orgânica, cor predominantemente escura devido ao alto teor de matéria orgânica. Têm alta fertilidade natural, sendo excelentes para o cultivo.

4.4 Características geológicas

O Município de Abreu e Lima encontra-se inserido, geologicamente, na Província Borborema, sendo constituído pelos litotipos dos complexos Salgadinho e Vertentes, e dos sedimentos das formações Beberibe, Gramame, do Grupo Barreiras, e dos depósitos Flúvio-lagunares e Aluvionares (CPRM, 2005). A Figura 4.7 apresenta o Mapa Geológico de Abreu e Lima.

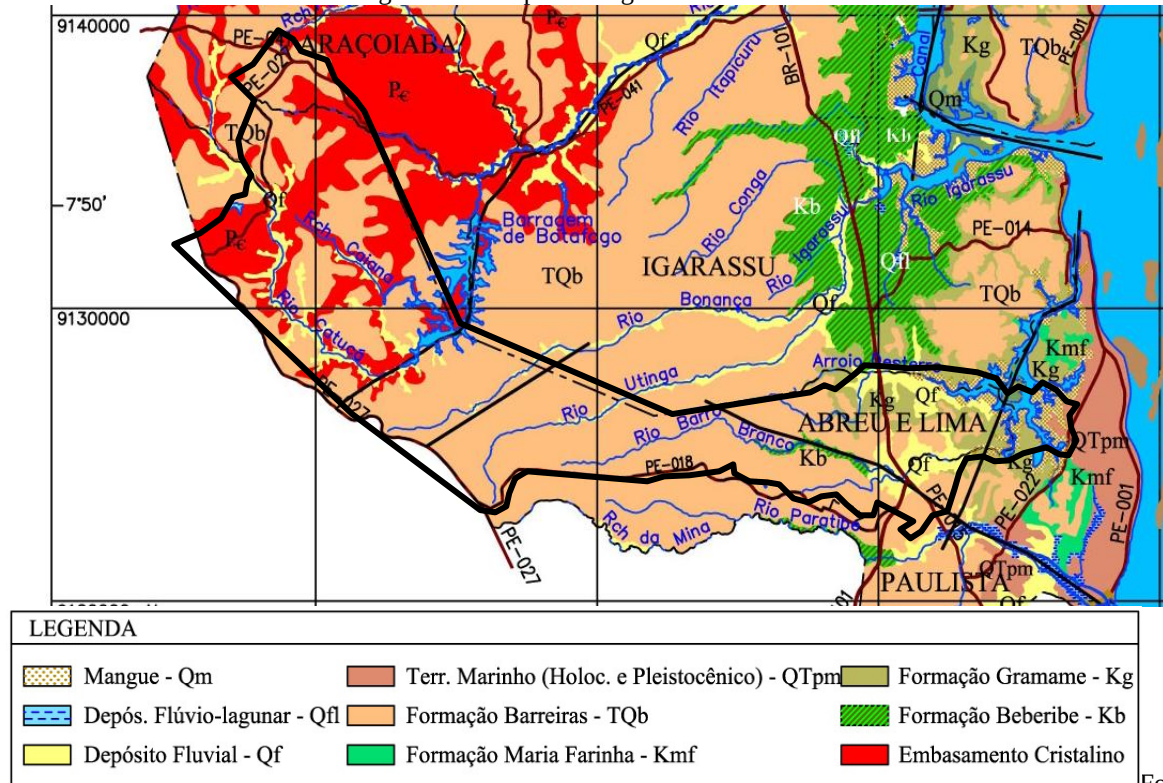
A Formação Barreiras é a unidade geológica predominante no município. São sedimentos Tércio-quaternários, de idade pleistocênica, sendo constituída por sedimentos areno-argilosos, não consolidado, proveniente de transporte fluvial. Ocorrem em toda a extensão longitudinal, sendo limitada a leste pelas formações Beberibe e Gramame. Grande parte da ocupação dispõe-se sobre estas áreas que apresentam solos areno-argilosos com alta taxa de infiltração. Somando-se a estas características tem-se ainda a deficiência na microdrenagem para as águas pluviais e servidas, e a elevada inclinação das encostas, fatores que juntos intensificam os processos erosivos na região, conforme apresenta a Foto 4.4.

O Embasamento cristalino está presente na porção oeste do município, na Área Rural de Aldeia. Formado por gnaisses, migmatitos, xistos e granitos, de idade pré-cambriana, tendo sobre ele uma espessa camada de alteração composta por solos residuais em diferentes estágios de maturação (ALHEIROS, 1998).

A espessura da camada de solo residual sobre o embasamento cristalino é variável ao longo da Região Metropolitana do Recife. Esta variação depende da decomposição dos

minerais mais frágeis, como o feldspato e micas. Fatores como a alta taxa de umidade e a temperatura favorecem o intemperismo químico acelerando assim a decomposição (ALHEIROS et al, 2003).

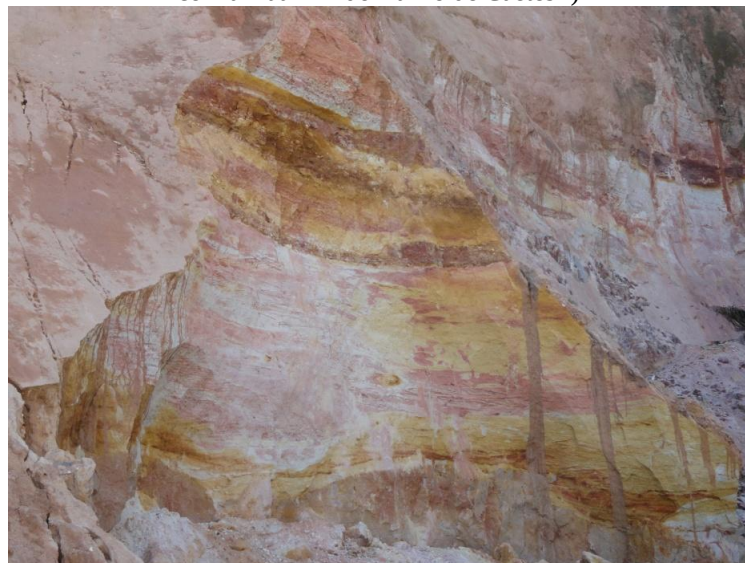
Figura 4.7 - Mapa Geológico de Abreu e Lima



Fonte:

CPRM (2005, a partir do Plano Municipal de Redução de Riscos de Abreu e Lima, 2008)

Foto 4.4 –. Sedimentos areno-argilosos da Formação Barreiras. Local: Comunidade do Córrego da Areia (limite com a Rua 124 do Bairro de Caetés I)



Fonte: A autora.

Os solos residuais são provenientes da decomposição química e/ou desintegração física da rocha mãe. Têm a característica de ter transição gradual da sua granulometria, podendo variar de solos finamente granulados para um material de solo e fragmentos angulares, variando com a sua profundidade. Esta característica diferencia-se bem do solo presente na Formação Barreiras, visto que este último tem grãos mais arredondados, devido a processos físicos sofridos durante o seu transporte.

Sobre o embasamento cristalino que compõe Abreu e Lima, ocorrem rochas sedimentares da Bacia Sedimentar Costeira Pernambuco-Paraíba, representadas na área pelas formações Beberibe e Gramame (ALHEIROS, 1998).

A Formação Beberibe aflora na porção leste do município, abrangendo parte da Área Rural São Bento e parte da Área do Centro Urbano e Expandido. Constitui-se de arenitos continentais, eventualmente conglomeráticos, intercalados com níveis argilosos. Sua coloração é, em geral, esbranquiçada a amarelada e sua textura arenosa contribui para a sua suscetibilidade aos processos erosivos (Plano Municipal de Redução de Riscos de Abreu e Lima - 2008).

Foto 4.5 – Registro de Formação Beberibe e detalhe de níveis de seixos. Local: Área Rural de São Bento



Fonte: PMRR (2008)

A Formação Gramame ocorre nos vales dos rios Timbó e Arroio Desterro (afluente do rio Timbó), nos bairros de Desterro, Timbó e Fosfato. Essa estrutura, de idade do Cretáceo Superior, tem sua deposição associada à fase marinha transgressiva, ora confina com os

depósitos da Formação Barreiras, ora com os depósitos da Formação Beberibe (PDP, 2008). Apresenta duas fácies: a fosfática, que repousa diretamente sobre os arenitos da Formação Beberibe, que no município estão associadas às jazidas de fosforita existentes no município; e uma calcárea, sobreposta à anterior e constituída por calcários areno-argilosos (Alheiros, 1998).

Descoberta em 1949, pelo Professor Paulo José Duarte, a jazida de fosforita que abrange a região de Olinda, Paulista, Abreu e Lima, e Igarassu, desencadeou intensivas investigações, tanto por órgãos governamentais, como por empresas privadas.

A área de Abreu e Lima que dispunha deste minério passou por intensa exploração rudimentar até a década de 60, no século passado. A camada de fosfato em Abreu e Lima foi intensamente explorada para uso na indústria de fertilizantes, suprimento alimentar animal e indústria farmacêutica.

A área que passou por esta exploração, foi posteriormente ocupada por moradias irregulares, surgindo assim o bairro hoje denominado de Fosfato.

A exploração de forma desordenada e não planejada, provocou mudanças no relevo e a degradação de áreas extensas. Posteriormente, houve a ocupação desordenada de famílias que construíram suas residências em áreas instáveis sofrendo assim riscos a deslizamentos, como já registrados. Alheiros (1998) destacou o risco destas ocupações, alertando que os solos oriundos das pilhas de rejeito desta exploração são bastante expansivos e plásticos, aumentando a instabilidade do local. A autora recomendou ainda evitar o crescimento da comunidade sobre esse tipo de solo.

Foto 4.6 – Formação Gramame com detalhe do rejeito de calcário produzido pela mineração



Fonte: PMRR (2008)

Depósito fluvial formados por sedimentos recentes, de origem marinha, fluvial ou mista, correlacionados com as oscilações do nível do mar ocorridas ao longo do período Quaternário. Integram a feição geomorfológica da planície costeira. Em Abreu e Lima estão mais presentes na porção leste do município, como também na extremidade oeste.

Foto 4.7 – Depósito de sedimentos de mangue em Abreu e Lima.



Fonte: PMRR (2008)

4.5 Caracterização Geotécnica de uma área piloto

A investigação geotécnica envolve a determinação da natureza e comportamento de todos os aspectos de uma determinada área e as condições ambientais que podem influenciar ou ser influenciada pelo projeto (COUTINHO e SEVERO, 2009). O conhecimento das características do solo permite a obtenção de informações necessárias à tomada de boas decisões durante as fases de avaliação, projeto e construção. Esforços significativos devem ser feitos para determinar a caracterização da área por meio de apropriadas investigações geotécnica e métodos de ensaio. Alguns casos de obra têm demonstrado que mesmo com a caracterização da área, incertezas e imprevistos podem ainda ocorrer. Uma investigação irá subsidiar o projetista de informações permitindo assim a elaboração de projetos mais adequados do ponto de vista ambiental e econômico.

Bandeira (2003) acrescenta que uma ação conjunta de intervenções em áreas de encostas requer um estudo detalhado da área, com a caracterização geotécnica dos materiais, monitoramento de níveis freáticos, através de instalação de piezômetros, análise de estabilidade de taludes, entre outros.

Com base em conhecimento das características locais de uma dada encosta, Alheiros et al. (2003) em seu Manual de Ocupação dos Morros descreve que é possível o uso e ocupação de encostas, de forma segura, apresentando inclusive capítulos destinados a expor recomendações para implantação destas ocupações.

Entre os setores de mapeamento de risco analisados no Município de Abreu e Lima, identificou-se áreas com ocorrência de processo do tipo deslizamento, erosão e a combinação de ambos. Como a presença de processos erosivos dentro do Município é expressiva, ocorrendo em muitos pontos e em grande intensidade, a investigação geotécnica aqui apresentada, tomou como escolha um setor de risco que apresenta tal processo em desenvolvimento. Vale ressaltar que, como o foco desta dissertação é o estudo de mapeamento de áreas de risco, a investigação geotécnica aqui apresentada permite conhecimento apenas preliminar das características locais.

4.5.1 Localização da área piloto

A área de estudo identificada como Setor-12 é localizada na encosta que limita a Rua 124 do bairro de Caetés I e a Comunidade do Córrego da Areia. Ao implantar os bairros habitacionais de Caetés I e Caetés II, a Companhia de Habitação Popular do Estado de *Pernambuco* (COHAB), preservou a vegetação presente nas encostas possibilitando assim a preservação de sua estabilidade e a proteção contra processos erosivos. Estas encostas apresentam inclinações elevadas (entre 18 e 31°). A comunidade do Córrego da Areia situa-se entre as encostas citadas, constituindo-se assim uma área rodeada por vertentes de inclinações elevadas. A existência de um córrego perene na área deu o nome à Comunidade. Indicada no PDP de Abreu e Lima (2007) como área não urbanizável, o local sofreu aos poucos invasões e instalação de ocupações desordenadas.

Holanda (2009) ao realizar estudos sobre a vulnerabilidade social como agente agravante para a degradação ambiental na Comunidade do Córrego da Areia, descreveu como se desenvolveu a ocupação desordenada da área:

[...] um grupo de agricultores ocupou o Córrego da Areia, erguendo habitações subnormais, passando a praticar agricultura nas encostas, com o plantio da agricultura de subsistência. Organizaram-se na Associação Comunitária dos Pequenos Agricultores dos Caetés I, II e III, que foi legalmente constituída, ficando no Sítio Córrego da Areia s/n, em Abreu e Lima -PE. Por dificuldades para acessar as linhas de crédito, se dispersaram.

Como explica Holanda (2009), em continuidade à ocupação da área, os moradores do Córrego da Areia passaram a retirar a cobertura vegetal na tentativa de aumentar os terrenos. A exploração irregular de areia do leito do Córrego da Areia e das encostas também se tornou fonte de renda para os moradores locais que revendiam o material para os comerciantes de armazéns de construção das proximidades. A autora destaca que estes fatos potencializaram a erosão no local.

Holanda (2009) comenta que a degradação ambiental decorrente do mau uso do solo, e consequente perda de solo tem comprometido a qualidade de vida dos moradores, fazendo com que alguns sofram com a perda de seus imóveis. A Foto 4.8 apresenta a retirada irregular da vegetação.

Foto 4.8 – Retirada da vegetação na área da Comunidade Córrego da Areia



Fonte: Holanda (2009)

Em visitas ao local e em conversas com moradores, foi identificado que a casa representada na Foto 4.9, sofreu soterramento devido à ocorrência de transporte de solo (erosão). A Defesa Civil do Município então conduziu os moradores da casa para outra localidade e demoliu a residência, para evitar nova ocupação.

A Figura 4.8 apresenta casos de erosão ocorridos na encosta que limita o bairro de Caetés I e a Comunidade Córrego da Areia. De acordo com moradores locais, o solo transportado pelo processo erosivo provocou assoreamento do Córrego da Areia, provocando inclusive a mudança do seu curso natural. A casa indicada na Figura 4.8 sofreu soterramento parcial provocado pelo solo que foi transportado da ravina indicada. Esta casa encontra-se apresentada também na Foto 4.9.

Foto 4.9 – Extração irregular de areia. A casa indicada na foto foi posteriormente soterrada por erosão



Fonte: Holanda (2009)

Figura 4.8 – Exemplo de áreas de ocorrência de processo erosivo.



.Fonte: Modificado de Google Earth Pro (imagem de Junho/2015)

Caso similar a este foi registrado na pesquisa de Bandeira (2003), na área do Córrego do Desastre em Camaragibe – PE. A autora explica que nesta região, os morros são constituídos pela Formação Barreiras, de fácies arenosa de canal fluvial. A área sofre com a rápida remoção de sedimentos/solos nas encostas, seja para a exploração de material, seja para a implantação de casas, expondo assim o solo à erosão. A Foto 4.10 apresentada por Bandeira (2003) ilustra o caso ocorrido.

Foto 4.10 – Erosão ocorrida no Córrego do Desastre, Camaragibe – PE



Fonte: Bandeira (2003)

Bandeira (2003) explica que na área apresentada na Foto 4.10, os morros constituídos pela Formação Barreiras, de fácies arenosa de canal fluvial, mostram um padrão erosivo diferenciado, de forma mais brusca. Isto porque os sedimentos fluviais arenosos e inconsolidados ficam expostos em taludes subverticais, extremamente instáveis para materiais arenosos.

4.5.2 Coleta de amostras de solo

Para conhecimento do solo local, foi realizado um perfil a partir de um corte já existente, onde foram coletadas amostras deformadas para a caracterização física. O perfil apresentou uma camada de areia siltosa de 0,10m de espessura, seguida de camadas homogêneas de areia argilosa, até a profundidade de 4,00m (final do perfil). Amostras indeformadas de solo foram coletadas para a realização dos ensaios Inderbitzen, cisalhamento direto, permeabilidade no Tri-flex 2 e desagregação. A Foto 4.11 apresenta a coleta de amostra indeformada tipo bloco. O local onde foi realizado o perfil do solo e a coleta das amostras está indicado na Figura 4.8.

Foram coletados dois blocos de amostras indeformadas, sendo um a profundidade de 0,50m e outra na profundidade de 1,50m.

Foto 4.11 - Coleta de amostra indeformada



Fonte: A autora.

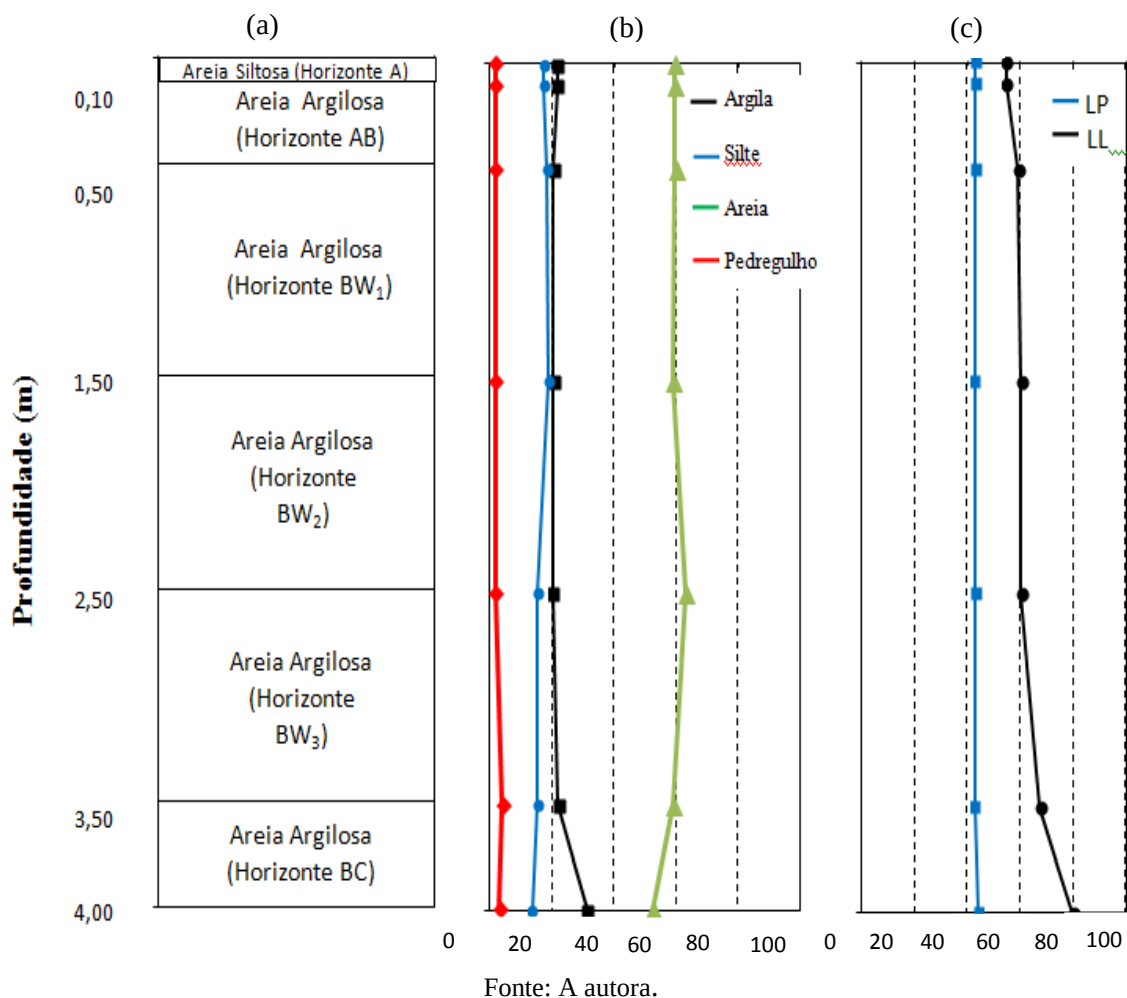
4.5.3 Caracterização física

A Figura 4.9 apresenta o perfil do solo encontrado e a indicação das frações de solo e limites de consistência obtidos. Com a realização dos ensaios de granulometria e limites de consistência, foi possível classificar o solo através da classificação unificada (USCS), obtendo-se assim solo do tipo SM (areia siltosa) para a profundidade de 0 a 0,10m; e SC (areia argilosa) para a profundidade de 0,10m a 4,00m (fim do perfil).

Os limites de consistência (LL e LP) indicam a influência dos finos argilosos no comportamento do solo. Com o objetivo de se obter a atividade da fração argila, determinou-se ainda o Índice de Atividade (IA), expresso pela razão entre o Índice de Plasticidade (IP) e o percentual da fração argila. A literatura geral apresenta que a argila presente num solo é considerada normal quando seu índice de atividades situa-se entre 0,75 e 1,25. Quando o índice é menor que 0,75, considera-se a argila como inativa, e quando o índice é maior que 1,25, ela é considerada ativa. Assim dentre as amostras analisadas, todas apresentaram IA menor que 0,75, sendo consideradas então inativas.

O Quadro 4.4 apresenta o resumo dos resultados obtidos nos ensaios de caracterização, com a indicação dos Limites de consistência, percentual obtido nas frações granulométricas e classificação unificada USCS.

Figura 4.9 – (a) Perfil do solo; (b) indicação das frações de solo; (c) limites de consistência



Fonte: A autora.

Quadro 4.4 – Resumo da caracterização física do solo coletado em um perfil de sondagem

Amostra coletada	Prof. (m)	Limites de consistência			Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Pedreg (%)	Classe USCS	Índice de atividade IA
		LL (%)	LP (%)	IP (%)						
Am. 01	0 a 0,10	27,3	21,5	5,8	21,6	17,2	59,4	1,8	SM	0,27
Am. 02	0,10 a 0,50	29,5	21,5	8,0	20,4	18,2	59,7	1,7	SC	0,39
Am. 03	0,50 a 1,50	30,1	21,4	8,7	20,5	18,9	59,0	1,6	SC	0,42
Am. 04	1,50 a 2,50	30,0	21,6	8,4	20,3	15,2	62,9	1,6	SC	0,41
Am. 05	2,50 a 3,50	33,6	21,4	12,2	22,0	15,3	58,8	3,9	SC	0,55
Am. 06	3,50 a 4,00	39,8	22,1	17,7	31,3	13,5	52,3	2,9	SC	0,57

Fonte: A autora.

Ensaio Sedimentométrico Comparativo (SCS)

Com o objetivo de avaliar a dispersibilidade dos solos argilosos, foram realizados também ensaios sedimentométricos comparativos (SCS), conforme apresenta a Foto 4.12. Este é um ensaio semelhante ao de granulometria, descrito na norma ABNT NBR 7181, porém não utiliza a agitação mecânica nem o agente dispersante (defloculante) no procedimento de sedimentação. A razão de dispersão do solo é calculada através da Equação 4.1:

$$RD = \frac{\% < 0,005 \text{ mm sem defloculante (SCS)}}{\% < 0,005 \text{ mm com defloculante}} \times 100 \quad (\text{Equação 4.1})$$

Sendo:

A = porcentagem, em massa, de partículas <0,005mm sem defloculante e sem agitação mecânica;

B = porcentagem, em massa, de partículas <0,005mm com defloculante e com agitação mecânica.

Araújo (2000) apresenta uma proposta para avaliação da erodibilidade em função da porcentagem de dispersão da seguinte forma: erodibilidade média (20%<RD<25%), erodibilidade alta (25%<RD<50%) e erodibilidade muito alta (50%<RD).

Foto 4.12 – Realização de ensaios Sedimentométrico Comparativo (SCS)



Fonte: A autora.

O Quadro 4.5 apresenta os resultados obtidos para os ensaios sedimentométricos comparativos. De acordo com a classificação de ARAÚJO (2000), os resultados indicam que as amostras de solos não são erodíveis.

Quadro 4.5 – Resumo dos ensaios sedimentométricos comparativos.

Amostra coletada	Prof. (m)	% argila (< 0,005mm) Sem defloculante	% argila (< 0,005mm) Com defloculante	% RD
Am. 01	0 a 0,10	0,29	27,37	1,1%
Am. 02	0,10 a 0,50	0,17	24,93	0,7%
Am. 03	0,50 a 1,50	0,15	22,78	0,7%
Am. 04	1,50 a 2,50	0,18	22,60	0,8%
Am. 05	2,50 a 3,50	0,16	21,98	0,7%
Am. 06	3,50 a 4,00	0,15	33,59	0,4%

Fonte: A autora.

As curvas granulométricas dos ensaios realizados sem o uso de defloculante comparadas com as curvas granulométricas dos ensaios realizados com o uso do defloculante são apresentadas nas Figuras 4.10 (a) e (b).

Figura 4.10 (a) – Curvas granulométricas do solo coletado em um perfil de sondagem (Prof. 0,0 a 1,50m)

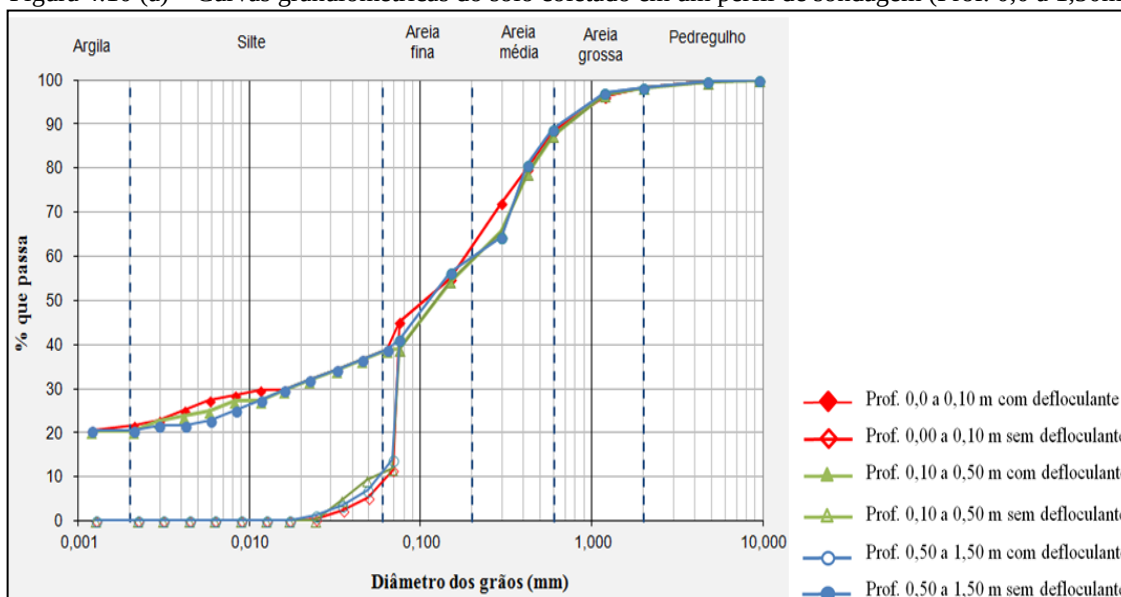
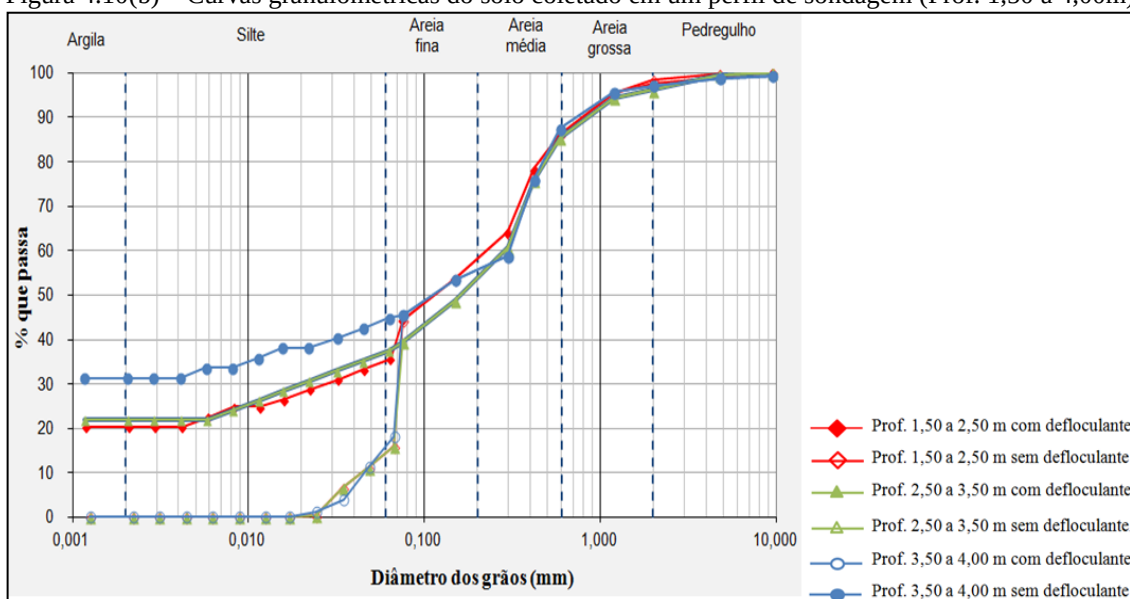


Figura 4.10(b) – Curvas granulométricas do solo coletado em um perfil de sondagem (Prof. 1,50 a 4,00m)



Ensaio Inderbitzen

Com o objetivo de traçar o gráfico da perda de solo ao longo do tempo sob uma dada vazão de escoamento superficial, foi tomada amostra indeformada de solo à profundidade de 0,50m, onde foram moldados corpos-de-prova que foram então submetidos ao ensaio Inderbitzen. Os corpos-de-prova foram ensaiados em diferentes condições de umidade: umidade natural; seca ao ar durante 72 horas; e saturada por 24 horas. De forma comparativa

com a realidade de campo, foi adotada a inclinação da rampa de ensaio igual à inclinação da encosta estudada: 30°. As amostras de solo foram então submetidas ao escoamento superficial de água a uma vazão de 100ml/s. A Foto 4.13 apresenta registro da realização do ensaio e as devidas anotações realizadas.

Foto 4.13 – Realização de ensaio Inderbitzen



Fonte: A autora.

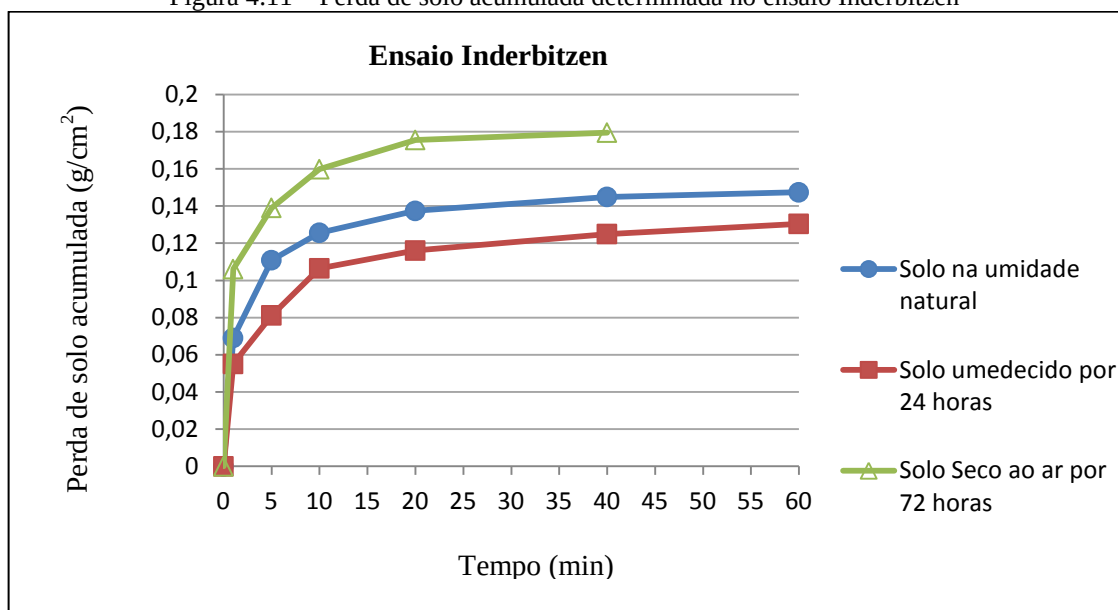
Para melhor conhecimento das condições de suscetibilidade do solo à erosão, Meira (2008) e Lafayette (2006), realizaram ensaios em semelhantes condições de umidade das amostras de solo, contudo com variadas condições de inclinação de rampa e vazão de escoamento superficial. Por não ser foco desta pesquisa, se adotou nos ensaios aqui apresentados apenas uma condição de escoamento superficial e inclinação de rampa.

Meira (2008) realizou ensaios em três diferentes inclinações da rampa (10°, 18° e 30°), com vazões variadas de 70 ml/s, 100 ml/s e 170 ml/s, concluindo que a inclinação da rampa e perda de solo estão interligadas entre si, assim como também a vazão e a perda de solo. Quanto maior for a inclinação maior será a velocidade com que a água irá percorrer o solo, conseqüentemente, maior será o volume carregado devido a força erosiva, concluiu Meira (2008). Nishyama (1995) comenta que o perfil da encosta é fator importante para determinação da trajetória e velocidade do escoamento, impactando assim no processo erosivo. A Figura 4.11 apresenta o gráfico obtido referente à perda de solo acumulada (em g/cm²) por tempo de ensaio (minutos) para amostras indeformadas submetidas a escoamento superficial de vazão igual a 100ml/s.

É observado no gráfico apresentado na Figura 4.12 que até aproximadamente 5 min há uma rápida perda de solo, apresentando-se de forma mais acentuada, e que ao longo do

tempo a perda do solo tende a ser mais reduzida. Este formato que se cria ao gráfico é similar à curva típica apresentada por Fácio (1992), assemelha-se também aos resultados encontrados por Meira (2008) em estudos realizados em áreas de geologia proveniente da Formação Barreiras no bairro do Ibura, Recife-PE.

Figura 4.11 – Perda de solo acumulada determinada no ensaio Inderbitzen



Fonte: A autora.

Percebe-se que é significativo o aumento da perda de solo para a condição da amostra seca ao ar por 72 horas, em relação à condição de umidade previamente umedecida e umidade natural. Este fato foi também observado por Meira (2008) e Lafayette (2006), em solos da Formação Barreiras. Segundo Carvalho et al., (2001) antes da precipitação e do fluxo superficial, o solo encontra-se normalmente no estado não saturado e, portanto submetido a forças capilares e/ou de sucção. Neste caso o modo como se dá a saturação poderá propiciar o desprendimento e a desagregação das partículas de solo, aumentando assim nesta fase a perda de solo. Durante a realização do ensaio com o uso da amostra previamente seca ao ar, logo após a obtenção da pesagem da perda de solo aos 40min de ensaio, ocorreu a impossibilidade de continuação do ensaio devido ao desprendimento da amostra de solo do tubo de apoio. Este fato ocorreu devido à excessiva perda de solo, dificultando o contato entre a amostra de solo e as paredes do tubo de apoio, conforme apresenta a Foto 4.14.

Foto 4.14 – Amostra de solo após realização de ensaio Inderbitzen (amostra seca ao ar por 72 horas)



Fonte: A autora

Ensaio de permeabilidade com aparelho Tri-Flex 2

Nesta pesquisa os valores da condutividade hidráulica em laboratório foram determinados a partir do ensaio utilizando o permeâmetro de parede flexível (TRI FLEX 2). Foram tomadas amostras indeformadas de solo para realização dos ensaios. A saturação do corpo de prova foi obtida com aplicação de contra pressão de 100 kPa. Os parâmetros adotados foram: pressão confinante de 116 kPa; pressão na base de 150 kPa e pressão no topo da amostra de 140 kPa. O Quadro 4.6 apresenta o resumo dos resultados obtidos para a permeabilidade no aparelho Tri Flex 2.

Quadro 4.6 – Resultados dos ensaios de condutividade hidráulica em laboratório

Profundidade (m)	Condutividade hidráulica K_{fs} (m/s)
0,5	$2,35 \times 10^{-5}$
1,5	$3,76 \times 10^{-5}$

Fonte: A autora.

Ensaio de Condutividade Hidráulica Guelph

De acordo com Meira (2008), a infiltração da água na encosta pode ser influenciada por alguns fatores, que podemos dividi-los: em internos, que são as propriedades físicas do solo da encosta e da água que a percolará, superficiais, que são as árvores e casas localizadas

no local afetando o curso natural da água e antrópicos, que são o revolvimento do solo através de cortes e aterros para a construção de moradias. Cada um destes fatores, isolado ou conjuntamente, pode impactar consideravelmente a condição de infiltração da água no solo.

O conhecimento da condutividade hidráulica dos solos com a utilização do permeâmetro Guelph permite a obtenção da condutividade hidráulica nas condições reais de campo. De forma a conhecer a condutividade hidráulica da área de estudo foram realizados dois ensaios de permeabilidade, conforme apresenta a Foto 4.15. Esses ensaios foram realizados em um ponto da encosta, nas profundidades de 0,5m e 1,5m.

Foto 4.15 – Realização de ensaio de condutividade hidráulica com equipamento Guelph.



Fonte: A Autora.

Os resultados dos ensaios de permeabilidade e das umidades iniciais estão apresentados resumidamente no Quadro 4.7.

Quadro 4.7 – Resultados dos ensaios de condutividade hidráulica em campo

Profundidade (m)	Condutividade hidráulica K_{sat} (m/s)	Umidade natural (%)
0,5	$1,85 \times 10^{-5}$	9,1
1,5	$4,32 \times 10^{-5}$	10,7

Fonte: A autora.

Os resultados encontrados em laboratório apresentaram-se coerentes com os valores encontrados nos ensaios realizados com o permeâmetro Guelph, ambos apresentaram permeabilidade da ordem de 10^{-5} m/s indicando uma alta permeabilidade.

Meira (2008) durante realização de campanha de ensaios de permeabilidade em campo e laboratório, comparou os resultados obtidos para a área do Ibura, Recife-PE, com os demais resultados já estudados para a Formação Barreiras na Região Metropolitana do Recife, e apresentados por Coutinho e Silva (2005); Lafayette (2000 e 2006); Lima (2002). De forma a comparar os resultados obtidos na área de estudo aqui apresentada com os demais resultados obtidos na RMR, é então colocado o Quadro 4.8.

Quadro 4.8 – Valores dos coeficientes de permeabilidade de solos da Formação Barreiras na RMR

Referência	Local	Permeabilidade (m/s)		Tipo de ensaio
		“in situ”	Laboratório	
Coutinho et al. (1999)	Recife, PE	$4,8 \times 10^{-5}$	---	Guelph
Lafayette (2000)	Recife, PE	$2,5 \times 10^{-5}$	$7,6 \times 10^{-5}$	Guelph e Triflex
Lima (2002)	Recife, PE	2,26 a $5,5 \times 10^{-7}$	---	Guelph
Lafayette et al. (2005)	Cabo, PE	4,03 a $8,9 \times 10^{-6}$	---	Guelph
Silva et al. (2005)	Camaragibe, PE	$1,2 \times 10^{-6}$ a $3,6 \times 10^{-7}$	$1,2 \times 10^{-6}$ a $4,8 \times 10^{-7}$	Guelph e Triflex
Silva (2007)	Camaragibe, PE	1,2 a $7,3 \times 10^{-6}$	1,2 a $4,8 \times 10^{-6}$	Guelph e Triflex
Meira (2008)	Ibura-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
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
Magalhães (2013)	Encosta Alto do Pr. Cícero Camaragibe-PE	-	$5,4 \times 10^{-7}$ a $9,2 \times 10^{-7}$	Triflex
Presente pesquisa	Córrego da Areia, Abreu e Lima - PE	$1,85$ a $4,32 \times 10^{-5}$	$2,35$ a $3,76 \times 10^{-5}$	Guelph e Triflex

Fonte: Modificada de Coutinho e Severo (2009)

Ensaio de desagregação

O ensaio de desagregação “*slaking test*” é um ensaio de erodibilidade executado com o objetivo de se observar o comportamento relativo de uma amostra de solo, ao ser submerso em água. No procedimento mais freqüente essa imersão da amostra é gradual, com observações e registros do comportamento do solo a cada etapa. As amostras foram moldadas com arestas de 5 cm em duas situações distintas de umidade: secas ao ar por um período de 72 h e na umidade natural. As amostras são dispostas sobre uma pedra porosa e submetidas a um processo lento de submersão, de acordo com as seguintes etapas:

- a) água destilada na base por 30 minutos;

- b) água destilada a 1/3 da altura da amostra durante 15 minutos;
- c) água destilada a 2/3 da altura da amostra, durante 15 minutos;
- d) submersão total da amostra por 24 horas.

Foi adotado o critério de Holmgren e Flanagan (1977) para classificar a reação do solo à inundação: sem resposta, abatimento ou desintegração, fraturamento ou expansão, dispersão ou nuvem coloidal.

Em alguns relatos o ensaio de desagregação tem sido indicado como critério qualitativo na investigação da erodibilidade dos solos, Brasil (1979). Fonseca (1981) propõe o uso da velocidade de desagregação, como índice classificatório para a erodibilidade dos solos superficiais em taludes. A Foto 4.16 apresenta as amostras de solo submetidas ao ensaio na umidade natural, apresentado-se parcialmente desagregadas na etapa final do ensaio.

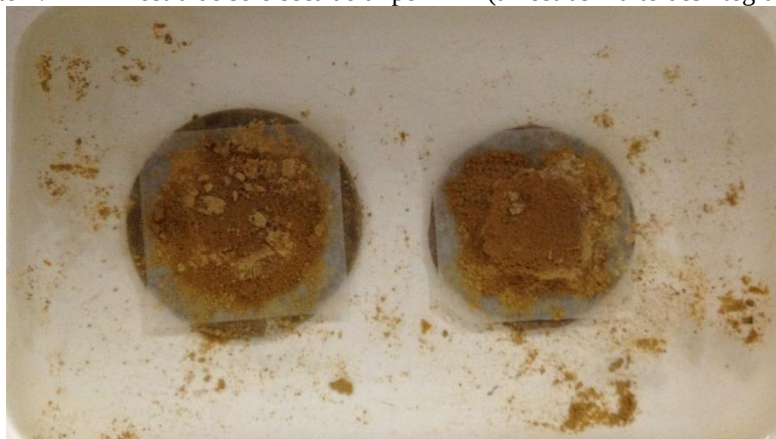
Foto 4.16 – Amostra de solo com umidade natural (amostras parcialmente desintegradas)



Fonte: A autora.

A Foto 4.17 apresenta as amostras de solo submetidas ao ensaio após terem sido secas ao ar, durante 72 horas, apresentado-se muito desagregadas na etapa final do ensaio.

Foto 4.17 – Amostra de solo seca ao ar por 72 h (amostras muito desintegradas)



Fonte: A autora.

Ensaio de cisalhamento direto

Este ensaio avalia a resistência ao cisalhamento dos solos, sendo esta definida como a máxima tensão de cisalhamento que o solo pode suportar sem sofrer ruptura, ou a tensão de cisalhamento do solo no plano em que a ruptura estiver ocorrendo. Nos ensaios aqui adotados foi utilizado o critério de Mohr-Coulomb.

Embora este ensaio apresente algumas limitações, tais como: plano de ruptura pré-determinado, que nem sempre corresponde ao plano de maior fraqueza; e a impossibilidade de medição das poro-pressões; por outro lado, tem sido de amplo emprego no meio geotécnico face a sua simplicidade (SOUZA NETO, 1998 apud BANDEIRA, 2003).

O ensaio foi realizado através da prensa de cisalhamento direto convencional produzida pela Ronald Top S/A, com sistemas de cargas verticais, através de peso em pendural. As leituras das deformações verticais e deslocamento horizontal foram realizadas através dos extensômetros da marca Mitutoyo com sensibilidade de 0,01mm; e as forças horizontais aplicadas aos corpos de prova foram determinadas através de um anel de carga.

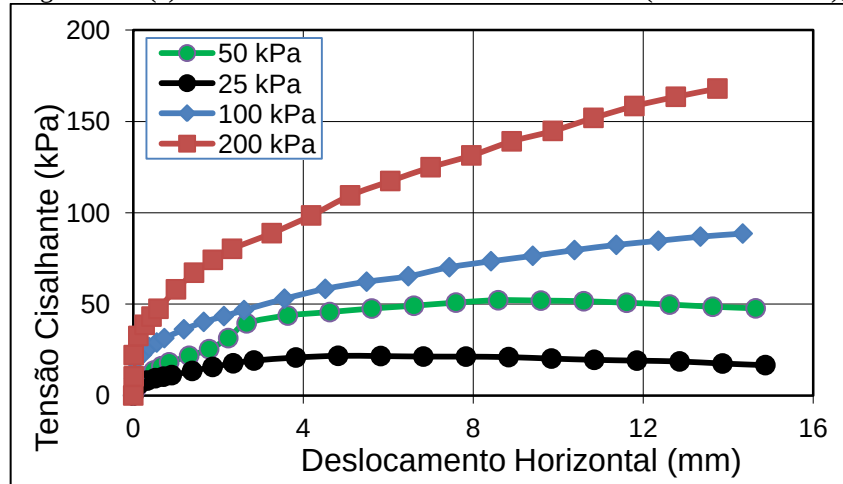
As amostras indeformadas tipo bloco foram retiradas na profundidade de 1,5m, no mesmo ponto de coleta das amostras utilizadas para os demais ensaios. O solo apresenta sedimentos da Formação Barreiras. Os corpos de prova foram moldados em laboratório, a partir de amostra indeformada, e utilizando-se uma caixa prismática de 4" (101,6mm) de aresta e altura de 38mm. Para o ensaio foram aplicadas tensões verticais de: 25 kPa; 50 kPa; 100 kPa e 200 kPa.

Os corpos de prova foram ensaiados na condição de umidade natural e saturado, sendo esta última a pior situação para deflagração dos movimentos de massa nas encostas, que podem ocorrer em invernos rigorosos. Eles foram inicialmente inundados por um período de 24 horas, sendo após este tempo, adensado por uma hora para estabilização dos recalques. O procedimento do ensaio seguiu as recomendações de HEAD (1980).

A Figura 4.12 (a) apresenta a curva do ensaio de cisalhamento para o corpo de prova submetido ao ensaio na condição de umidade natural. A curva $\tau \times dh$, mostra comportamento de ruptura plástica, onde para tensão normal igual a 50 kPa, a tensão cisalhante máxima atinge 50 kPa, permanecendo praticamente constante a partir de 8,0 mm de deslocamento horizontal.

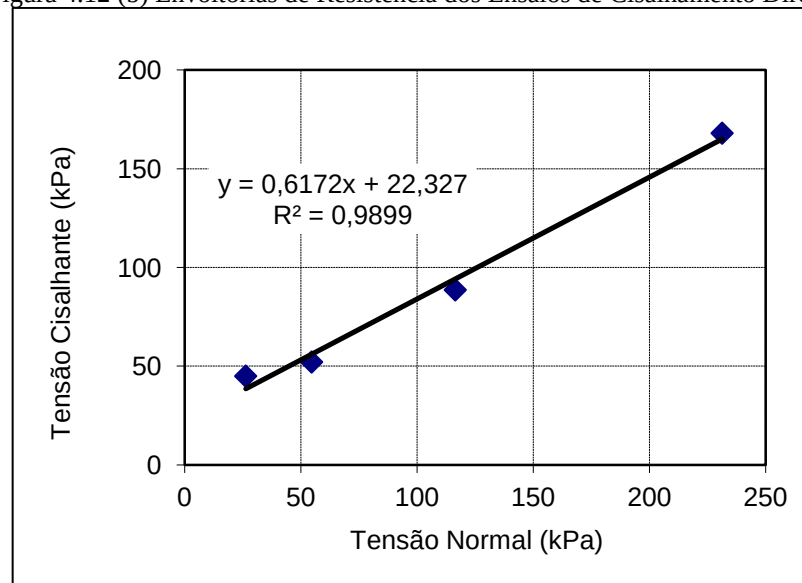
Para as tensões normais superiores a 50kPa, a tensão cisalhante é sempre crescente com a deformação horizontal. A Figura 4.12 (b) apresenta a envoltória de resistência, onde foram considerados os valores máximos das tensões cisalhantes e suas respectivas tensões normais.

Figura 4.12 (a) – Curva do ensaio de Cisalhamento Direto (Umidade natural);



Fonte: A autora.

Figura 4.12 (b) Envoltórias de Resistência dos Ensaios de Cisalhamento Direto.



Fonte: A autora.

A Figura 4.13 (a) apresenta a curva do ensaio de cisalhamento para o corpo de prova submetido à condição saturada. A curva $\tau \times dh$, mostra comportamento de ruptura plástica, onde para tensão normal igual a 50 kPa, a tensão cisalhante máxima atinge 40 kPa, permanecendo praticamente constante a partir de 10,0 mm de deslocamento horizontal.

Para as tensões normais superiores a 50kPa, a tensão cisalhante é sempre crescente com a deformação horizontal. A Figura 4.13(b) apresenta a envoltória de resistência, onde foram considerados os valores máximos das tensões cisalhantes e suas respectivas tensões normais.

Figura 4.13 (a) – Curva do ensaio de Cisalhamento Direto (amostra saturada);

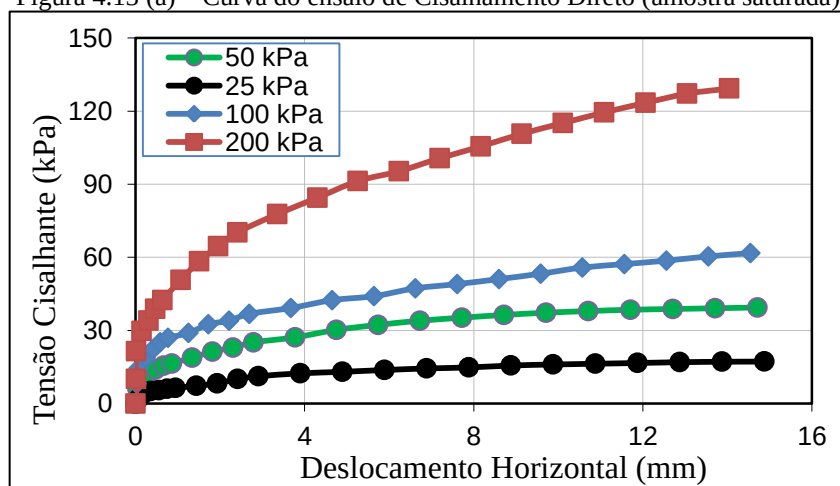
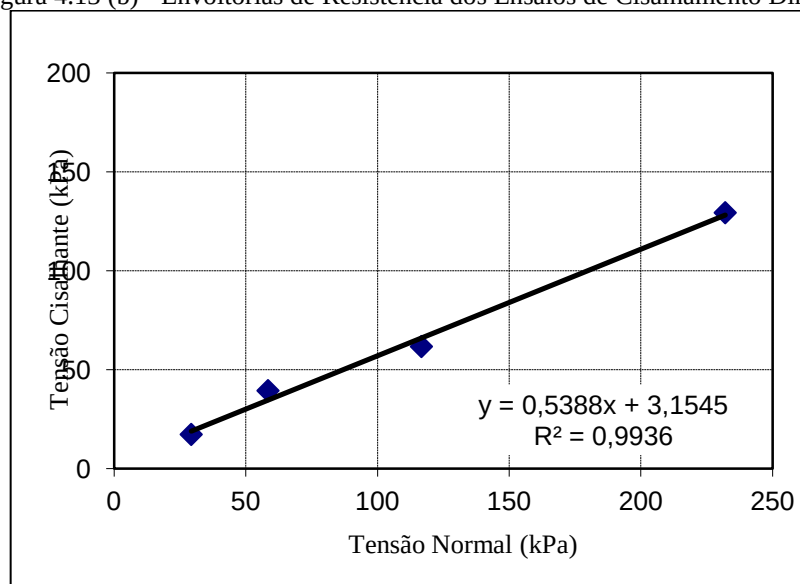


Figura 4.13 (b) - Envolvórias de Resistência dos Ensaio de Cisalhamento Direto.



O Quadro 4.9 apresenta os parâmetros de resistência obtidos através de regressão linear para os ensaios realizados na umidade natural e saturada.

Quadro 4.9 – Parâmetros de resistência ao cisalhamento

Profundidade (m)	Condição	Coesão (kPa)	Ângulo de atrito interno (graus)
1,5	Umidade natural	22	32°
	Amostra saturada	3	28°

Fonte: A autora.

O valor de ângulo de atrito em torno de 30° é característico de um solo arenoso, estando de acordo com o ensaio de granulometria realizado, com percentual de areia de 59,0%, para a profundidade de 1,50m. Nesta mesma profundidade foi verificado 20,5% de argila, sendo assim coerente com a coesão obtida.

Outras pesquisas foram também realizadas com amostras de solo da Região Metropolitana do Recife, proveniente da geologia da Formação Barreiras. O Quadro 4.10 apresenta uma síntese dos parâmetros de resistência de alguns desses locais. A construção deste banco de dados com informações de ensaios realizados RMR permite um melhor conhecimento do solo local.

Quadro 4.10. Parâmetros de resistência ao cisalhamento de solos provenientes da Formação Barreiras na RMR

Referência/ Local	Fácies	Tipo de ensaio	Descrição/ Classificação	IP	Condição do CP	c (kPa)	Φ (°)
Gusmão Filho et al. (1986) / Olinda -PE	Não identificada	Triaxial (CU)	Areia argilosa SC	31 - 40	Inundado	20 - 50	20 - 24
Coutinho et al. (1999; 2006) Santos (2001) Horto Dois Irmãos Recife-PE	Não identificada	Cis. Direto	Areia argilosa SC	10 - 16	Natural	13	31
					Inundado	0	30
Lafayette (2000) Alto do Reservatório- Recife - PE	Não identificada	Cis. Direto	Areia argilosa SC	11 - 18	Inundado	7 - 13	24 - 26
Lima (2002) / Alto do Reservatório- Recife -PE	Não identificada	Cis. Direto	Argila arenosa SC	16	Natural	28	31
					Inundado	10	32
Lafayette et al. (2003; 2005) Cabo de S. Agostinho -PE	Leque fluvial	Cis. Direto	Areia argilosa SC	9 - 13	Natural	33 - 56	33- 36
					Inundado	1,5 - 1,8	33- 35
Silva (2005) Camaragibe -PE	Aluvial de canal	Cis. Direto	Areia argilosa SC	12 - 13	Natural	43 - 46	31 - 45
					Inundado	0 - 3,7	31 - 35
Bandeira et al. (2004) Camaragibe -PE	Leque Proximal	Cis. Direto	Silte arenoso ML	14 - 16	Inundado	12	29
Silva (2007) Camaragibe - PE	Planície aluvial	Cis. Direto	Areia argilosa SC	12 - 14	Natural	45 - 47	31 - 44
					Inundado	0 - 3,7	31 - 34
Meira (2008), Ibura, Recife - PE	Canal fluvial	Cis. Direto	Areia argilosa SC	7,9-9,2	Natural	1,0 - 4,2	28 - 34
					Inundado	0,4 - 3,5	23 - 26
Magalhães (2013) /Encosta Alto do Pr. Cícero Camaragibe-PE	Canal Fluvial	Cis. Direto	Areia argilosa SC	12 - 14	Inundado	3,3 – 8.7	29,5– 35
Magalhães (2013) /Encosta Alto do Pr. Cícero Camaragibe-PE	Canal Fluvial	Cis. Direto	Argila baixa plasticidade CL	12 - 14	Inundado	3,3 – 8.7	29,5– 35
Presente pesquisa. Córrego da Areia, Abreu e Lima - PE	Leque fluvial	Cis. Direto	Areia Argilosa SC	8,7	Natural	22	32
					Inundado	3	28

Fonte: Modificado a partir de Coutinho e Severo (2009)

CAPÍTULO 5

METODOLOGIA APLICADA

Toda a metodologia utilizada para a análise da vulnerabilidade, suscetibilidade e risco é apresentada neste capítulo. Para aplicação desta metodologia são aplicados conhecimentos de diversas áreas de estudo, possibilitando assim o entendimento de todos os fatores envolvidos no risco. Esta é uma metodologia que encontra-se em constantes adaptações com o objetivo de melhor representar a realidade do campo.

5.1 Introdução

Durante mapeamento de áreas de risco a deslizamento e erosão em Camaragibe – PE, Bandeira (2003) aplicou metodologia de avaliação já aprimorada a partir de Gusmão et al. (1992). As adequações implantadas por Bandeira (2003) referem-se, segundo a autora, a sugestões citadas pelo Programa de Prevenção e Erradicação de Riscos em Assentamentos Precários, da Secretaria Nacional de Programas Urbanos do Ministério das Cidades. Foram adotados também adequações recomendadas nos trabalhos de Gusmão Filho et al. (1993) e Alheiros (1998).

Em 2014, ao reavaliar a metodologia aplicada em Camaragibe, o GEGEP verificou a necessidade de aplicação de novas contribuições que visam detalhar melhor as informações necessárias à avaliação do fator vulnerabilidade, suscetibilidade e risco final. A metodologia encontra-se em processo de desenvolvimento e aperfeiçoamento pelo grupo de técnicos do GEGEP/UFPE.

O fator vulnerabilidade passou a ser detalhado, com a busca do entendimento de seus fatores físico-ambientais, socioeconômicos e culturais. Como parte integrante da vulnerabilidade, foram avaliadas também as condições institucionais dos municípios com o objetivo de conhecer a estrutura organizacional para o atendimento aos assuntos voltados à prevenção e resposta aos possíveis desastres.

A análise dos fatores de suscetibilidade foi dividida numa avaliação mais profunda sobre as características da área com detalhamento da geotecnia, geologia, geomorfologia, pedologia e, do uso e ocupação do solo.

Em 2014, após a implantação das melhorias citadas, a metodologia foi aplicada no Município de Ipojuca. A continuidade da avaliação e aprimoramento da metodologia continua a ser desenvolvida nos trabalhos de análise de risco dos Municípios de Abreu e Lima, Camaragibe, Moreno e Jaboatão dos Guararapes.

5.2 Etapas do trabalho

O desenvolvimento das atividades descritas nesta metodologia foi realizado com o apoio de equipe técnica formada por profissionais do GEGEP e da Defesa Civil Municipal de Abreu e Lima. A Figura 5.1 apresenta o fluxograma das atividades realizadas.

As informações necessárias para as análises foram obtidas através de preenchimento de formulários utilizados nas atividades de campo. Para a avaliação da vulnerabilidade institucional, as informações foram obtidas com entrevistas de gestores das secretarias municipais e da Defesa Civil. A seguir são descritas as atividades citadas no fluxograma apresentado na Figura 5.1.

a) Planejamento

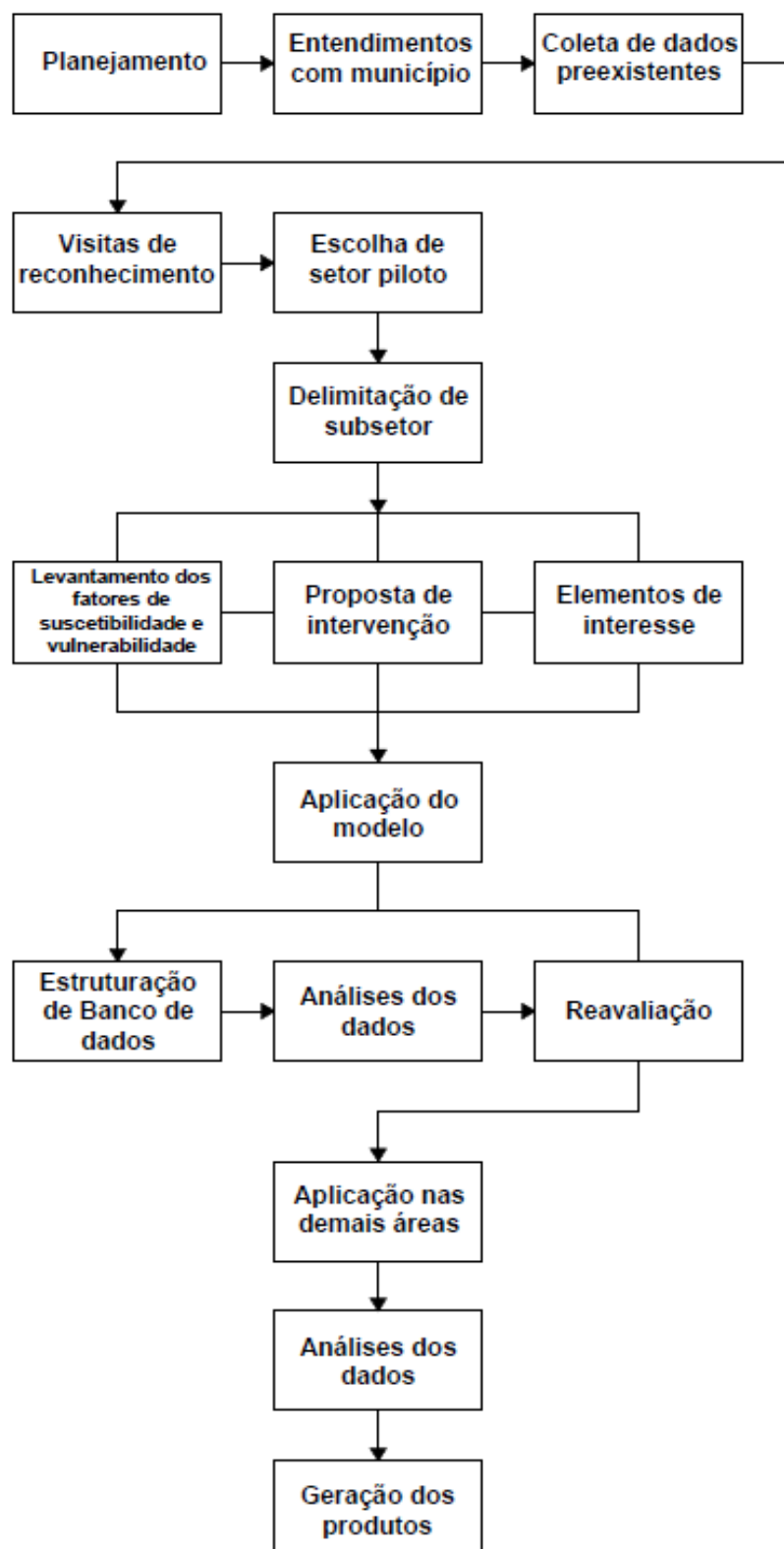
A fase de planejamento consiste na definição dos procedimentos a serem adotados, conhecimento das documentações existentes, definição dos instrumentos de apoio que a serem utilizados (transporte, GPS, câmera fotográfica, trena, documentos gerais), organização de cronograma e planejamento prévio das equipes técnicas a serem formadas para desenvolvimento das atividades de campo e escritório.

Os setores de risco utilizados para realização deste mapeamento foram previamente definidos pela equipe técnica da CPRM, através do Projeto denominado “Ação Emergencial para Delimitação de Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Enchentes e Movimentos de Massa”, elaborado em 2012.

Para avaliação dos fatores de vulnerabilidade socioeconômica nos setores de risco a serem estudados, obteve-se dados mais recentes dos levantamentos censitários realizados pelo IBGE no ano de 2014. A utilização de mapas foi realizada com base em imagens cedidas pela CONDEPE-FIDEM. Para registro e identificação das coordenadas geográficas dos pontos de estudo, a equipe técnica de campo utilizou equipamentos do tipo GPS de mão. Os pontos registrados em GPS foram posteriormente lançados em mapas, utilizando-se para isto o *Datum* WGS84, sistema de projeção UTM. Todas as informações obtidas em campo foram registradas em formulários de pesquisa anteriormente definidos pela equipe técnica do

GEGEP. Informações complementares foram registradas e repassadas para a equipe de análise. Câmeras fotográficas foram utilizadas para registros de imagens representativas ao estudo.

Figura 5.1 - Fluxograma das atividades desenvolvidas



Fonte: Coutinho (2015)

b) Entendimento com o município

Após o planejamento das atividades, o projeto foi explanado aos representantes da Gestão Municipal de Abreu e Lima (secretarias de apoio e a diretoria da Defesa Civil). Ao realizar tal reunião e apresentação do projeto, com identificação dos 11 setores previamente definidos pela CPRM, a Defesa Civil de Abreu e Lima, informou que para a área de risco do Setor 7, inicialmente definida como Av. A do bairro de Caetés II, já houve a realização de obras de intervenção, eliminado assim o risco de deslizamento e erosão existente na área. Diante desta atualização da informação, a Diretoria da Defesa Civil, juntamente com a Secretaria de Habitação e Obras Especiais, solicitou a substituição da área de tal setor pela área localizada na Rua 137, no bairro de Caetés I. Tal solicitação foi formalizada através de documento assinado pelo representante da Secretaria de Habitação e Obras Especiais do Município de Abreu e Lima.

c) Coleta de dados preexistentes

Para melhor conhecimento das condições municipais em relação à gestão do risco, foram solicitados aos representantes do município, os seguintes documentos:

- histórico das ocorrências de risco;
- planta unibase do município;
- projetos de intervenção de obras voltadas a redução do risco;
- Plano Municipal de Redução de Riscos (PMRR);
- Plano Diretor Participativo (PDP);
- Plano Municipal de Contingência (PLAMCON).

Foi também objeto de pesquisa, informações preexistentes tais como: histórico da criação do município; formas de uso e ocupação do solo; histórico de ocorrências nos meios de comunicação; índices socioeconômicos; estudos geotécnicos e geológicos; estudos da vegetação e recursos hídricos; estudo do regime pluviométrico na região.

d) Visitas de reconhecimento

Inicialmente, foram realizadas visitas de reconhecimento em campo com a equipe de agentes da Defesa Civil, conforme apresenta a Foto 5.1. Esta visita teve o objetivo principal de conhecer as características físicas dos setores a serem estudados, o estágio geral dos processos atuantes, o acesso aos elementos expostos e as condições gerais para o dimensionamento dos recursos materiais e pessoais a serem utilizados nos trabalhos.

Foto 5.1 – Reconhecimento dos setores de risco a serem analisados. Local: Rua 107, bairro de Caetés I.



Fonte: A autora.

Outras visitas com a equipe técnica do GESEP foram novamente realizadas nos setores estudados, com o objetivo de caracterizar a geologia, geomorfologia e pedologia das áreas estudadas, conforme apresentado na Foto 5.2.

Foto 5.2 - Visita de reconhecimento da equipe de geologia do GESEP



Fonte: A autora.

e) Escolha de setor piloto

Para melhor conhecimento dos processos atuantes e seus fatores influenciadores, foi determinado um setor piloto para elaboração de investigação geotécnica mais detalhada. A escolha do setor foi definida com base na representatividade da área para o município, bem como na preservação das características envolvidas no processo, possibilitando assim a obtenção de dados confiáveis para as análises pretendidas. Devido à existência de uma nova área com presença de expressivo avanço de processo erosivo, prejudicial à comunidade e ao meio ambiente, foi inserido um novo setor de risco, adicional ao previamente estabelecido pela CPRM. Este setor foi identificado então com a numeração subsequente: Setor 12, estando localizado na encosta existente entre a Rua 124, do bairro de Caetés I, e a comunidade do Córrego da Areia. Nesta área foi realizada também campanha de investigação geotécnica.

f) Delimitação de subsetores

De acordo com a metodologia aplicada, devido ao grande tamanho dos setores de risco estudados e sua heterogeneidade de características, deve-se realizar a divisão de cada um dos setores de forma a obter subsetores com homogeneidade quanto às suas características de drenagem, ocupação, vegetação, topografia, infraestrutura, processos atuantes e obras de intervenção existentes. Esta delimitação de subsetores homogêneos para as características apresentadas permite a realização de análises mais refinadas e precisas na determinação do grau de vulnerabilidade, suscetibilidade e do risco final.

g) Levantamento dos fatores de vulnerabilidade e suscetibilidade

Os fatores de vulnerabilidade das áreas avaliadas foram obtidos através de preenchimento de formulários utilizados nas entrevistas realizadas com os moradores. Para tal atividade, foi empregada amostragem parcial das casas existentes nas áreas, com a representatividade de 25%, ou seja, 1 a cada 4 casas existentes nas áreas de estudo tiveram seus moradores entrevistados. Preferencialmente, o morador respondente da pesquisa era o responsável pela casa.

Vale destacar que a definição da adoção de amostragem parcial (25%) para entrevista das casas foi baseada na experiência adquirida no mapeamento de áreas de risco no Município

de Ipojuca, realizado também por equipe do GESEP. Henrique (2014), ao realizar tal mapeamento de risco, teve como meta entrevistar todas as casas existentes nos setores de estudo, buscando assim uma amostragem total. No entanto, o autor vivenciou a dificuldade de tal meta e descreveu:

[... a abordagem casa por casa é inviável, por vários motivos: parte dos moradores das áreas não estão presentes no momento da entrevista; é necessária uma grande equipe para cobrir toda área; a pesquisa de campo demanda muito tempo, o mapeamento se torna muito caro. A operacionalidade desta metodologia é inviável.]

A Foto 5.3 apresenta realização de entrevista com moradores. Os formulários utilizados para o levantamento dos fatores de vulnerabilidade do setor foram:

- Formulário 01 – Identificação Dos Fatores Físicos e Ambientais de Vulnerabilidade de Elemento Exposto;
- Formulário 02 – Identificação Dos Fatores Sócio, Econômicos e Culturais de Vulnerabilidade.

Foto 5.3 – Entrevista com moradores. Local: Bairro do Centro.



Fonte: A autora.

O levantamento dos fatores de suscetibilidade foi realizado com o apoio de técnicos do GESEP. Profissionais das áreas de Geotecnia, Geologia, Pedologia, Geomorfologia e Recursos Hídricos realizaram visitas em campo, com o objetivo de coletar informações

importantes para o entendimento das condições locais existentes, influenciadoras na análise da suscetibilidade e, conseqüentemente, do risco. A Foto 5.4 apresenta visita de campo da equipe de Geomorfologia do GEGEP. Os formulários utilizados para o levantamento dos fatores de suscetibilidade foram:

- Formulário 3 – Suscetibilidade a movimento de massa aplicado para setor de risco;
- Formulário 4 – Suscetibilidade aplicado para subsetor de risco.

Foto 5.4 – Equipe de Geomorfologia em campo para levantamento de fatores de suscetibilidade.



Fonte: A autora.

h) Proposta de intervenção

Durante as atividades de campo, já são observadas e registradas as possíveis intervenções estruturais para cada subsetor, contudo, estas intervenções só são efetivamente sugeridas para aqueles subsetores que a análise resultou graus de risco alto ou muito alto. Estas intervenções são voltadas para redução do risco na área estudada. Estas intervenções são compostas de ações diversas para a drenagem, pavimentação, revestimento de taludes e contenção de encostas. A elaboração do orçamento das obras citadas foi baseada no Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), referente ao mês de novembro de 2015.

i) Elementos de interesse

Durante os trabalhos de mapeamento foram levantadas as possíveis estruturas que podem servir de apoio ao município em caso de desastres, são os chamados elementos de interesse. Este levantamento foi realizado no objetivo de apoiar os moradores afetados com prestação de serviços de saúde, segurança, orientação, distribuição de alimentos e materiais diversos, além de dispor de abrigo provisório. Para todos os elementos de interesse identificados, foram registradas suas devidas localizações através de marcação de pontos com o uso de GPS, sendo posteriormente estes pontos plotados em mapas. Esta etapa do mapeamento de risco visa atender as comunidades afetadas com qualidade e agilidade.

De modo geral, a gestão do município deve buscar pontos de apoio mais próximos dos moradores afetados, considerando, contudo, as condições de infraestrutura do elemento de interesse. Para a composição do grau de vulnerabilidade, considera-se que quanto mais próximo estes pontos de apoio estejam da comunidade afetada, e quanto melhor for suas condições de atendimento, mais reduzidos serão seus graus de risco de vulnerabilidade.

Os elementos de interesse apresentados são divididos nas seguintes categorias: posto de saúde; hospital; educação; instituição religiosa; órgão público; clubes ou associações; segurança e socorro. A Foto 5.5 apresenta um dos elementos de interesse identificados: a Escola Municipal José Francisco Barros, localizada no Centro de Abreu e Lima. Este elemento de interesse recebeu boa avaliação graças à sua proximidade com os setores de risco, e às boas condições da sua infraestrutura.

Foto 5.5 – Elemento de interesse mapeado



Fonte: A autora.

j) Aplicação do modelo

De posse de todas as informações listadas nos itens anteriores para o setor de risco piloto, a metodologia criada para a avaliação de risco foi aplicada e detalhadamente analisada.

k) Estruturação do Banco de Dados

O banco de dados foi criado no software Microsoft Office® Access, versão 2010. Os formulários de campo foram identificados por meio de coordenadas geográficas e, portanto, cada casa entrevistada para cada um dos subsetores delimitados contém sua referência espacial. Foi criado um arquivo de extensão “.accdb” compartilhando informações através de uma rede interna. A conexão de rede possibilitou a utilização multiusuário do arquivo, editando informações à medida que os formulários de campo fossem transcritos ou digitalizados. Foi construído um modelo de tabela que abrigou detalhadamente cada resposta dos itens dos formulários obtidos através das entrevistas de campo. A relação entre as tabelas foi possibilitada por meio da chave primária, que é uma numeração única para cada novo registro existente no banco de dados. Mediante a grande quantidade de informações que necessitaram ser transcritas através das tabelas, foi necessária a criação de formulários de entrada no banco de dados para agilizar esta transcrição.

l) Análise dos dados

Com o banco de dados estruturado e com todos os formulários lançados, inicia-se a análise das informações coletadas. Preliminarmente, foram feitas considerações importantes para a caracterização da área de estudo, como a obtenção de valores de altura e extensão da encosta por meio do modelo digital de elevação através da ferramenta Slope (SpatialAnalyst). Para a obtenção da inclinação das encostas dos subsetores, foi utilizada bússola magnética com dispositivo de determinação de inclinação de superfícies. De posse de todos os indicadores levantados, são atribuídos pesos a cada um dos indicadores, compondo assim a determinação dos graus de vulnerabilidade, suscetibilidade e risco. Para esta determinação são utilizadas planilhas de cálculo previamente elaboradas.

m) Reavaliação

Com a determinação da análise dos graus de risco para o setor piloto, conforme descrito no item anterior, foi realizada nova visita a campo para reavaliação dos resultados obtidos em escritório. Esta reavaliação representa a validação da metodologia para determinação do grau de risco.

n) Aplicação nas demais áreas

Após a validação da metodologia em campo, na área do setor piloto, conforme descrito no item anterior, inicia-se a aplicação do modelo nos demais setores.

o) Análise dos dados

Todos os procedimentos descritos no item “ l ” e “ m ” são reaplicados para os demais subsetores de risco estudados.

p) Geração dos produtos

Após determinação dos graus de risco de vulnerabilidade, suscetibilidade e do risco, estes dados foram mapeados através da utilização do programa ArcMap 10.1 do ArcGIS-ESRI (2012). Assim, foi possível então elaborar os mapas de vulnerabilidade, suscetibilidade e de risco ao deslizamento e erosão, indicando seus respectivos graus de risco obtidos.

5.3 Metodologia para análise da vulnerabilidade

A metodologia para avaliação da vulnerabilidade visa identificar características que possibilitem o conhecimento do grau de perda para um dado elemento, grupo ou comunidade, que residem ou transitam dentro de áreas passíveis de serem afetadas por um fenômeno ou processo. Os prejuízos não se restringem apenas aos danos econômicos, mas ambientais e sociais [...] (SAITO et al., 2009 apud BANDEIRA, 2010).

Nesta metodologia a análise da vulnerabilidade foi dividida em duas dimensões: Vulnerabilidade na físico-ambiental e Vulnerabilidade Social.

5.3.1 Vulnerabilidade na dimensão físico-ambiental

Compõem a avaliação dos indicadores referentes ao padrão construtivo dos elementos expostos, as características do seu entorno e as condições da infraestrutura disponível na área. Com isto, são levantadas em campo informações referentes aos materiais usados nas edificações, as condições das estruturas, a possível existência de sinais de danos, as condições dos acessos às edificações, e as condições da infraestrutura local (abastecimento de água, esgotamento sanitário e coleta de lixo). As características do entorno das edificações são avaliadas de acordo com sua topografia, localização ao longo da encosta e a proximidade a possíveis cursos d'água. São também levantadas e avaliadas as estruturas comunitárias que possam ser utilizadas como apoio aos moradores vítimas de desastres.

O Quadro 5.1 apresenta os indicadores e seus respectivos subindicadores utilizados para avaliar a dimensão física-ambiental. Para cada um dos indicadores e subindicadores são citados também seus pesos, P_{Ind} e P_{SInd} , respectivamente, utilizados na determinação do Grau de Vulnerabilidade na Dimensão Física-ambiental (GV_{DFA}).

5.3.2 Vulnerabilidade na dimensão social

De acordo com a metodologia utilizada, as condições sociais são avaliadas a partir de características referentes aos indicadores socioeconômicos e culturais das famílias residentes nos domicílios avaliados, indicadores sociais da comunidade e indicadores sociais da liderança comunitária (caso exista).

Para avaliação dos indicadores socioeconômicos e culturais das famílias são obtidas informações sobre as condições sociais dos moradores e de suas residências, grau de escolaridade e renda familiar. É levantada também a possível existência de pessoas mais vulneráveis ao risco, tais como idosos, crianças ou pessoas com deficiência física.

Os indicadores sociais da comunidade são avaliados através dos problemas sociais que impactam a área estudada tais como consumo de drogas, ocorrência de prostituição, violência e desemprego.

Os indicadores sociais referentes à liderança comunitária representam a interação social entre os moradores, referentes aos assuntos comunitários, este item visa levantar as formas de organização e liderança comunitária dentro das áreas de risco. Os moradores são questionados se existe liderança comunitária, se existe local para reuniões comunitárias, e o nível de atuação desta liderança comunitária nas questões sociais e nos assuntos referentes ao risco de desastres naturais na região.

Quadro 5.1 – Indicadores e subindicadores, com seus respectivos pesos, utilizados na avaliação da Vulnerabilidade na Dimensão Física-ambiental.

Indicadores		Sub-indicadores	
Descrição	Peso (P _{Ind})	Sub-indicadores	Peso (P _{SInd})
Quantidade de edificações	0,150		-
Características da edificação	0,200	Tipo de edificação	0,200
		Material das paredes	0,300
		Coberta	0,200
		Piso	0,100
		Existência de danos	0,200
Características do acesso à edificação	0,200	Tipo do acesso	0,500
		Qualidade do acesso	0,500
Características do acesso ao subsetor	0,050	Número de acessos	0,250
		Tipo de acesso	0,250
		Distância para a próxima comunidade	0,250
		Veículo que transita	0,250
Localização da edificação	0,200	Posição no talude	0,400
		Distância até o pé do talude	0,300
		Distância até o topo do talude	0,300
Infraestrutura básica	0,200	Condições de abastecimento de água	0,300
		Esgotamento sanitário	0,250
		Frequência da coleta de lixo	0,100
		Destino do lixo não coletado	0,250
		Fornecimento de energia elétrica	0,100

Fonte: Coutinho (2015)

O Quadro 5.2 apresenta os indicadores e seus respectivos subindicadores utilizados para avaliar a dimensão social. Para cada um dos indicadores e subindicadores são citados também seus pesos, P_{Ind} e P_{SInd}, respectivamente, utilizados na determinação do Grau de Vulnerabilidade na Dimensão Social (GV_{DS}).

Quadro 5.2 – Indicadores e subindicadores, com seus respectivos pesos, utilizados na avaliação da Vulnerabilidade na Dimensão Social.

Indicadores		Sub-indicadores	
Descrição	Peso (P _{Ind})	Descrição	Peso (P _{SInd})
Quantidade de moradores	0,200	-	-
Renda domiciliar	0,100	-	-
Capacidade de mobilidade dos moradores	0,100	Pessoas com dificuldades de locomoção	0,700
		Existência de veículos automotivos	0,300
Grau de escolaridade de, pelo menos, um morador	0,100	-	-
Acesso dos moradores aos meios de comunicação	0,100	-	-
Problemas sociais da comunidade	0,100	Uso de álcool/droga	0,250
		Prostituição	0,250
		Violência	0,250
		Desemprego	0,250
Moradores capacitados para enfrentar situações de risco	0,100	Treinamento para situações de risco	0,500
		Voluntários em desastres	0,500
Liderança comunitária	0,100	Existência de liderança comunitária	0,300
		Trabalhos em conjunto com os moradores	0,100
		Ajuda no monitoramento de risco	0,100
		Trabalho integrado com a Defesa Civil, Prefeitura ou agentes de saúde.	0,200
		Tem equipe de apoio na comunidade	0,100
		Dispõe de local para reuniões	0,100
		Faz registro das reuniões	0,100
Apoio institucional próxima ao setor	0,100	Órgão de proteção e resposta	0,033
		Hospital	0,033
		Educação (escola ou ginásio)	0,034
		Posto de saúde	0,150
		Segurança e socorro	0,150
		Órgãos públicos	0,150
		Clubes ou associações	0,200
		Instituição religiosa	0,250

Fonte: Coutinho (2015)

5.3.3 Determinação do Grau de Vulnerabilidade

Para melhor entendimento, os procedimentos adotados para determinação do Grau de Vulnerabilidade Final (GVF) são apresentados seguindo-se a sequência utilizada na obtenção de cada um dos parâmetros avaliados: grau do sub-inidcador; grau do indicador e grau da

dimensão. Os valores de todos os pesos citados nas equações descritas são determinados pela equipe técnica do GEPEP, considerando-se para isto as características das áreas de estudo.

Sub-Indicador

Para a determinação do Grau do Sub-Indicador, a equipe do GEPEP classificou intervalos com quatro diferentes níveis de importância, atribuindo-se assim notas que variam de 1 a 4. O Quadro 5.3 apresenta exemplo destes intervalos para um dado Sub-Indicador, descrevendo a justificativa utilizada para tais classificações.

Quadro 5.3 – Exemplo de determinação do Grau do Sub-indicador de Vulnerabilidade

SUB-INDICADOR	INTERVALO DO SUB-INDICADOR	GRAU	DESCRIÇÃO DO GRAU	JUSTIFICATIVA
Tipo de edificação	Moradia Isolada	1	Baixo	O tipo da edificação impacta no número de pessoas que transitam ou residem nestes espaços, variando assim as consequências.
	Moradia Conjugada	2	Médio	
	Edifício / Prédio Comercial	3	Alto	
	Igreja / Prédio Público / Escola	4	Muito Alto	

Fonte: Coutinho (2015)

Indicador

Por sua vez, o Grau do Indicador (G_{Ind}) é obtido a partir da média ponderada formada por todos os Sub-Indicadores que o compõem, e seus respectivos pesos, conforme expressa a Equação 5.1:

$$G_{Ind} = \frac{\sum (P_{SInd} \times G_{SInd})}{\sum P_{SInd}} \quad (\text{Equação 5.1})$$

Sendo:

G_{Ind} = Grau do Indicador;

P_{SInd} = Peso do Sub-Indicador;

G_{SInd} = Grau do Sub-Indicador.

Dimensão da vulnerabilidade

O Grau da Dimensão (G_D), seja ela Física-ambiental (GV_{DFA}) ou Social (GV_{DS}), é obtido através da média ponderada apresentada na Equação 5.2:

$$G_D = \frac{\sum (P_{Ind} \times G_{Ind})}{\sum P_{Ind}} \quad (\text{Equação 5.2})$$

Sendo:

G_D = Grau da Dimensão;

P_{Ind} = Peso do Indicador;

G_{Ind} = Grau do Indicador.

Grau de Vulnerabilidade Final

Por fim, o Grau de Vulnerabilidade Final (GVF) é determinado a partir da média ponderada entre o Grau da Dimensão Física-ambiental (GV_{DFA}) e o Grau da Dimensão Social (GV_{DS}), considerando-se para isto seus respectivos pesos, conforme explica a Equação 5.3:

$$GVF = \frac{(P_{DFA} \times GV_{DFA}) + (P_{DS} \times GV_{DS})}{P_{DFA} + P_{DS}} \quad (\text{Equação 5.3})$$

Sendo:

GVF = Grau de Vulnerabilidade Final;

GV_{DFA} = Grau da Dimensão Física-ambiental;

GV_{DS} = Grau da Dimensão Social;

P_{DFA} = Peso da Dimensão Física-ambiental;

P_{DS} = Peso da Dimensão Social.

Obtido o Grau de Vulnerabilidade Final (GVF), este foi então classificado de acordo com o Quadro 5.4:

Quadro 5.4 – Classificação do Grau de Vulnerabilidade Final

Faixa obtida	Classificação do Grau
$1,00 \leq GVF \leq 1,75$	Baixo
$1,75 < GVF \leq 2,50$	Médio
$2,50 < GVF \leq 3,25$	Alto
$3,25 < GVF \leq 4,00$	Muito Alto

Fonte: Coutinho (2015)

5.4 Metodologia para análise da Suscetibilidade

A avaliação da suscetibilidade visa levantar as informações que indiquem a potencialidade de ocorrência de processos naturais e induzidos em uma dada área. Alheiros et

al. (2003) explica que estas informações compõem características inerentes ao meio e representa a fragilidade do ambiente frente aos processos geológicos (deslizamento, erosão). Riffel (2012) comenta também sobre a importância da avaliação das características, morfológicas, pedológicas e climáticas.

Além dos fatores naturais destacados, vale ressaltar que a suscetibilidade aos riscos geológicos pode apresentar-se ainda de forma induzida pela ação antrópica. Pfaltzgraff (2007) destaca que é fundamental uma perfeita distinção entre a suscetibilidade natural cujo estudo apresenta um caráter eminentemente preventivo e, serve como ferramenta para planejamento da ocupação de áreas ainda livres, da suscetibilidade induzida. Em estudos de mapeamento de áreas de risco desenvolvidos para o Município do Ipojuca - PE, Henrique (2014) concluiu que ficou evidente que as ações antrópicas tiveram papel decisivo no incremento do grau de suscetibilidade. O autor descreveu que as características referentes à altura das encostas, junto com as altas declividades, associadas à ação antrópica, foram decisivos para o desencadeamento de deslizamentos e erosão no bairro de Rurópolis.

A metodologia para análise da suscetibilidade foi criada pelo GEGEP / UFPE. Inicialmente, tal metodologia foi aplicada por Bandeira (2003), em estudos desenvolvidos no Município de Camaragibe - PE. Após passar por adequações, a metodologia foi utilizada no Município de Ipojuca – PE, através de pesquisa realizada por Henrique (2014). Esta mesma metodologia foi utilizada na área de estudo aqui apresentada.

A obtenção de informações para avaliação do grau de suscetibilidade ao movimento e transporte de massa, foi realizada de forma similar àquela adotada para avaliação do grau de vulnerabilidade. Equipes de técnicos do GEGEP formadas por representantes da Geologia, Geotecnia, Pedologia e Geomorfologia, visitaram os setores de estudo com o objetivo de coletar informações utilizadas para a análise dos indicadores e subindicadores que compõem a análise do grau de suscetibilidade. O registro das informações coletadas é feito em formulários previamente elaborados.

O Quadro 5.5 apresenta os indicadores e seus respectivos subindicadores utilizados para avaliar a Suscetibilidade. Para cada um dos indicadores e subindicadores são citados também seus pesos, P_{Ind} e P_{SInd} , respectivamente, utilizados na determinação do Grau de Suscetibilidade Final (GSF).

A análise do indicador geológico-geotécnico é formada da união das características geológicas, geotécnicas, pedológicas e evidências de movimentos de massa nos setores estudados. A partir de informações coletadas em campo, cada um dos técnicos envolvidos

coletou e registrou as informações observadas, possibilitando assim uma posterior análise conjunta dos seus subindicadores. Para melhor conhecimento das características observadas em campo, a equipe da geologia coletou amostras de materiais para análises mais detalhadas em laboratório. O mesmo ocorreu com a equipe de pedologia, que julgou necessária a coleta de amostras de solo para realização de ensaios geotécnicos no laboratório de solos da UFPE, possibilitando assim a classificação das amostras de solo coletas.

Quadro 5.5 – Indicadores e subindicadores, com seus respectivos pesos, utilizados na avaliação da Suscetibilidade.

Indicadores		Sub-indicadores	
Descrição	Peso (P _{Ind})	Sub-indicadores	Peso (P _{SInd})
Geologia-geotecnia	0,333	Formação geológica	0,150
		Fácies	0,150
		Feição estrutural	0,050
		Estrutura do perfil	0,050
		Textura	0,200
		Pedologia	0,200
		Surgência de água	0,100
		Evidências de movimento	0,100
Geomorfologia	0,333	Relevo	0,100
		Topografia da encosta	0,150
		Topografia do talude	0,200
		Perfil da encosta	0,200
		Classe de curvatura	0,200
		Características do escoamento	0,150
Uso e ocupação	0,334	Cobertura superficial	0,300
		Tratamentos existentes	0,350
		Categoria de ocupação	0,150
		Fatores antrópicos	0,200

Fonte: Coutinho (2015)

O indicador geomorfológico foi obtido através de visitas da equipe do GESEP, que observaram e descreveram o tipo de relevo, as classes de curvatura da encosta (horizontal e vertical). A união destas informações com as características morfométricas (altura, extensão, declividade e curvatura), possibilita um melhor entendimento dos aspectos morfológicos da topografia, da drenagem e da dinâmica evolutiva da paisagem. Esses aspectos podem

influenciar nos processos gravitacionais, na migração e acúmulo hídrico através da superfície e subsuperfície da vertente (HENRIQUE, 2014). De forma a complementar as observações de campo, a equipe de geomorfologia utilizou em escritório mapas e softwares desenvolvidos para obtenção do Modelo Digital do Terreno (MDT).

O indicador de uso e ocupação do solo é visto como determinante na ocorrência do processo de movimento e transporte de massa. A ocupação desordenada conduz à prática de ações antrópicas inadequadas que deflagram e intensificam os processos, ocasionando danos socioeconômicos, ambientais e até morte de pessoas. Este indicador é avaliado a partir de observações do modo de ocupação da área, seu estágio de evolução, condições da vegetação local, infraestrutura disponível e as possíveis obras de intervenção existentes.

5.4.1 Determinação do Grau de Suscetibilidade

A análise do Grau de Suscetibilidade é feita de forma análoga à análise do Grau de Vulnerabilidade. Os procedimentos adotados para determinação do Grau de Suscetibilidade Final (GSF) são apresentados seguindo-se a sequência utilizada na obtenção de cada um dos parâmetros avaliados: grau do sub-indicador e grau do indicador.

Sub-Indicador

Para a determinação do Grau de Suscetibilidade do Sub-Indicador (GS_{Ind}), a equipe do GESEP classificou intervalos com quatro diferentes níveis de importância, atribuindo-se assim notas que variam de 1 a 4. O Quadro 5.6 apresenta exemplo destes intervalos para um dado Sub-Indicador, descrevendo a justificativa utilizada para tais classificações.

Quadro 5.6 – Exemplo de determinação do Grau do Sub-indicador de Suscetibilidade

SUB-INDICADOR	INTERVALO DO SUB-INDICADOR	GRAU	DESCRIÇÃO	JUSTIFICATIVA
Percentual de desmatamento	0 a 25%	1	Baixo	A remoção da vegetação expõe a superfície do solo, deixando a área mais suscetível ao movimento e transporte de massa.
	25 a 50%	2	Médio	
	50 a 75%	3	Alto	
	75 a 100%	4	Muito Alto	

Fonte: Coutinho (2015)

Indicador

Por sua vez, o Grau de Suscetibilidade do Indicador (GS_{Ind}) é obtido a partir da média ponderada formada por todos os Sub-Indicadores que o compõem, e seus respectivos pesos, conforme expressa a Equação 5.4:

$$GS_{Ind} = \frac{\sum (P_{SInd} \times GS_{SInd})}{\sum P_{SInd}} \quad (\text{Equação 5.4})$$

Sendo:

GS_{Ind} = Grau de Suscetibilidade do Indicador;

P_{SInd} = Peso do Sub-Indicador;

GS_{SInd} = Grau de Suscetibilidade do Sub-Indicador.

Grau de Suscetibilidade Final

Por fim, o Grau de Suscetibilidade Final (GSF) é determinado a partir da média ponderada entre o grau de suscetibilidade de todos os indicadores que o compõem, considerando-se para isto seus respectivos pesos, conforme explica a Equação 5.5:

$$GSF = \frac{\sum (P_{Ind} \times GS_{Ind})}{\sum P_{Ind}} \quad (\text{Equação 5.5})$$

Sendo:

GSF = Grau de Suscetibilidade Final;

P_{Ind} = Peso do Indicador;

GS_{Ind} = Grau de Suscetibilidade do Indicador.

Obtido o Grau de Suscetibilidade Final (GSF), este foi então classificado de acordo com o Quadro 5.7:

Quadro 5.7 – Classificação do Grau de Suscetibilidade Final

Faixa obtida	Classificação do Grau
$1,00 \leq GSF \leq 1,75$	Baixo
$1,75 < GSF \leq 2,50$	Médio
$2,50 < GSF \leq 3,25$	Alto
$3,25 < GSF \leq 4,00$	Muito Alto

Fonte: Coutinho (2015)

5.4.2 Determinação do grau de risco

Após determinação do Grau de Vulnerabilidade e do Grau de Suscetibilidade, determinou-se então o Grau de Risco, através do uso de uma matriz de correlação, adaptada da AGS (2007), conforme apresenta o Quadro 5.8. A determinação do Grau de Risco a partir da correlação entre o Grau de Vulnerabilidade e o Grau de Suscetibilidade foi proposta pelo GEGEP, sendo adotado nos estudos de mapeamento de áreas de risco no Município de Ipojuca - PE, desenvolvidos por Henrique (2014).

Esta metodologia resulta em análise qualitativa do risco, sendo assim, sua classificação resulta em terminologias para descrever a probabilidade de ocorrência dos processos e suas consequências.

Dai et al. (2000 apud HENRIQUE, 2014) aponta que, geralmente a análise qualitativa é utilizada em áreas extensas, onde a qualidade e quantidade de dados disponíveis são muito escassas para uma análise quantitativa que requer informação mais específica e detalhada.

Quadro 5.8 - Determinação da Classificação do Grau de Risco conforme o arranjo entre a Suscetibilidade e a Vulnerabilidade.

Classificação do Grau de Suscetibilidade	Classificação do Grau de Vulnerabilidade			
	Muito Alto	Alto	Médio	Baixo
Muito Alto	Muito Alto	Muito Alto	Alto	Alto
Alto	Muito Alto	Alto	Alto	Médio
Médio	Alto	Alto	Médio	Médio
Baixo	Alto	Médio	Médio	Baixo

Fonte: Coutinho (2015)

Bandeira (2010) comenta que as análises qualitativas são importantes na gestão, na medida em que fornece uma comparação relativa entre os riscos de diferentes locais e informações de priorização de ações.

CAPÍTULO 6

APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A seguir são apresentadas as análises obtidas a partir de dados pesquisados em levantamentos de campo e em estudos cartográficos, resultando assim no conhecimento da vulnerabilidade (físico-ambiental, social e institucional), suscetibilidade e risco de doze setores estudados para o Município de Abreu e Lima. Os mapas originais foram produzidos na escala 1:10.000, contudo, para efeito de melhor visualização das informações no formato da impressão desta dissertação, a escala foi aqui alterada, permitindo assim identificar os dados obtidos para cada um dos subsetores.

6.1 A obtenção dos dados

As análises aqui apresentadas foram fundamentadas em avaliações dos parâmetros que interferem na vulnerabilidade das pessoas e estruturas que estão sujeitas ao risco; bem como, na suscetibilidade formada pela ação de características naturais inerentes à região estudada, impactadas pelo mau uso e ocupação do solo de forma não planejada. Importante destacar que o mapeamento apresentado indica as características observadas em campo durante o período de realização dos estudos. Contudo, devido a frequentes modificações provocadas no meio ambiente, seja pela ação antrópica ou por ações naturais, os resultados aqui obtidos podem sofrer modificações ao longo do tempo.

A metodologia adotada recomenda a divisão das regiões de estudo (aqui chamadas de setores), em sub-regiões (subsetores), possibilitando assim que as análises sejam feitas em áreas que apresentem condições bem homogêneas. Este procedimento permite a obtenção de avaliações mais refinadas e com maior representatividade das áreas.

Para os 12 setores de risco estudados nesta pesquisa, foram realizadas subdivisões das áreas, obtendo-se assim 55 subsetores. A Figura 6.1 apresenta o mapa de localização dos setores de estudo dentro do centro urbano de Abreu e Lima. O Quadro 6.1 apresenta a quantidade de setores e seus subsetores, a área e o processo atuante em cada setor. Ao longo deste capítulo são apresentados os dados obtidos das avaliações de cada um dos setores estudados.

Quadro 6.1 – Informações dos setores estudados e seus processos atuantes

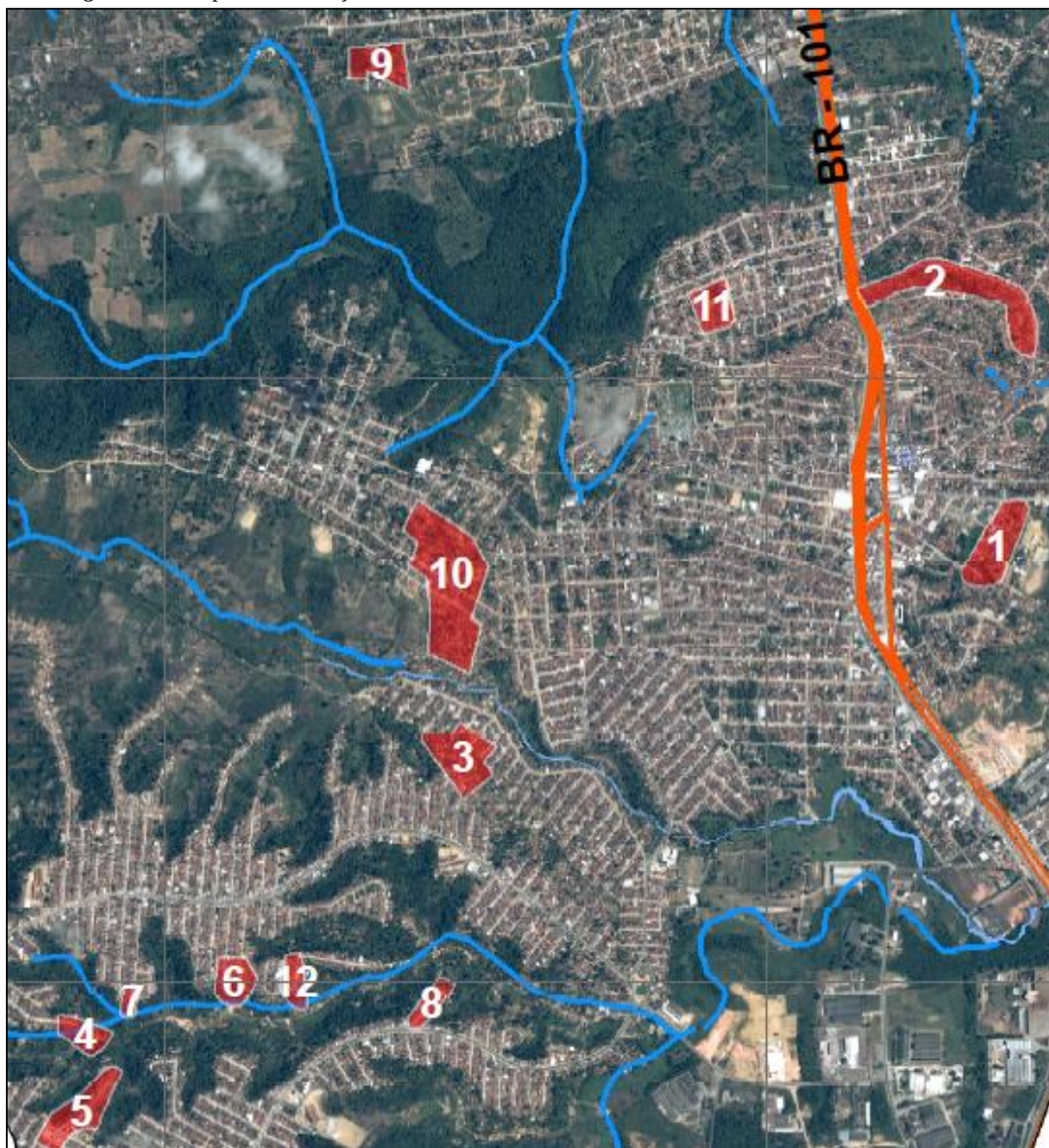
SETOR	QUANTIDADE DE SUBSETORES	ÁREA (ha)	PROCESSOS ATUANTES
01	6	3,39	Deslizamento e erosão
02	7	5,95	Deslizamento
03	7	3,36	Deslizamento e erosão
04	5	1,44	Deslizamento e erosão
05	4	3,14	Deslizamento e erosão
06	3	1,84	Deslizamento e erosão
07	2	0,51	Deslizamento e erosão
08	2	1,16	Deslizamento e erosão
09	4	2,58	Deslizamento
10	9	9,46	Deslizamento
11	4	1,94	Deslizamento
12	2	1,14	Deslizamento e erosão

Fonte: Coutinho (2015)

Dentre as atividades de campo foram realizadas entrevistas em, pelo menos, 25% das casas existentes nos setores de estudo, totalizando assim 301 casas entrevistadas. Estas entrevistas aos moradores foram focadas para obtenção de informações da vulnerabilidade físico-ambiental e social. Para cada casa entrevistada, foram registradas as coordenadas espaciais e fotografadas suas principais características importantes para avaliação do risco.

A suscetibilidade foi obtida através de formulários de investigação dos setores de risco, realizados por técnicos das áreas de geotecnia, geologia, geomorfologia e pedologia. O apoio da cartografia local foi também essencial para a obtenção dos parâmetros de suscetibilidade.

Figura 6.1 – Mapa de localização dos setores de estudo dentro do centro urbano de Abreu e Lima ⁽¹⁾



Fonte: GESEP (2015)

Nota:

- (1) Para efeito de melhor visualização das informações, a escala foi alterada, permitindo assim identificar os dados obtidos para cada um dos subsetores no formato da impressão de papel tamanho A-4.

6.2 A avaliação da vulnerabilidade

A metodologia aqui empregada para avaliação da vulnerabilidade avaliou as condições físico-ambientais e sociais, observando-se para isto as condições das edificações, a infraestrutura local e as condições sociais dos moradores e da comunidade. Assim como coloca a PNUD (2004), a vulnerabilidade é resultante da ação de fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais. A atuação destes parâmetros determina a probabilidade e escala dos danos que podem ser gerados para as pessoas e estruturas envolvidas.

Para melhor avaliar os parâmetros estudados, a vulnerabilidade foi então dividida em duas dimensões: vulnerabilidade físico-ambiental e vulnerabilidade social.

6.2.1 Dimensão física-ambiental

Nesta avaliação, foram analisadas as informações levantadas em campo com foco à obtenção de respostas para o entendimento da densidade de ocupação da área, o padrão construtivo das edificações, a existência e a qualidade dos acessos, a existência de possíveis danos nas edificações e a infraestrutura local disponível. O Quadro 6.2 apresenta os resultados obtidos para o Grau de Vulnerabilidade na Dimensão Física-ambiental (GV_{DFA}), com a indicação do grau de cada um dos seus indicadores (G_{Ind}).

Dentre os parâmetros avaliados, verificou-se que os indicadores “Características do acesso às edificações” e “Localização da edificação” são os itens mais preocupantes, visto que para determinados setores, estes indicadores apresentaram índices elevados. Os indicadores “Características das edificações” e “Quantidade de edificações” apresentaram índices elevados para determinados subsetores, não refletindo, contudo, a situação geral do setor. Os indicadores “Características do acesso ao subsetor” e “Infraestrutura básica” não apresentaram índices elevados.

A partir dos resultados obtidos para o Grau do Indicador (G_{Ind}), são apresentadas as características de campo observadas para cada um dos indicadores avaliados. Os comentários e registros fotográficos apresentados contribuem com dados informativos para a gestão do risco do Município.

Quadro 6.2 – Apresentação do Grau de Vulnerabilidade na Dimensão Física-Ambiental e de seus indicadores

ÁREA DA ANÁLISE		GRAU DOS INDICADORES DE VULNERABILIDADE FÍSICA-AMBIENTAL						GRAU DE VULN. DIMENSÃO FÍSICA- AMBIENTAL (GV _{DFA})
Setor (Área)	Subsetor	Quant. de edificações	Caract. das edificações	Caract. do acesso às edificações	Caract. do acesso ao setor	Localização da edificação	Infraestrutura básica	
1 (Centro)	1	1,00	1,56	2,17	1,75	3,30	1,60	1,95
	2	1,00	1,56	2,20	1,75	3,60	1,60	2,01
	3	2,00	1,47	2,64	1,68	3,60	1,91	2,25
	4	2,00	1,57	1,50	1,75	2,30	1,52	1,79
	5	1,00	1,66	3,17	1,67	3,60	2,03	2,23
	6	1,00	1,64	3,50	1,75	3,60	1,76	2,25
2 (Fosfato)	7	4,00	1,71	1,50	1,82	2,30	1,60	2,14
	8	3,00	1,67	1,55	1,73	2,30	1,60	1,98
	9	2,00	1,69	1,50	1,73	2,30	1,60	1,82
	10	3,00	1,85	3,64	1,75	3,60	1,64	2,59
	11	2,00	2,65	3,75	1,75	3,60	1,64	2,62
	12	2,00	1,81	3,44	1,78	3,60	1,60	2,41
	13	1,00	2,00	4,00	1,75	3,60	1,60	2,37
3 (Rua 107, Caetés I)	14	2,00	1,62	3,33	1,67	1,00	1,60	1,81
	15	1,00	1,75	3,50	1,69	2,80	1,64	2,08
	16	1,00	1,60	3,10	1,90	3,00	1,60	2,06
	17	1,00	1,62	2,40	2,00	1,00	1,50	1,56
	18	2,00	1,81	2,92	1,83	3,60	1,60	2,33
	19	2,00	1,54	1,21	1,61	1,40	1,39	1,52
	20	2,00	1,50	1,33	1,58	3,60	1,35	1,96
4 (Rua 148, Caetés I)	21	1,00	1,79	3,67	1,50	3,60	1,60	2,24
	22	1,00	1,68	3,63	1,50	3,60	1,64	2,22
	23	1,00	1,58	3,63	1,75	3,60	1,60	2,23
	24	1,00	1,80	4,00	1,75	3,60	1,60	2,33
	25	1,00	1,57	2,83	1,75	1,00	1,60	1,59

Quadro 6.2 – Apresentação do Grau de Vulnerabilidade na Dimensão Física-Ambiental e de seus indicadores (continuação)

ÁREA DA ANÁLISE		GRAU DOS INDICADORES DE VULNERABILIDADE FÍSICA-AMBIENTAL						GRAU DE VULN. DIMENSÃO FÍSICA- AMBIENTAL (GV _{DFA})
Setor (Área)	Subsetor	Quant. de edificações	Caract. das edificações	Caract. do acesso às edificações	Caract. do acesso ao setor	Localização da edificação	Infraestrutura básica	
5 (Vila União)	26	1,00	2,00	2,75	1,31	3,60	1,73	2,14
	27	1,00	1,83	1,63	1,25	3,60	1,54	1,90
	28	1,00	1,46	1,50	1,75	2,70	1,60	1,71
	29	1,00	1,98	1,50	1,65	1,80	1,50	1,60
6 (Ruas 128 e 129, Caetés I)	30	1,00	1,74	1,83	1,58	1,80	1,13	1,54
	31	2,00	1,48	1,19	1,66	1,00	1,25	1,41
	32	1,00	1,67	1,00	1,75	1,00	1,43	1,31
7 (Rua 137, Caetés I)	33	1,00	1,93	1,50	1,75	2,70	1,60	1,80
	34	1,00	1,60	1,30	1,75	1,00	1,20	1,31
8 (Rua 26, Caetés II)	35	1,00	1,48	1,30	1,60	1,00	1,60	1,32
	36	1,00	1,57	1,50	1,75	2,70	1,60	1,73
9 (Desterro)	37	1,00	1,46	3,17	1,75	2,40	1,70	1,92
	38	1,00	1,58	3,88	1,69	1,80	1,64	1,91
	39	2,00	1,98	3,19	1,72	1,80	1,66	2,04
	40	1,00	1,60	2,50	1,50	1,80	1,60	1,67
10 (Planalto)	41	1,00	1,77	2,33	1,92	1,80	1,42	1,71
	42	1,00	1,80	1,40	1,75	1,80	1,56	1,58
	43	2,00	2,38	2,56	1,78	1,80	1,77	2,05
	44	1,00	1,50	1,50	1,75	1,00	1,50	1,36
	45	2,00	1,60	2,78	1,69	1,80	1,60	1,89
	46	3,00	1,58	1,83	1,75	1,80	1,61	1,90
	47	2,00	1,73	3,38	1,81	1,80	1,54	2,02
	48	2,00	1,70	2,92	1,71	1,80	1,60	1,93

Quadro 6.2 – Apresentação do Grau de Vulnerabilidade na Dimensão Física-Ambiental e de seus indicadores (continuação)

ÁREA DA ANÁLISE		GRAU DOS INDICADORES DE VULNERABILIDADE FÍSICA-AMBIENTAL						GRAU DE VULN. DIMENSÃO FÍSICA- AMBIENTAL (GV _{DFA})
Setor (Área)	Subsetor	Quant. de edificações	Caract. das edificações	Caract. do acesso às edificações	Caract. do acesso ao setor	Localização da edificação	Infraestrutura básica	
11 (Matinha)	49	1,00	1,53	2,00	1,69	1,00	1,60	1,45
	50	1,00	1,77	2,50	1,58	1,90	1,43	1,71
	51	1,00	1,70	1,50	1,50	1,80	1,54	1,53
	52	1,00	1,70	3,00	1,50	1,80	1,60	1,77
	53	1,00	1,50	2,25	1,63	1,40	1,60	1,55
12 (Rua 124, Caetés I)	54	1,00	1,75	1,13	1,75	1,80	1,48	1,51
	55	1,00	1,55	1,13	1,69	1,00	1,58	1,32

- **Indicador “Características do acesso às edificações”:**

Os Setores 1, 2, 3, 4, 5, 9, 10 e 11, apresentaram $G_{Ind} > 2,50$, resultando assim classificações para este grau do indicador como “alto” e “muito alto”. Estes resultados refletem a necessidade de implantação de escadarias e rampas com corrimões laterais, permitindo desta forma a circulação segura dos moradores ao longo das encostas. Atualmente, a população sofre com dificuldades de deslocamento dentro do setor, visto que em determinadas áreas são utilizadas rampas improvisadas na superfície do solo natural, como demonstram as Fotos 6.1 (a) e (b). Em dias chuvosos, aumenta o risco de acidentes provocados durante a circulação dos moradores.

Foto 6.1 – (a) Acesso improvisado às casas do Setor 10; (b) Acesso improvisado às casas do Setor 9.



Fonte: A autora

- **Indicador “Localização da edificação”:**

Os Setores 1, 2, 3, 4, 5, 7 e 8, apresentaram os piores índices para este indicador, com $G_{Ind} > 2,50$. Estes resultados são muito comuns em áreas de encostas com ocupações desordenadas, isto porque a população pratica com frequência as atividades de corte e aterro para nivelamento de pequenas áreas onde serão então construídas suas moradias. Tendo como sub-indicadores a posição da edificação no talude, e suas distâncias em relação ao topo e à base do talude, este indicador reflete assim o risco de deslizamento e de soterramento da edificação. As Fotos 6.2 (a) e (b) apresentam áreas onde este indicador apresentou índices elevados.

Foto 6.2 – (a) Proximidade da casa em relação ao topo do talude apresentando risco de deslizamento. Local: Setor 4; (b) Proximidade de casas em relação ao topo do talude (risco de deslizamento), e proximidade de casas em relação à base do talude (risco de soterramento). Local: Setor 2.



Fonte: A autora.

Durante visitas a campo, percebe-se que algumas moradias que se encontravam localizadas em áreas muito próximas às bordas e às bases das encostas foram demolidas pela Prefeitura Municipal de Abreu e Lima, sendo seus moradores removidos para conjuntos habitacionais construídos para alocação destas famílias. Outros casos foram registrados de famílias removidas destas áreas e beneficiadas com recursos financeiros para auxiliar o pagamento de aluguéis de moradias em locais seguros. A decisão de remoção das moradias das áreas de risco foi fundamentada em recomendações citadas no PMRR de Abreu e Lima e em visitas de inspeção realizadas por equipes da Defesa Civil. As Fotos 6.3 (a) e (b) apresentam áreas onde é possível constatar que houve a demolição da moradia.

Foto 6.3 – (a) Casa demolida por recomendação da Defesa Civil na área do Setor 5; (b) Casa demolida por recomendação do PMRR.



Fonte: A autora

- **Indicador “Características das edificações”:**

Este indicador representa o padrão construtivo das moradias e a existência de possíveis danos em sua estrutura. O uso de determinados materiais na construção das moradias reflete a resistência da edificação em relação ao impacto dos materiais mobilizados pelos deslizamentos. Como por exemplo, casas em alvenarias apresentam maior resistência ao impacto que casas construídas em taipa. Quase que a totalidade das casas existentes nos setores estudados, apresenta o uso de materiais construtivos resistentes na sua estrutura, refletindo assim a obtenção de reduzidos graus para este indicador. O Setor 2 apresentou o subsetor 11 com grau elevado para este indicador, por existir na área algumas casas de taipa e casas com fissuras nas paredes devido a movimento de massa na área. As Fotos 6.4 (a) e (b) apresentam algumas destas casas avaliadas.

Foto 6.4 – (a) Casa com paredes de taipa. Local: Setor 2 ; (b) muro de casa com fissuras devido à ocorrência de deslizamento. Local: Setor 2.



Fonte: A autora

- **Indicador “Quantidade de edificações”**

Este indicador reflete o número de edificações que podem ser atingidas e a concentração populacional. Seu grau pode ser utilizado na tomada de decisões de áreas prioritárias de intervenção. Em geral, quanto maior o número de edificações presentes no subsetor, maiores poderão ser os danos financeiros e humanos. Dentre as áreas avaliadas, percebeu-se que as casas apresentam distâncias razoáveis entre outras construções, não havendo, em geral grande concentração de edificações. Assim, o grau deste indicador apresentou índices elevados apenas no Setor 2 (43% dos subsetores), e Setor 10 (13% dos subsetores). Bandeira (2010) ao comentar sobre o PMRR de Recife, Jaboatão e Camaragibe,

cita que a alta densidade de ocupação nas áreas de morro é um fator que aumenta a vulnerabilidade das áreas de risco.

- **Indicador “Características do acesso ao setor”**

Dentre os setores avaliados, percebe-se que as áreas próximas dispõem de boas vias de circulação com existência de pavimento asfáltico ou pavimento em paralelos. Os acessos existentes permitem, no geral, a aproximação de veículos de médio a grande porte, o que reflete boas condições para ocasiões de prestação de socorro às possíveis vítimas, incluindo-se também a remoção dos pertences dos moradores, quando necessário. As Fotos 6.5 (a) e (b) apresentam exemplo destes acessos identificados em campo.

Foto 6.5 – (a) Rua de acesso ao Setor 1; (b) Rua de acesso ao Setor 12.



Fonte: A autora

- **Indicador “Infraestrutura básica”**

Este indicador apresentou índices com graus inferiores a 2,50, resultando assim níveis de classificações “baixo” e “médio”. Dentre os subindicadores avaliados, verifica-se que em todos os setores, as moradias são servidas de abastecimento de água e energia elétrica. A coleta de lixo é um item também satisfatório, visto que existe coleta regular dentro dos setores, ou em vias próximas. Foi observado que devido à falta de instrução da população, ou mesmo à falta de educação, percebe-se que em determinados locais, os moradores ignoram a coleta de lixo por parte da Prefeitura lançando assim o lixo produzido em encostas próximas às moradias. Esta é uma prática que prejudica a estabilidade das encostas, contribuindo assim para ocorrência de deslizamentos. As Fotos 6.6 (a) e (b) apresentam locais onde, de acordo

com os moradores, existe coleta regular de lixo com frequência de três vezes por semana, contudo, parte da população lança o lixo em encostas próximas às suas moradias.

Foto 6.6 – (a) Lançamento de lixo em encosta do Setor 3; (b) Lançamento de lixo em encosta do Setor 5



Fonte: A autora

Muitos dos setores avaliados não dispõem de esgotamento sanitário, tendo assim os dejetos produzidos, armazenados em fossas rústicas, que constantemente umedecem e saturam o solo, provocando assim condição propícia a deslizamento. Em várias áreas foram encontrados também lançamentos superficiais de águas servidas, conduzindo assim a ocorrência de processo erosivo. As Fotos 6.7 (a) e (b) apresentam os registros destas ocorrências em campo.

Foto 6.7 – (a) Construção de fossa rústica em encosta. Local: Setor 11; (b) Lançamento de águas servidas sobre o solo desprotegido. Local: Setor 3.



Fonte: A autora

Diante dos fortes impactos negativos que podem gerar a falta de esgotamento sanitário, verifica-se que este subindicador mereceria maior peso (P_{Sind}) dentro da análise

feita, implicando assim na elevação do grau do indicador “Infraestrutura básica”. Na pesquisa aqui desenvolvida, o subindicador “Esgotamento sanitário” representa apenas 25% do indicador “Infraestrutura básica”.

6.2.2 Dimensão Social

A Vulnerabilidade na Dimensão Social é avaliada através de indicadores e subindicadores que refletem a condição social do indivíduo diante de sua moradia (e familiares), e como parte integrante do grupo comunitário, tudo isto com foco aos parâmetros voltados às situações de exposição ao risco. É também analisada a situação social das famílias voltada para recuperação dos danos provocados após o risco, esta é a chamada resiliência. Indicadores como quantidade de moradores na residência, renda domiciliar *per capita*, condições de mobilidade dos indivíduos, o acesso aos meios de comunicação, problemas sociais existentes na comunidade, existência e atuação de liderança comunitária e a existência de estruturas de apoio institucional para prestação de serviços às pessoas que residem em áreas de risco.

O Quadro 6.3 apresenta os resultados obtidos para o Grau de Vulnerabilidade na Dimensão Social (GV_{DS}), com a indicação do grau de cada um dos seus indicadores (G_{Ind}). A avaliação da Vulnerabilidade na Dimensão Social demonstra que 75% dos subsetores estudados indicam que a população apresenta GV_{DS} elevados, estando classificados no nível “alto”.

Ao analisar os dados obtidos, verifica-se que apenas os indicadores “Acesso aos meios de comunicação” e “Apoio institucional” apresentaram graus satisfatórios. Este fato deve-se às condições atuais de facilidade aos meios de comunicação nos grandes centros urbanos e, à existência de muitas estruturas de apoio institucional instaladas no Município, inclusive com boas condições de atendimento e localizadas próximas aos setores de risco.

Entre as moradias entrevistadas verificou-se que o perfil das famílias apresenta, no geral, baixa renda domiciliar *per capita*, ausência de meio de transporte particular e baixo grau de escolaridade. Estas informações refletem, durante situações de risco e pós-risco, as baixas condições das famílias de se autoprotegerem, além de grandes dificuldades de recuperação dos danos materiais sofridos, conduzindo assim à necessidade de apoio do poder público.

Na avaliação das condições da comunidade, foi identificada a existência de problemas sociais, a ausência de moradores treinados para situações de risco e baixo envolvimento, ou inexistência, de liderança comunitária apoiando ações voltadas para o risco.

6.2.3 Vulnerabilidade Final

O Quadro 6.4 apresenta o resumo do Grau de Vulnerabilidade na Dimensão Física-ambiental (GV_{DFA}) e o Grau de Vulnerabilidade na Dimensão Social (GV_{DS}), com a aplicação dos pesos 0,60 e 0,40, respectivamente, obteve-se então o Grau de Vulnerabilidade Final (GVF). As Figuras 6.2 (a), (b) e (c) apresentam o Mapa de Vulnerabilidade formado a partir dos resultados obtidos para todos os subsetores estudados.

Quadro 6.3 – Apresentação do Grau de Vulnerabilidade na Dimensão Social e de seus indicadores

ÁREA DA ANÁLISE		GRAU DOS INDICADORES DE VULNERABILIDADE SOCIAL									GRAU DE VULN. DIMENSÃO SOCIAL (GV _{DS})
Setor (Área)	Subsetor	Quant. de moradores	Renda domiciliar	Capacidade de mobilidade	Grau de escolaridade	Acesso aos meios de comunicação	Problemas sociais da comunidade	Moradores capacitados para o risco	Liderança comunitária	Apoio institucional	
1 (Centro)	1	2,00	3,00	4,00	2,00	1,00	2,75	4,00	4,00	1,52	2,63
	2	2,00	2,00	3,00	2,00	1,00	2,75	4,00	4,00	1,51	2,43
	3	2,00	3,00	3,70	2,00	1,00	3,25	2,50	4,00	1,49	2,49
	4	2,00	3,00	4,00	4,00	1,00	2,25	4,00	4,00	1,48	2,77
	5	3,00	3,00	3,70	3,00	1,00	2,75	2,50	4,00	1,48	2,74
	6	2,00	3,00	4,00	4,00	1,00	2,75	4,00	4,00	1,51	2,83
2 (Fosfato)	7	3,00	3,00	4,00	4,00	2,00	2,75	2,50	2,80	1,55	2,86
	8	2,00	3,00	4,00	4,00	1,00	2,50	1,00	4,00	1,57	2,51
	9	3,00	2,00	4,00	4,00	1,00	2,25	4,00	4,00	1,57	2,88
	10	4,00	2,00	4,00	4,00	2,00	2,75	2,50	4,00	1,57	3,08
	11	2,00	3,00	4,00	3,00	2,00	2,50	4,00	2,80	1,57	2,69
	12	2,00	3,00	4,00	4,00	1,00	2,25	4,00	4,00	1,54	2,78
	13	1,00	2,00	4,00	4,00	1,00	2,75	2,50	4,00	1,53	2,38
3 (Rua 107 Caetés I)	14	4,00	3,00	4,00	4,00	1,00	2,25	4,00	2,20	1,61	3,01
	15	3,00	3,00	3,70	4,00	1,00	2,50	4,00	2,20	1,61	2,80
	16	2,00	3,00	4,00	4,00	1,00	1,75	4,00	2,20	1,60	2,56
	17	2,00	3,00	4,00	3,00	1,00	1,75	2,50	2,50	1,60	2,34
	18	2,00	3,00	4,00	4,00	1,00	3,00	2,50	2,10	1,62	2,52
	19	2,00	3,00	3,70	4,00	1,00	3,50	4,00	4,00	1,58	2,88
	20	4,00	3,00	4,00	4,00	1,00	3,25	2,50	1,90	1,62	2,93

Quadro 6.3 – Apresentação do Grau de Vulnerabilidade na Dimensão Social e de seus indicadores (continuação)

ÁREA DA ANÁLISE		GRAU DOS INDICADORES DE VULNERABILIDADE SOCIAL									GRAU DE VULN. DIMENSÃO SOCIAL (GV _{DS})
Setor (Área)	Subsetor	Quant. de moradores	Renda domiciliar	Capacidade de mobilidade	Grau de escolaridade	Acesso aos meios de comunicação	Problemas sociais da comunidade	Moradores capacitados para o risco	Liderança comunitária	Apoio institucional	
4 (Rua 148, Caetés I)	21	2,00	3,00	4,00	2,00	1,00	2,50	4,00	2,40	2,08	2,50
	22	3,00	3,00	4,00	2,00	1,00	3,50	4,00	2,10	2,08	2,77
	23	3,00	3,00	4,00	4,00	1,00	2,25	4,00	2,20	2,08	2,85
	24	4,00	3,00	3,70	3,00	1,00	2,50	4,00	2,30	2,08	2,96
	25	2,00	3,00	3,70	2,00	1,00	2,25	4,00	2,20	2,09	2,42
5 (Vila União)	26	4,00	3,00	4,00	3,00	1,00	2,25	4,00	2,10	2,08	2,94
	27	3,00	3,00	4,00	2,00	1,00	2,00	4,00	1,90	2,09	2,60
	28	1,00	3,00	3,40	4,00	1,00	2,50	4,00	2,80	2,13	2,48
	29	1,00	3,00	3,70	2,00	1,00	3,00	4,00	2,80	2,09	2,36
6 (Ruas 128 e 129, Caetés I)	30	1,00	3,00	2,70	3,00	1,00	2,00	4,00	2,80	1,93	2,24
	31	3,00	3,00	3,70	2,00	1,00	1,75	4,00	2,80	1,93	2,62
	32	2,00	3,00	4,00	3,00	1,00	2,50	4,00	2,80	1,93	2,62
7 (Rua 137, Caetés I)	33	3,00	3,00	4,00	2,00	1,00	3,50	4,00	2,80	2,07	2,84
	34	2,00	3,00	4,00	3,00	1,00	1,75	4,00	4,00	2,06	2,68
8 (Rua 26, Caetés II)	35	2,00	3,00	3,70	2,00	1,00	1,75	4,00	2,30	1,78	2,35
	36	2,00	3,00	3,00	2,00	1,00	2,00	4,00	4,00	1,77	2,48
9 (Desterro)	37	2,00	2,00	3,70	4,00	1,00	2,50	4,00	2,80	1,90	2,59
	38	1,00	2,00	4,00	3,00	2,00	2,25	4,00	2,80	1,88	2,39
	39	4,00	2,00	4,00	4,00	1,00	2,75	4,00	2,80	1,88	3,04
	40	1,00	2,00	1,90	2,00	1,00	2,50	4,00	2,80	1,88	2,01

Quadro 6.3 – Apresentação do Grau de Vulnerabilidade na Dimensão Social e de seus indicadores (continuação)

ÁREA DA ANÁLISE		GRAU DOS INDICADORES DE VULNERABILIDADE SOCIAL									GRAU DE VULN. DIMENSÃO SOCIAL (GV _{DS})
Setor (Área)	Subsetor	Quant. de moradores	Renda domiciliar	Capacidade de mobilidade	Grau de escolaridade	Acesso aos meios de comunicação	Problemas sociais da comunidade	Moradores capacitados para o risco	Liderança comunitária	Apoio institucional	
10 (Planalto)	41	1,00	2,00	4,00	3,00	1,00	2,75	4,00	4,00	1,55	2,43
	42	1,00	2,00	4,00	3,00	1,00	3,50	1,00	4,00	1,56	2,21
	43	2,00	2,00	4,00	3,00	1,00	3,25	2,50	4,00	1,55	2,53
	44	1,00	2,00	3,70	2,00	1,00	2,25	4,00	4,00	1,56	2,25
	45	2,00	2,00	4,00	4,00	1,00	2,75	4,00	4,00	1,56	2,73
	46	2,00	2,00	4,00	3,00	1,00	2,75	4,00	4,00	1,56	2,63
	47	2,00	2,00	4,00	4,00	1,00	3,00	4,00	4,00	1,55	2,76
	48	3,00	2,00	4,00	4,00	1,00	3,25	4,00	4,00	1,54	2,98
11 (Matinha)	49	1,00	3,00	3,30	3,00	1,00	3,25	4,00	4,00	1,56	2,51
	50	2,00	3,00	4,00	3,00	1,00	2,75	2,50	4,00	1,51	2,58
	51	3,00	3,00	4,00	3,00	1,00	2,75	2,50	4,00	1,49	2,77
	52	3,00	3,00	4,00	3,00	1,00	3,75	2,50	4,00	1,53	2,88
	53	1,00	3,00	4,00	3,00	1,00	3,75	4,00	4,00	1,52	2,63
12 (Rua 124, Caetés I)	54	2,00	3,00	4,00	3,00	1,00	2,50	4,00	2,40	1,92	2,58
	55	2,00	3,00	3,70	4,00	1,00	2,75	4,00	2,80	1,92	2,72

Figura 6.2 (a) – Mapa de Vulnerabilidade Final (Setores 2, 9 e 11) ⁽¹⁾



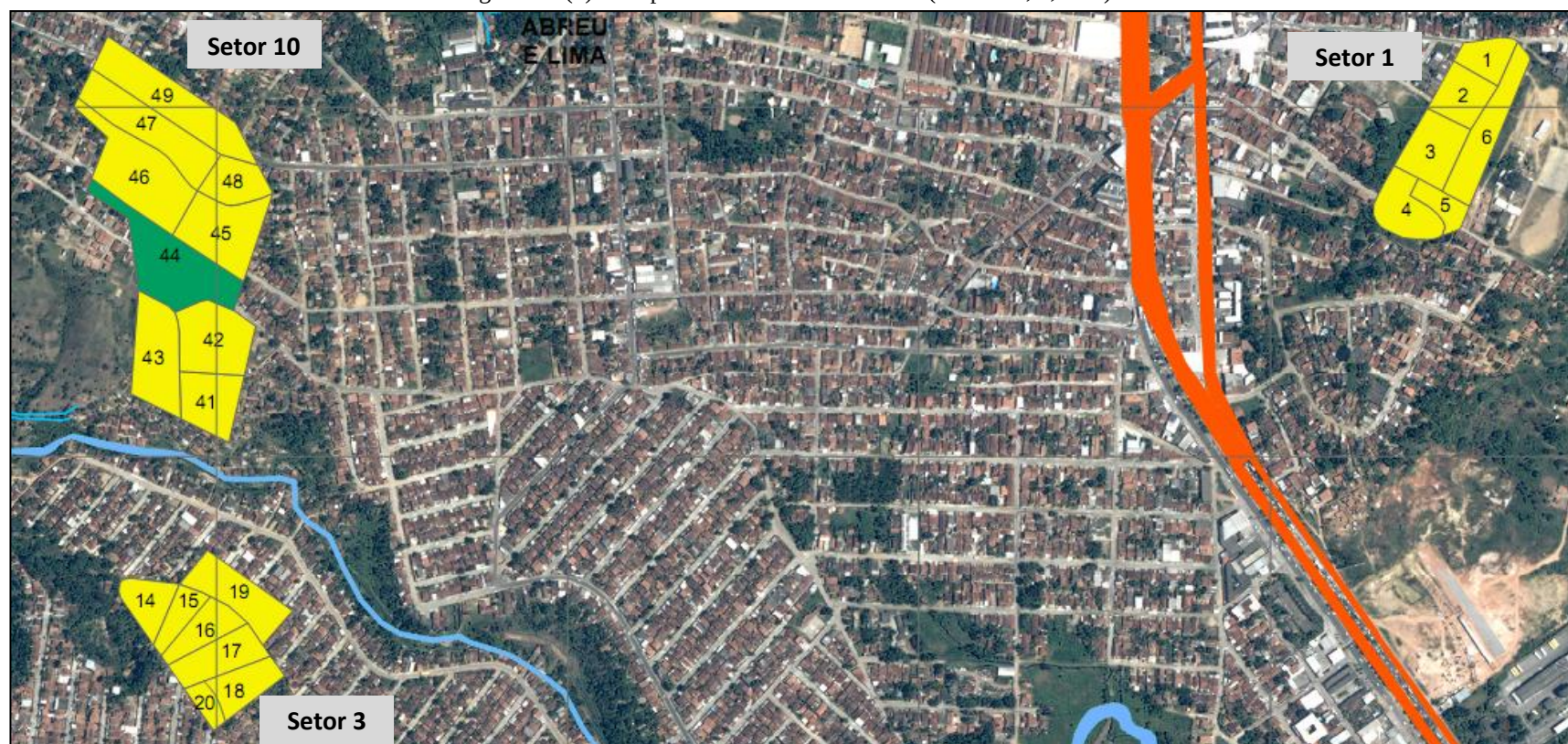
Legenda:



Nota:

- (1) Para efeito de melhor visualização das informações, a escala foi alterada, permitindo assim identificar os dados obtidos para cada um dos subsetores no formato da impressão de papel tamanho A-4.

Figura 6.2 (b) – Mapa de Vulnerabilidade Final (Setores 1, 3, e 10) ⁽¹⁾



Legenda:



Nota:

- (1) Para efeito de melhor visualização das informações, a escala foi alterada, permitindo assim identificar os dados obtidos para cada um dos subsetores no formato da impressão de papel tamanho A-4.

Figura 6.2 (c) – Mapa de Vulnerabilidade Final (Setores 4, 5, 6, 7, 8 e 12) ⁽¹⁾



Legenda:



Nota:

- (1) Para efeito de melhor visualização das informações, a escala foi alterada, permitindo assim identificar os dados obtidos para cada um dos subsetores no formato da impressão de papel tamanho A-4.

Quadro 6.4 – Apresentação do Grau de Vulnerabilidade Final.

ÁREA DA ANÁLISE		GRAU DAS DIMENSÕES DA VULNERABILIDADE		VULNERABILIDADE FINAL	
Setor (Área)	Subsetor	Física-ambiental (GV _{DFA})	Social (GV _{DS})	Grau (GVF)	Classificação
1 (Centro)	1	1,95	2,63	2,22	Médio
	2	2,01	2,43	2,18	Médio
	3	2,25	2,49	2,35	Médio
	4	1,79	2,77	2,18	Médio
	5	2,23	2,74	2,44	Médio
	6	2,25	2,83	2,48	Médio
2 (Fosfato)	7	2,14	2,86	2,43	Médio
	8	1,98	2,51	2,19	Médio
	9	1,82	2,88	2,25	Médio
	10	2,59	3,08	2,79	Alto
	11	2,62	2,69	2,65	Alto
	12	2,41	2,78	2,55	Alto
	13	2,37	2,38	2,37	Médio
3 (Rua 107, Caetés I)	14	1,81	3,01	2,29	Médio
	15	2,08	2,80	2,37	Médio
	16	2,06	2,56	2,26	Médio
	17	1,56	2,34	1,87	Médio
	18	2,33	2,52	2,41	Médio
	19	1,52	2,88	2,06	Médio
	20	1,96	2,93	2,35	Médio
4 (Rua 148, Caetés I)	21	2,24	2,50	2,35	Médio
	22	2,22	2,77	2,44	Médio
	23	2,23	2,85	2,48	Médio
	24	2,33	2,96	2,58	Alto
	25	1,59	2,42	1,92	Médio
5 (Vila União)	26	2,14	2,94	2,46	Médio
	27	1,90	2,60	2,18	Médio
	28	1,71	2,48	2,02	Médio
	29	1,60	2,36	1,91	Médio
6 (Ruas 128 e 129, Caetés I)	30	1,54	2,24	1,82	Médio
	31	1,41	2,62	1,89	Médio
	32	1,31	2,62	1,84	Médio
7 (Rua 137, Caetés I)	33	1,80	2,84	2,22	Médio
	34	1,31	2,68	1,86	Médio
8 (Rua 26, Caetés II)	35	1,32	2,35	1,73	Baixo
	36	1,73	2,48	2,03	Médio

Quadro 6.4 – Apresentação do Grau de Vulnerabilidade Final (continuação).

ÁREA DA ANÁLISE		GRAU DAS DIMENSÕES DA VULNERABILIDADE		VULNERABILIDADE FINAL	
Setor (Área)	Subsetor	Física-ambiental (GV _{DFA})	Social (GV _{DS})	Grau (GVF)	Classificação
9 (Desterro)	37	1,92	2,59	2,19	Médio
	38	1,91	2,39	2,10	Médio
	39	2,04	3,04	2,44	Médio
	40	1,67	2,01	1,81	Médio
10 (Planalto)	41	1,71	2,43	2,00	Médio
	42	1,58	2,21	1,83	Médio
	43	2,05	2,53	2,24	Médio
	44	1,36	2,25	1,72	Baixo
	45	1,89	2,73	2,23	Médio
	46	1,90	2,63	2,20	Médio
	47	2,02	2,76	2,31	Médio
	48	1,93	2,98	2,35	Médio
11 (Matinha)	49	1,45	2,51	1,87	Médio
	50	1,71	2,58	2,06	Médio
	51	1,53	2,77	2,03	Médio
	52	1,77	2,88	2,21	Médio
	53	1,55	2,63	1,98	Médio
12 (Rua 124, Caetés I)	54	1,51	2,58	1,94	Médio
	55	1,32	2,72	1,88	Médio

6.3 Suscetibilidade

A suscetibilidade foi avaliada através do levantamento de informações referentes aos indicadores “Geologia-geotecnia”, “Geomorfologia” e “Uso e ocupação”, considerando-se para isto seus respectivos pesos. De forma similar foram também analisados os subindicadores que formam o entendimento de cada um destes indicadores.

Para definição dos pesos atribuídos foram tomadas experiências anteriores na literatura geral, como exemplo, destaca-se: os diversos estudos em áreas de Formação Barreiras já realizados na Região Metropolitana do Recife, os estudos de Nishyama (1995) sobre o relevo das encostas e a condição de escoamento; os estudos de Loppes Trilho (1999) sobre a textura do solo e sua suscetibilidade ao processo erosivo.

- **Indicador “Geologia-geotecnia”**

A composição do indicador “Geologia-geotecnia” é formada da análise de subindicadores importantes ao entendimento do processo atuante. São exemplos destes subindicadores a formação geológica, as fácies da formação, a feição estrutural, o perfil e textura do solo, a pedologia, a possível existência de água na encosta e evidências de processos atuantes.

Dos 12 setores de estudo, 11 setores apresentam como característica geológica, os sedimentos da Formação Barreiras, com fácies de canal fluvial e presença de material areno-argiloso. Apenas o Setor 2 apresentou formação geológica do tipo Gramame, com presença de material argiloso de alta plasticidade.

As encostas estudadas constituídas pelos sedimentos da Formação Barreiras, principalmente aquelas com a presença de solo com textura mais arenosa, apresentaram suscetibilidade à ocorrência de processos erosivos (transporte de massa). Estudos realizados por Meira (2008) e Bandeira (2003), nas áreas do bairro do Ibura e município de Camaragibe, respectivamente, apresentaram a mesma constatação. Em Abreu e Lima, áreas com esta geologia formadas por encostas de elevadas inclinações, associadas à remoção da vegetação e drenagem deficiente, são caracterizadas por processo erosivo em estágio avançado, como é o caso dos Setores 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 12. Nestes setores, foram obtidos índices elevados para o G_{Ind} referente à “Geologia-geotecnia”. Os Setores 9, 10 e 11, apesar de serem também provenientes da Formação Barreiras, apresentaram índices menores para o indicador “Geologia”, este fato decorre da contribuição mais amena dos demais subindicadores analisados.

A área do Setor 2 caracteriza-se pela existência da Formação Gramame. Ao elaborar o PMRR da cidade em 2008, a autora Alheiros recomendou evitar o crescimento da comunidade sobre a área do bairro Fosfato que compõe este Setor de risco. Como apresentado, o histórico de ocorrência reforça a recomendação citada no PMRR. O Setor 2 é caracterizado pela presença de solo argiloso de alta plasticidade. Em determinadas áreas foram identificadas também moradias com fissuras nas paredes e piso, indicando evidências de movimento de massa na área. A avaliação deste conjunto de informações conduziu à obtenção de elevados índices para o grau do indicador “Geologia-geotecnia” em todos os subsetores que compõem o Setor 2.

- **Indicador “Geomorfologia”**

A análise deste indicador permite o maior entendimento do relevo local, possibilitando o conhecimento de sua influência no escoamento superficial e nos processos atuantes. São avaliados fatores como o tipo de relevo, a topografia da encosta e dos taludes (de corte e aterro), o perfil da encosta, a classe de curvatura e as características do escoamento superficial.

As áreas estudadas, exceto o Setor 2, apresentam geomorfologia do tipo Tabuleiros Costeiros, caracterizado por relevos de topo plano, com vertentes apresentando alta declividade, variando entre 18° e 31°. Formados a partir de deposições de solos provenientes da geologia da Formação Barreiras, em muitos casos o solo apresenta características argilo-arenosas. As encostas têm perfil convexo, com crescimento da declividade na direção da base das encostas, propiciando a elevação da velocidade do escoamento, resultando assim as áreas mais suscetíveis aos processos erosivos. Os Setores 1 e 3, por apresentarem encostas com maior inclinação, tiveram seu G_{Ind} mais elevados (entre 2,51 e 2,80), excluem-se deste comentário os subsetores 19 e 20, que localizam-se em áreas de relevo mais suave. Para os demais setores o relevo apresentou-se mais suave com classificação do risco médio para este indicador.

O Setor 2 apresenta geomorfologia do tipo Colinas, representadas por regiões com inclinações suaves e topos arredondados que resultaram da conformação da Formação Gramame. Suas encostas apresentam declividade média a baixa. O perfil das encostas neste Setor apresenta-se de forma côncava com declividades mais suaves em direção à base da encosta, o que proporciona redução na velocidade do escoamento, resultando em áreas menos suscetíveis à erosão. Assim neste Setor, o G_{Ind} apresentou valores amenos, entre 2,00 e 2,35 (classificação média).

- **Indicador “Uso e ocupação”**

A avaliação deste indicador é de extrema importância, visto que seu entendimento está intimamente ligado às ações antrópicas que determinam o padrão de uso e ocupação do solo. Muitos dos estudos sobre movimento e transporte de massa em áreas com ocupações desordenadas, destacam este indicador como fator determinante para a deflagração e intensificação dos processos.

A metodologia aqui empregada coloca a busca de informações a partir dos seguintes subindicadores: “Cobertura superficial” (tipo, condições e área abrangente); “Tratamentos existentes” (revestimento do solo e/ou estruturas de contenção); “Categoria de ocupação” (estágio e condições das ocupações); “Fatores antrópicos atuantes” (improvisações na infraestrutura de drenagem, abastecimento de água e esgoto; destino do lixo; ações de corte e aterro ao longo da encosta; vegetação utilizada e disposição de sobrecarga na encosta).

Este foi o indicador que apresentou os piores índices. Dentre os 55 subsetores estudados, 91% das análises apresentaram valores para o G_{Ind} variando entre 2,50 e 3,25, indicando classificação de risco alto. Este dado reflete as condições precárias desenvolvidas durante a evolução de ocupações desordenadas.

Alheiros et al. (2003), ao descrever a ocupação desordenada no entorno do Conjunto Habitacional de Caetés I e II (área onde estão inseridos os Setores 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 12 desta pesquisa), apresentou a Figura 6.3 para exemplificar um estudo de caso. A autora comenta que no Conjunto Caetés I (A), observam-se dois estratos de invasão, onde o primeiro (B) segue ocupando os topos dos espigões, divisores das drenagens, e um segundo (C) começa a ocupar as encostas, desguarnecidas de qualquer tratamento, com moradias de baixo padrão construtivo em condições ainda mais precárias. A remoção da cobertura vegetal vai-se generalizando nas encostas adjacentes, viabilizando mais invasões e comprometendo, em longo prazo, a mata de Caetés.

Figura 6.3 – Expansão desordenada no entorno do Conjunto Habitacional de Caetés



Fonte: Alheiros et al. (2003)

A falta de fiscalização e orientação por parte do poder público possibilita a livre atuação dos moradores em ações prejudiciais como demonstrado. Ações prejudiciais como as identificadas no ano de 2003, foram novamente identificadas neste estudo realizado durante as atividades de campo no ano de 2015.

Henrique (2014) ao realizar trabalhos de mapeamento de áreas de risco no bairro de Rurópolis, Ipojuca-PE, destaca que a forma de uso e ocupação do solo associada à altura das encostas, e às altas declividades, são fatores decisivos para o desencadeamento de deslizamentos e erosão. O autor comenta que diante dos resultados apresentados, ficou evidente que as ações antrópicas são decisivas no incremento do grau de suscetibilidade.

O Quadro 6.5 apresenta o resumo do Grau de Suscetibilidade com a indicação do Grau de cada um dos indicadores utilizados na análise. As Figuras 6.4 (a), (b) e (c) apresentam o Mapa de Suscetibilidade formado a partir dos resultados obtidos para todos os subsetores estudados.

Quadro 6.5 – Apresentação do Grau de Suscetibilidade Final e de seus indicadores.

ÁREA DA ANÁLISE		GRAU DOS INDICADORES DE SUSCETIBILIDADE			SUSCETIBILIDADE FINAL	
Sector (Área)	Subsetor	Geologia	Geomorfologia	Uso e ocupação	Grau (GSF)	Classificação
1 (Centro)	1	2,70	2,50	2,89	2,70	Alto
	2	2,40	2,55	2,24	2,40	Médio
	3	2,40	2,55	2,34	2,43	Médio
	4	2,70	3,80	3,49	3,36	Muito Alto
	5	2,40	3,80	3,37	3,29	Muito Alto
	6	2,40	2,55	2,89	2,61	Alto
2 (Fosfato)	7	3,15	2,20	2,58	2,64	Alto
	8	3,15	2,20	2,58	2,64	Alto
	9	3,15	2,20	2,58	2,64	Alto
	10	3,15	2,00	3,07	2,74	Alto
	11	3,15	2,35	3,01	2,84	Alto
	12	3,15	2,30	2,34	2,60	Alto
	13	3,15	2,35	2,52	2,67	Alto
3 (Rua 107, Caetés I)	14	3,10	2,51	3,01	2,87	Alto
	15	2,80	2,60	3,01	2,80	Alto
	16	3,10	2,60	3,01	2,90	Alto
	17	2,80	2,65	3,07	2,84	Alto
	18	2,80	2,70	3,07	2,86	Alto
	19	2,80	2,45	2,83	2,69	Alto
	20	2,80	2,40	3,01	2,74	Alto

Quadro 6.5 – Apresentação do Grau de Suscetibilidade Final e de seus indicadores.

ÁREA DA ANÁLISE		GRAU DOS INDICADORES DE SUSCETIBILIDADE			SUSCETIBILIDADE FINAL	
Setor (Área)	Subsetor	Geologia	Geomorfologia	Uso e ocupação	Grau (GSF)	Classificação
4 (Rua 148, Caetés I)	21	2,80	2,40	3,01	2,74	Alto
	22	2,80	2,40	2,14	2,45	Médio
	23	2,80	2,40	3,01	2,74	Alto
	24	2,80	2,40	3,01	2,74	Alto
	25	2,80	2,30	3,19	2,76	Alto
5 (Vila União)	26	2,90	2,40	3,07	2,79	Alto
	27	2,90	2,40	3,13	2,81	Alto
	28	2,90	2,45	3,13	2,83	Alto
	29	2,90	2,45	3,13	2,83	Alto
6 (Ruas 128 e 129, Caetés I)	30	2,90	2,25	2,30	2,48	Médio
	31	2,60	1,95	2,74	2,43	Médio
	32	2,90	2,25	2,65	2,60	Alto
7 (Rua 137, Caetés I)	33	2,70	2,40	2,77	2,62	Alto
	34	2,40	2,10	2,35	2,28	Médio
8 (Rua 26, Caetés II)	35	2,50	1,80	2,77	2,36	Médio
	36	2,80	3,50	3,85	3,38	Muito Alto
9 (Desterro)	37	2,05	1,95	3,07	2,36	Médio
	38	2,05	1,95	3,25	2,42	Médio
	39	2,05	1,90	3,19	2,38	Médio
	40	2,05	2,00	3,19	2,41	Médio
10 (Planalto)	41	2,30	1,95	3,01	2,42	Médio
	42	2,00	1,85	3,01	2,29	Médio
	43	2,30	1,90	2,89	2,36	Médio
	44	2,00	1,70	3,01	2,24	Médio
	45	2,30	1,95	2,34	2,20	Médio
	46	2,30	1,95	2,52	2,26	Médio
	47	2,30	1,95	2,83	2,36	Médio
	48	2,30	1,95	2,77	2,34	Médio
	49	2,00	1,75	2,95	2,23	Médio
11 (Matinha)	50	2,30	2,20	3,07	2,52	Alto
	51	2,30	2,20	3,07	2,52	Alto
	52	2,30	2,15	3,07	2,51	Alto
	53	2,00	2,05	2,95	2,33	Médio
12 (Rua 124, Caetés I)	54	2,70	3,85	3,56	3,37	Muito Alto
	55	2,40	1,90	3,04	2,45	Médio

Figura 6.4 (a) – Mapa de Suscetibilidade Final (Setores 2, 9 e 11) ⁽¹⁾



Legenda:



Nota:

- (1) Para efeito de melhor visualização das informações, a escala foi alterada, permitindo assim identificar os dados obtidos para cada um dos subsetores no formato da impressão de papel tamanho A-4.

Figura 6.4 (b) – Mapa de Suscetibilidade Final (Setores 1, 3 e 10) ⁽¹⁾



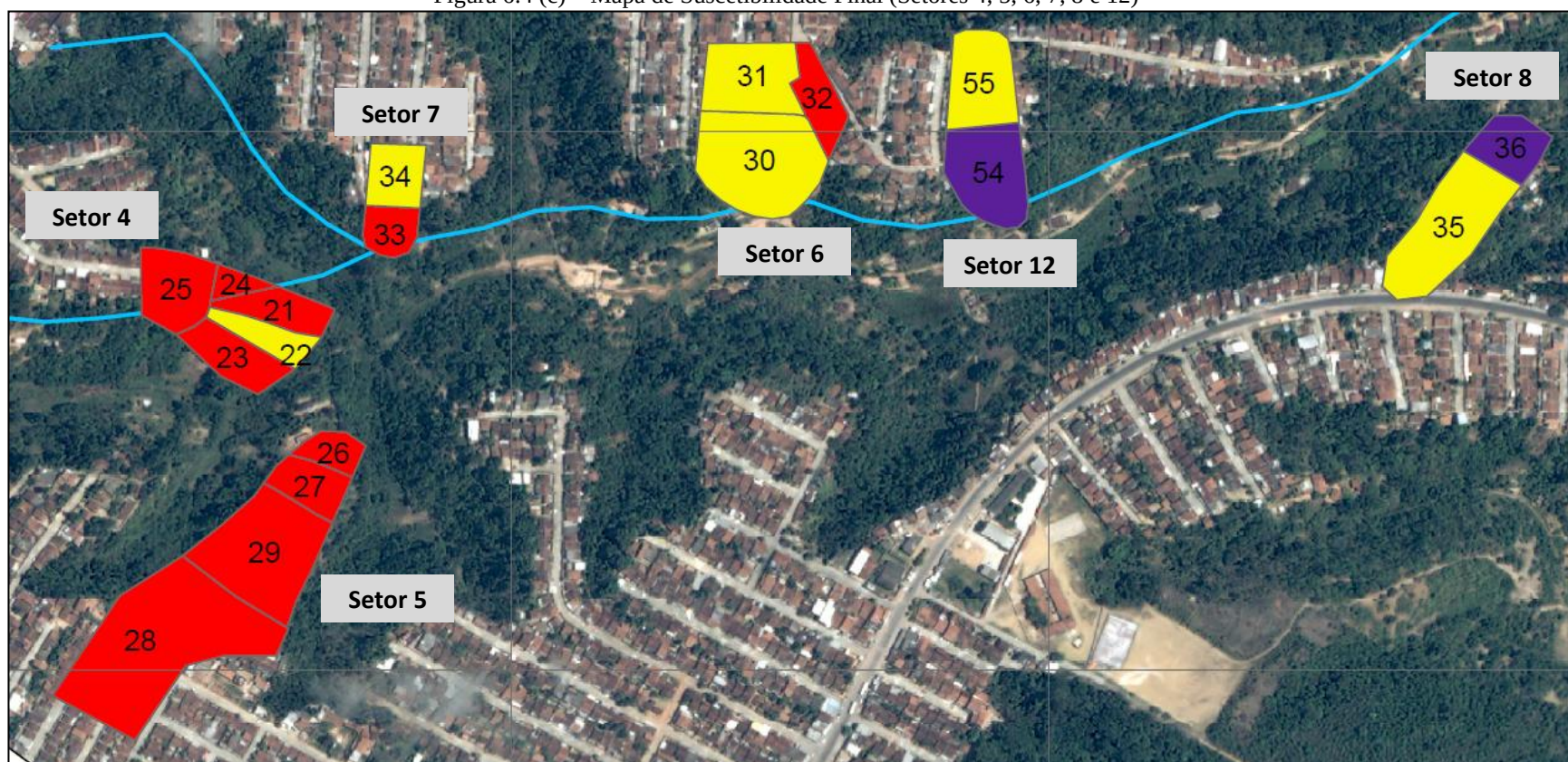
Legenda:



Nota:

- (1) Para efeito de melhor visualização das informações, a escala foi alterada, permitindo assim identificar os dados obtidos para cada um dos subsetores no formato da impressão de papel tamanho A-4.

Figura 6.4 (c) – Mapa de Suscetibilidade Final (Setores 4, 5, 6, 7, 8 e 12) ⁽¹⁾



Legenda:



Nota:

- (1) Para efeito de melhor visualização das informações, a escala foi alterada, permitindo assim identificar os dados obtidos para cada um dos subsectores no formato da impressão de papel tamanho A-4.

6.4 Risco final

A partir das análises dos fatores de Vulnerabilidade e Suscetibilidade é possível então conhecer o grau de perdas (materiais e humanas) e a potencialidade de ocorrência de processos destrutivos nas áreas estudadas. Conhecidas as classificações do Grau de Vulnerabilidade e do Grau de Suscetibilidade, determinou-se então a classificação do Grau de Risco, adotando-se a matriz de correlação proposta pelo GEGEP, conforme o Quadro 6.6.

Quadro 6.6 - Classificação do Grau de Risco conforme proposta GEGEP

Classificação do Grau de Suscetibilidade	Classificação do Grau de Vulnerabilidade			
	Muito Alto	Alto	Médio	Baixo
Muito Alto	Muito Alto	Muito Alto	Alto	Alto
Alto	Muito Alto	Alto	Alto	Médio
Médio	Alto	Alto	Médio	Médio
Baixo	Alto	Médio	Médio	Baixo

Fonte: Coutinho (2015)

A classificação do Risco Final para cada subsetor é apresentada no Quadro 6.7. As Figuras 6.5 (a), (b) e (c) apresentam o Mapa de Risco formado a partir dos resultados obtidos para todos os subsetores estudados.

Quadro 6.7 - Apresentação do Grau de Risco Final

ÁREA DA ANÁLISE		VULNERABILIDADE	SUSCETIBILIDADE	RISCO
SETOR (ÁREA)	SUBSETOR			
1 (Centro)	1	Médio	Alto	Alto
	2	Médio	Médio	Médio
	3	Médio	Médio	Médio
	4	Médio	Muito Alto	Alto
	5	Médio	Muito Alto	Alto
	6	Médio	Alto	Alto
2 (Fosfato)	7	Médio	Alto	Alto
	8	Médio	Alto	Alto
	9	Médio	Alto	Alto
	10	Alto	Alto	Alto
	11	Alto	Alto	Alto
	12	Alto	Alto	Alto
	13	Médio	Alto	Alto
3 (Rua 107, Caetés I)	14	Médio	Alto	Alto
	15	Médio	Alto	Alto
	16	Médio	Alto	Alto
	17	Médio	Alto	Alto
	18	Médio	Alto	Alto
	19	Médio	Alto	Alto
	20	Médio	Alto	Alto

Quadro 6.7 - Apresentação do Grau de Risco Final (continuação)

ÁREA DA ANÁLISE		VULNERABILIDADE	SUSCETIBILIDADE	RISCO
SETOR (ÁREA)	SUBSETOR			
4 (Rua 148,Caetés I)	21	Médio	Alto	Alto
	22	Médio	Médio	Médio
	23	Médio	Alto	Alto
	24	Alto	Alto	Alto
	25	Médio	Alto	Alto
5 (Vila União)	26	Médio	Alto	Alto
	27	Médio	Alto	Alto
	28	Médio	Alto	Alto
	29	Médio	Alto	Alto
6 (Ruas 128 e 129, Caetés I)	30	Médio	Médio	Médio
	31	Médio	Médio	Médio
	32	Médio	Alto	Alto
7 (Rua 137,Caetés I)	33	Médio	Alto	Alto
	34	Médio	Médio	Médio
8 (Rua 26, Caetés II)	35	Baixo	Médio	Médio
	36	Médio	Muito Alto	Alto
9 (Desterro)	37	Médio	Médio	Médio
	38	Médio	Médio	Médio
	39	Médio	Médio	Médio
	40	Médio	Médio	Médio
10 (Planalto)	41	Médio	Médio	Médio
	42	Médio	Médio	Médio
	43	Médio	Médio	Médio
	44	Baixo	Médio	Médio
	45	Médio	Médio	Médio
	46	Médio	Médio	Médio
	47	Médio	Médio	Médio
	48	Médio	Médio	Médio
11 (Matinha)	49	Médio	Médio	Médio
	50	Médio	Alto	Alto
	51	Médio	Alto	Alto
	52	Médio	Alto	Alto
	53	Médio	Médio	Médio
12 (Rua 124,Caetés I)	54	Médio	Muito Alto	Alto
	55	Médio	Médio	Médio

Figura 6.5 (a) – Mapa de Risco Final (Setores 2, 9 e 11) ⁽¹⁾



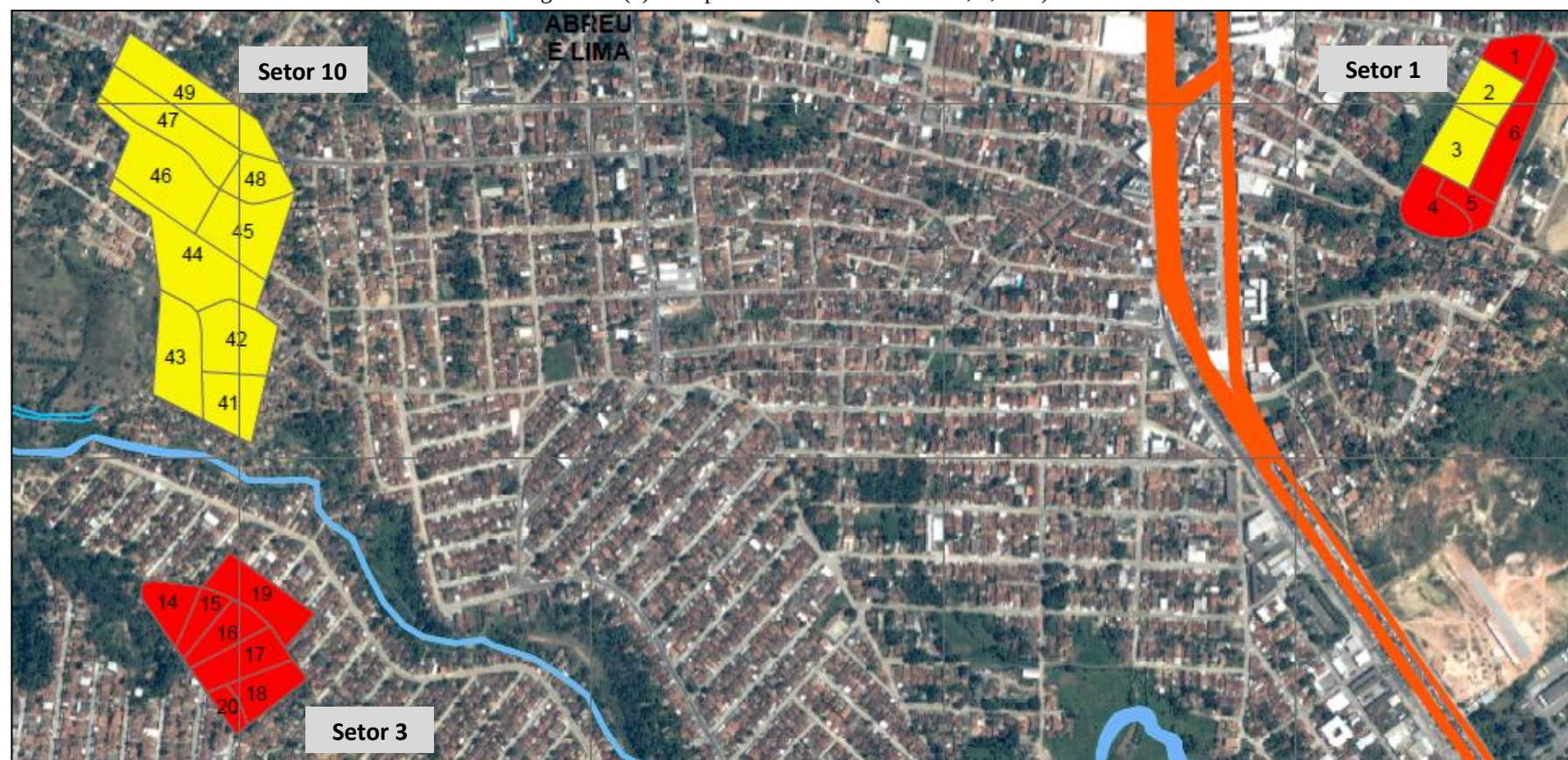
Legenda:



Nota:

- (1) Para efeito de melhor visualização das informações, a escala foi alterada, permitindo assim identificar os dados obtidos para cada um dos subsetores no formato da impressão de papel tamanho A-4.

Figura 6.5 (b) – Mapa de Risco Final (Setores 1, 3, e 10) ⁽¹⁾



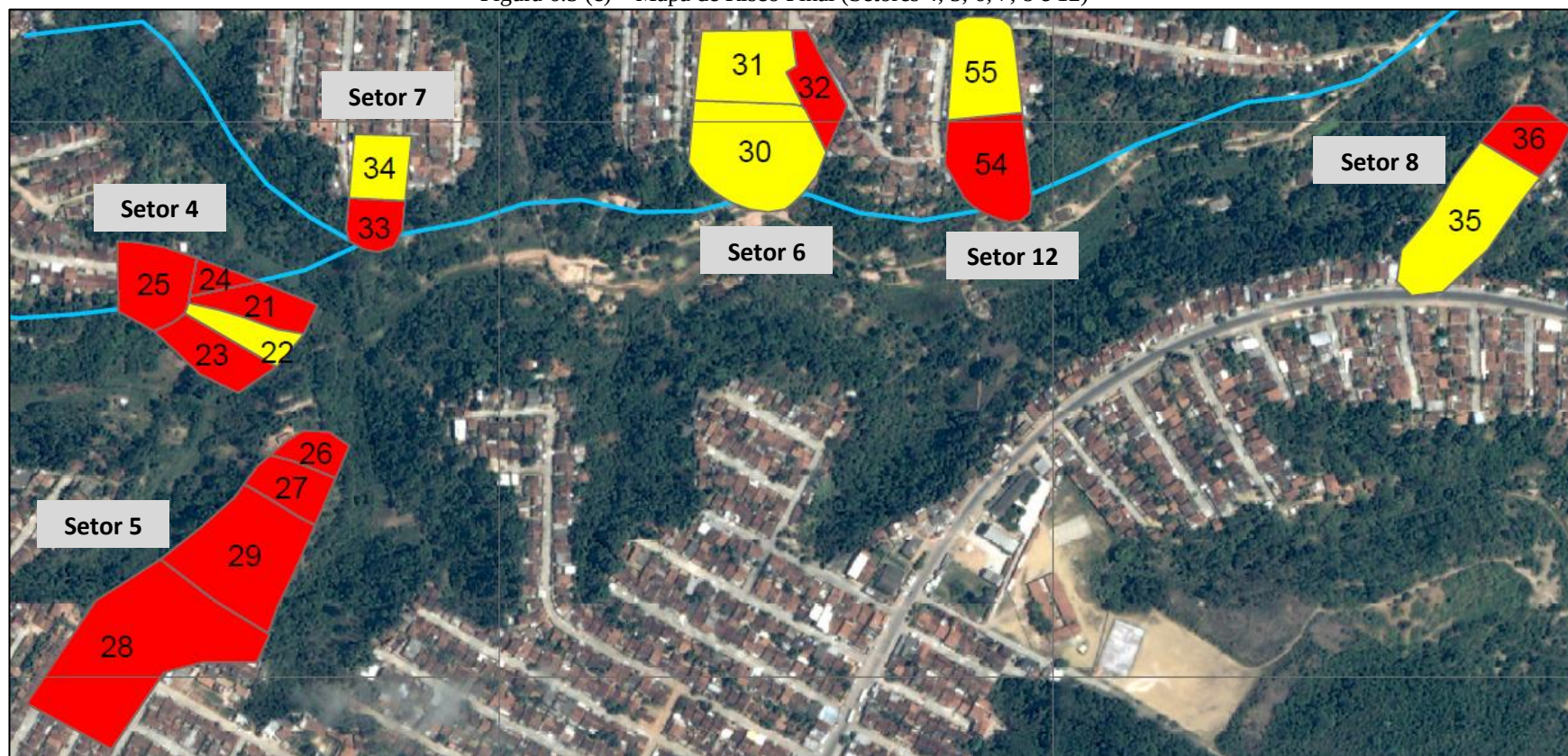
Legenda:



Nota:

- (1) Para efeito de melhor visualização das informações, a escala foi alterada, permitindo assim identificar os dados obtidos para cada um dos subsetores no formato da impressão de papel tamanho A-4.

Figura 6.5 (c) – Mapa de Risco Final (Setores 4, 5, 6, 7, 8 e 12) ⁽¹⁾



Legenda:



Nota:

- (1) Para efeito de melhor visualização das informações, a escala foi alterada, permitindo assim identificar os dados obtidos para cada um dos sub-setores no formato da impressão de papel tamanho A-4.

6.5 Avaliação institucional

Com o objetivo de conhecer a gestão do município quanto às questões referentes ao risco, constitui-se uma etapa deste trabalho o entendimento da capacidade de prevenção e de resposta do município às ocorrências deste âmbito. Assim, com a aplicação de um formulário elaborado pela equipe técnica do GEGEP, os representantes das secretarias municipais explanam as condições existentes de cada um de seus órgãos, possibilitando a obtenção de dados para avaliação da capacidade de resposta do município nos casos de desastres naturais. As secretarias entrevistadas de acordo com o formulário de avaliação do potencial de vulnerabilidade associados à dimensão institucional do município foram: Secretaria de Planejamento; Secretaria de Trabalho e Ação Social; Secretaria de Saúde; Secretaria de Educação; Secretaria de Obras; Secretaria de Agricultura e Meio Ambiente; Secretaria de Habitação.

Para o entendimento do planejamento e gestão municipal referente às questões de desastres naturais, foram solicitados documentos como o Plano Diretor Participativo (PDP), o Plano Municipal de Redução de Riscos (PMRR), e o Plano Municipal de Contingência (PLAMCON). O Município cedeu cópias de tais documentos possibilitando assim o acesso às informações complementares necessárias à análise institucional. Importante destacar que a descrição das avaliações aqui explanadas foi baseada em entrevistas com Secretários dos órgãos municipais influentes nas ações de gestão do risco, havendo assim a possibilidade da não totalidade da coerência das informações obtidas com as condições existentes no Município.

6.5.1 A atuação da Defesa Civil e Secretarias em ações de gestão do risco

Ao realizar entrevista com as secretarias citadas, verificou-se a inexistência de um plano de ação contínuo que integre as secretarias, com foco voltado para os assuntos referentes ao risco a desastres naturais. No entanto, mesmo que de forma pouco integrada, é possível verificar o trabalho isolado das secretarias em ações que contribuem para a prevenção de ocorrências, como também apoio às vítimas de danos já ocorridos. Percebe-se que é comum a disponibilidade dos Secretários e suas equipes para tratar dos assuntos voltados à gestão do risco. Assim, observam-se boas perspectivas para a possibilidade de união das secretarias para planejamento e desenvolvimento de trabalhos conjuntos voltados para a gestão do risco.

Iniciadas suas atividades no ano 2011, a Defesa Civil do Município de Abreu e Lima está ligada diretamente à Secretaria de Obras. Atualmente, a equipe da Defesa Civil, é formada por um diretor, um motorista e 4 (quatro) agentes. Um veículo tipo Kombi é disponibilizado exclusivamente para a Defesa Civil, permitindo assim agilidade nos atendimentos.

Ao ser questionado através do formulário específico voltado para este setor, o diretor da Defesa Civil demonstrou envolvimento e conhecimento das questões atuantes voltadas para o risco dentro do município. Os questionamentos apresentados neste formulário foram naturalmente entendidos e respondidos pelo diretor da Defesa Civil, que contribuiu também de forma complementar com outras informações não contidas no formulário.

Percebe-se que os agentes de defesa civil atuam também de forma preventiva com visitas de orientação aos moradores e entrega de panfletos informativos. Durante estas visitas, quando são identificados pontos de necessidade de intervenções do tipo corte de vegetação e colocação de lonas, os próprios agentes realizam tais atividades. Quando a necessidade de intervenções necessita de apoio de outras Secretarias, estas são acionadas através do diretor da Defesa Civil. O Diretor relata que dentro das solicitações de apoio feitas para outras Secretarias, de modo geral, o atendimento das demandas tem sido prestado.

No município de Abreu e Lima, verificou-se que não existe a formação de Núcleos Comunitários de Defesa Civil (NUDEC), conforme descreve a Política Nacional de Defesa Civil (PNDC). O modelo NUDEC propõe a formação de grupo de moradores voluntários voltados a atuarem de forma mais presente e focada para ações de risco. A atuação destes voluntários deve ser baseada num trabalho conjunto entre a Defesa Civil e a comunidade, possibilitando a união de esforços para prover ações positivas que contribuirão para a prevenção e minimização dos riscos de eventos adversos.

6.5.2 Os instrumentos de apoio e a atuação das Secretarias

A avaliação dos instrumentos de apoio que auxiliam na gestão do risco é também considerada no entendimento da Vulnerabilidade Institucional. Nesta etapa das atividades são pesquisados e estudados os planos que podem contribuir para melhorias do planejamento urbano, prevenção de riscos e apoio às vítimas em caso de ocorrência de acidentes. A seguir são descritas as avaliações de cada um destes instrumentos de apoio estudados:

a) Plano Diretor Participativo (PDP)

A Secretaria de Planejamento dispõe de PDP, elaborado em 2007, pela empresa Policonsult. De acordo com a Secretária, as ações de planejamento e gestão territorial são realizadas com base nas propostas apresentadas no Plano Diretor Participativo, possibilitando assim as melhores formas de ocupação buscando o atendimento às condições físicas, urbanísticas e ambientais.

O Plano Diretor Participativo de Abreu e Lima apresenta um panorama das características de uso e ocupação do solo nas áreas urbanas, rurais e zona industrial. O documento apresenta também propostas de soluções para os problemas existentes e para um melhor aproveitamento das potencialidades do município. São apresentadas recomendações de áreas com melhores condições para expansão urbana, com sugestões para adequada distribuição dos equipamentos, infraestrutura e serviços públicos necessários ao atendimento da comunidade.

b) Plano Municipal de Redução de Riscos (PMRR)

O município de Abreu e Lima dispõe de PMRR, que foi elaborado em 2008 pela empresa Cunha Lanfermann Engenharia & Urbanismo, com o objetivo de mapear áreas de risco em encostas, utilizando-se para isto uma escala de detalhe. O PMRR apresenta-se em quatro produtos divididos de acordo com as etapas dos serviços desenvolvidos: Produto 1 – Proposta de Trabalho Detalhada; Produto 2 – Relatório do Mapeamento de Risco; Produto 3 – Relatório das Propostas de Intervenções Estruturais e Não Estruturais; Produto 4 - Relatório Final do PMRR.

Dentre as informações contidas no PMRR, destacam-se as propostas de intervenções estruturais para áreas classificadas como Risco Alto ou Muito Alto, prioritárias na implantação de obras de contenção. Para estas obras são então pleiteados recursos financeiros federais através do Ministério das Cidades. A Secretaria de Habitação do município é a principal responsável pela busca destes recursos financeiros junto ao Ministério das Cidades.

De acordo com o Secretário de Habitação, os bairros Fosfato, Planalto, Caetés I, Caetés II, Caetés III e Centro, já foram contemplados com obras financiadas com recursos federais, como exemplifica a Foto 6.8.

Foto 6.8 – Placa de obra de contenção realizadas nos Setores 5 (Vila União) e 2 (Rua Transamazônica)



Fonte: A autora.

Intervenções voltadas para a melhoria da infraestrutura urbana que contribuem para a redução do risco tais como, drenagem, construção de acessos, pavimentação, manutenção de obras e limpeza urbana, são realizadas através da Secretaria de Obras. Esta, inclusive, é a secretaria que coordena a Defesa Civil do Município.

c) O Plano de Contingência (PLAMCON)

O Município dispõe de PLAMCON voltado para apoio à população nos casos de ocorrência de desastres naturais, sendo elaborado em 2013 sob a coordenação da Secretaria de Saúde do município. O Plano descreve que a cidade de Abreu e Lima tem como principal ameaça, a ocorrência de deslizamentos de encostas e a forma com que essas ameaças refletem sobre o meio ambiente, os serviços públicos, o patrimônio e, principalmente, sobre a saúde da população.

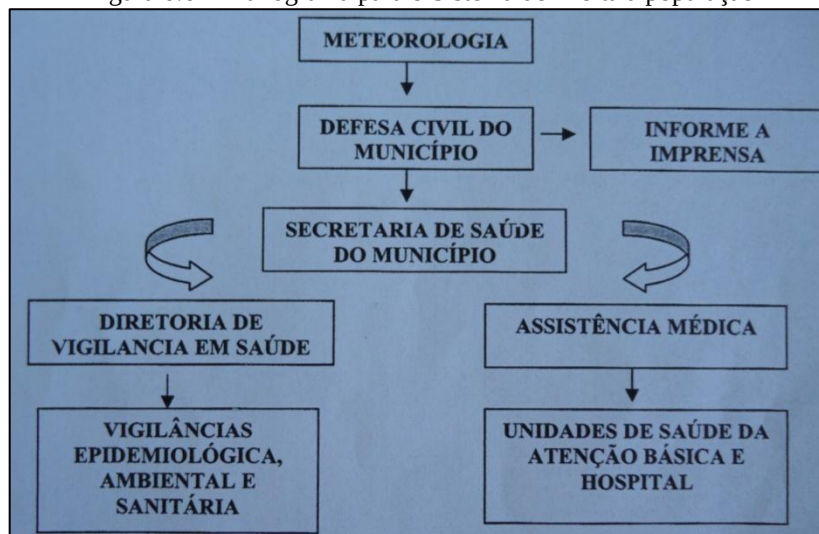
O Plano de Contingência de Abreu e Lima elenca os seguintes objetivos específicos:

- instituir um grupo de trabalho com atribuições de coordenar, organizar e conduzir as ações, segundo prioridades identificadas, no âmbito do setor de saúde;
- documentar e divulgar as informações (população, imprensa e profissionais de saúde);
- assegurar que os insumos necessários (veículos, material de laboratório e insumos) sejam fornecidos adequadamente;
- estabelecer locais que servirão como referência para o atendimento ambulatorial e hospitalar, bem como fluxo de pacientes graves;
- identificar e disponibilizar recursos humanos para executar ações de vigilância e atendimento;
- definir e coordenar as ações de vigilância em saúde aplicáveis à população afetada;
- definir exames para confirmação diagnóstica dos principais agravos esperados;
- intensificar as articulações interssetoriais com demais secretarias e instituições.

O PLAMCON de Abreu e Lima cita também o planejamento de articulação intersetorial para apoio às ocorrências de desastres. Este planejamento descreve os órgãos municipais envolvidos para apoio, suas atribuições, a composição da equipe e a localização de suas respectivas sedes.

O planejamento do fluxo de comunicação de alerta citado no Plano de Contingência indica como elemento principal o Sistema de Meteorologia, que atualmente é monitorado pela APAC. A APAC repassa o alerta de aumento da chuva na região para a Defesa Civil do Município, esta então se encarrega de transmitir a informação para a Secretaria de Saúde e para a Assessoria de Imprensa e Mobilização Social, que por sua vez, encarrega-se de redistribuir a informação à população através de carros de som, divulgadoras locais e emissoras de rádio e televisão. A Figura 6.6 apresenta o fluxograma apresentado no Plano de Contingência do município.

Figura 6.6 – Fluxograma para o Sistema de Alerta à população



Fonte: PLAMCON de Abreu e Lima (2013)

Ao avaliar o Plano Municipal de Contingência de Abreu e Lima, verifica-se que este documento foi elaborado pela Secretaria de Saúde do município. No entanto, a Secretaria Nacional de Defesa Civil (SEDEC) recomenda que o PLAMCON seja elaborado a partir de estudos e avaliações desenvolvidas pela Defesa Civil do município, considerando-se, no entanto, a necessidade de envolvimento e apoio de todas as outras secretarias municipais.

Observa-se um grande foco de ações voltadas para a saúde da população vítimas dos desastres, o que caracteriza ponto positivo neste aspecto. Apesar de descrever as atribuições direcionadas para outras secretarias municipais, verifica-se a necessidade de clareza nas ações e recursos que poderão ser adotados, possibilitando a adoção de medidas adequadas com agilidade. Foi identificada também a fragilidade no sistema de alerta à população, indicando situação de pouca agilidade na comunicação.

Verifica-se que o PLAMCON não dispõe de indicação de estruturas de apoio que possam servir de abrigo. Esta informação seria de grande importância para prestação do socorro e alojamento de possíveis desabrigados.

6.6 Intervenções para redução do risco

De posse das informações referentes aos parâmetros de vulnerabilidade e suscetibilidade estudados ao longo desta pesquisa, é possível realizar um planejamento com medidas de intervenção, estrutural e não estrutural, com o objetivo de reduzir o risco nos

setores estudados e prevenir o surgimento de novas áreas de risco dentro do Município de Abreu e Lima.

6.6.1 Proposta de intervenções não-estruturais

Este tipo de intervenção é formado por ações voltadas à orientação e prevenção à questões relacionadas ao risco. Entre as análises feitas nesta pesquisa, verifica-se a necessidade de implantação das seguintes medidas não-estruturais:

- fiscalização para conter o avanço de ocupações desordenadas em áreas não recomendadas pelo Plano Diretor Participativo do Município;
- conscientização da população, com distribuição panfletos e realização de palestras;
- conscientização da importância da destinação correta do lixo;
- preservação da vegetação local;
- orientações técnicas para construção das moradias, esgotamento sanitário e microdrenagem superficial ⁽¹⁾;
- criação de NUDEC nos bairros;
- treinamento de moradores para situações de risco;
- revisão do PLAMCON, com a implantação de medidas focadas às situações de desastres naturais, principalmente com a criação de sistema mais eficientes de informação e alerta à população.

6.6.2 Proposta de intervenções estruturais

A definição da melhor intervenção estrutural a ser implantada nas áreas de risco deve ser fundamentada na análise do processo atuante, e nos fatores que o influenciam. De acordo com o projeto a que esta pesquisa está associada, a indicação de intervenções estruturais para a redução de risco deve ser proposta para todas as áreas que apresentem classificação de risco Alto ou Muito Alto. Dentre os setores estudados foram identificadas apenas áreas com classificação de risco Médio e Alto. Para esta dissertação, é descrita apenas a proposta de intervenção estrutural para o Subsetor 54, pertencente ao Setor 12 (Rua 124, Caetés I).

Nota:

(1) O Manual de Ocupação de Morros, desenvolvido por Alheiros, et al. (2003), dedica cinco capítulos exclusivamente para orientações voltadas a como ocupar os morros de forma segura. Outro exemplo é a Cartilha de Erosão elaborada por Camapum e Diniz (2002), que descreve recomendações para boas práticas na ocupação de áreas suscetíveis ao processo erosivo.

As análises realizadas indicam que o risco presente no Subsetor 54 é decorrente, principalmente, da ação antrópica atuante. Em visitas ao campo, verificou-se a remoção da vegetação local, reduzindo assim a proteção superficial do solo. A ineficácia da drenagem pluvial e esgotamento sanitário proporcionam constante escoamento superficial no local, o que permite a desagregação e o transporte do solo, ou seja, a erosão. Inicialmente, verifica-se a erosão laminar, com evolução para erosão linear do tipo sulco e ravina. A principal ravina observada apresenta altura de 22 metros (medida in loco, com o auxílio de trena). O solo erodido é transportado e depositado na área da Comunidade Córrego da Areia, provocando o assoreamento do riacho existente na área. Alguns deslizamentos induzidos são observados, porém estão associados à dinâmica da erosão, que descalça partes da encosta, provocando a queda da massa de solo devido à ação da gravidade.

Diante das informações levantadas verifica-se a necessidade de implantação das seguintes intervenções estruturais:

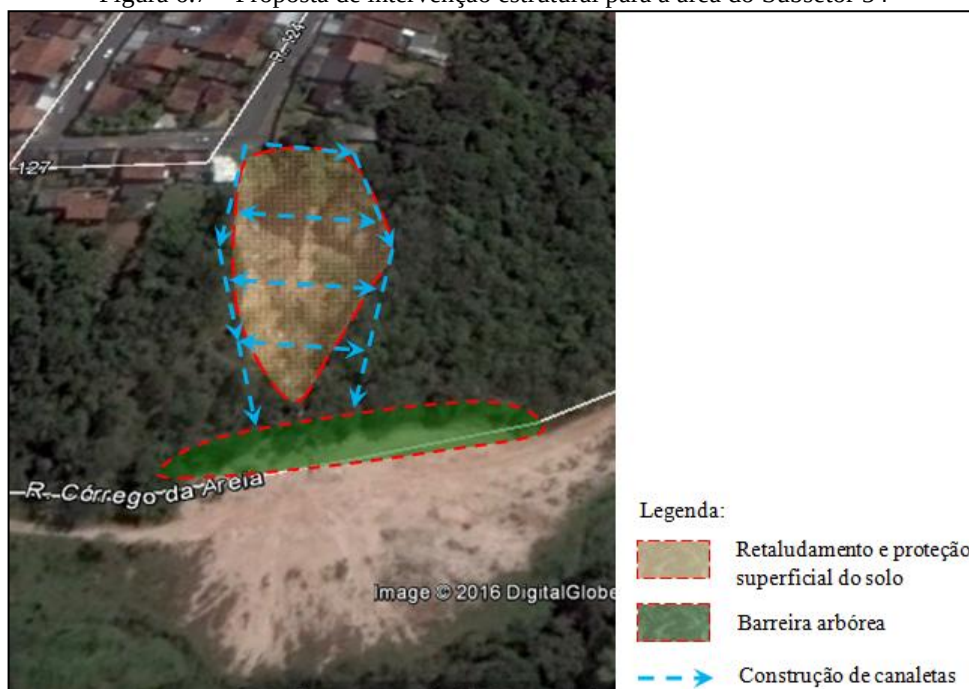
- execução de retaludamento com patamares;
- implantação de microdrenagem para águas pluviais no tôpo, no pé e nos patamares;
- proteção superficial do solo com a aplicação de cobertura vegetal;
- implantação de esgotamento sanitário para correta destinação das águas servidas;
- implantação de barreiras arbóreas naturais, para redução do assoreamento do riacho existente na Comunidade Córrego da Areia.

A Figura 6.7 ilustra a proposta de intervenção estrutural para a área a ser recuperada. O dimensionamento e posicionamento dos elementos propostos devem ser definidos com estudo detalhado do projeto de intervenção.

Para a execução do retaludamento na área da ravina, recomenda-se a realização de estudo prévio de análise de estabilidade para definição da correta geometria final do talude.

O dimensionamento da microdrenagem na área recuperada deve considerar o estudo pluviométrico da região, e a implantação de dissipadores de energia para redução da velocidade de escoamento da água pluvial, principalmente nas ocasiões de chuva intensa, reduzindo assim o desgaste dos elementos de drenagem.

Figura 6.7 – Proposta de intervenção estrutural para a área do Subsetor 54



Fonte: A autora.

Assim como citado por Coutinho e França (1998) na proposta de intervenção de área com presença de processo erosivo no Horto Dois Irmãos (Recife-PE), recomenda-se a realização de estudos prévios com o objetivo de minimizar os impactos ambientais na área, visto que a encosta do Setor 12 apresenta mata com vegetação nativa.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA NOVAS PESQUISAS

7.1 Conclusões

Os resultados obtidos nesta pesquisa, através da análise dos parâmetros envolvidos na determinação da vulnerabilidade e suscetibilidade, possibilitaram o conhecimento do risco de deslizamento e erosão presente nos setores estudados. Os mapas gerados podem ser usados pela gestão municipal como instrumento de planejamento urbano, indicando áreas prioritárias para execução de intervenções, seja elas estruturais ou não-estruturais.

O Mapa de Risco de Deslizamento e Erosão aqui apresentado, indica a análise de 12 setores de encostas, abrangendo uma área total de 35,91 ha. Com o objetivo de obter áreas mais homogêneas, os 12 setores, foram divididos em 55 subsetores, refinando assim as análises. Dentre os subsetores analisados, verificou-se a existência de 33 subsetores apresentando grau de risco Alto (55% dos subsetores estudados); 22 subsetores apresentando grau de risco Médio (45% dos subsetores estudados); nenhum subsetor apresentou grau de risco Baixo ou Muito Alto. Para a vulnerabilidade foi verificada a inexistência de subsetores com risco Muito Alto; 4 subsetores com grau de risco Alto (7,3%); 49 subsetores apresentando grau de risco Médio (89,1%); e 2 subsetores apresentando grau de risco Baixo (3,6%). A suscetibilidade apresentou 7,3% dos subsetores com classificação de risco Muito Alto; 52,7% com risco Alto; 40,0% com risco Médio; e 0% com risco Baixo.

Comparando-se as classificações de risco aqui obtidas com aquelas apresentadas pelo PMRR, elaborado em 2008, percebe-se melhorias na classificação de risco. Este fato explica-se pela implantação de intervenções como remoção de moradias de áreas de risco iminente e implantação de obras (mesmo que de forma parcial). Exemplos destes foram encontrados nos setores 1, 2, 3, 5, 6, 8, 10 e 11.

Ao comparar os resultados obtidos com as características do campo, verificou-se que a classificação do grau de risco é coerente com a realidade dos subsetores. Analisando o Mapa de Risco Final, conclui-se que a divisão de cada setor, em subsetores, refinou a análise, permitindo assim identificar, dentro de um mesmo setor, diferentes classificações para o risco final, fato este exemplificado através dos Setores 1, 4, 6, 7, 8, 11 e 12. A mesma conclusão

pode ser observada no Mapa de Vulnerabilidade Final, através dos Setores 2, 4, 8 e 10; e no Mapa de Suscetibilidade Final, através dos Setores 1, 4, 6, 7, 8, 11 e 12.

A vulnerabilidade estudada no Município demonstrou a necessidade de maior conscientização da população em relação ao risco existente, com o fortalecimento das lideranças comunitárias e criação de NUDEC nos bairros. A necessidade de maior fiscalização para atendimento ao PDP pôde ser observada, visto que áreas descritas como não urbanizáveis continuam a ser ocupadas desordenadamente pela população, podendo gerar novas áreas de risco.

A geologia local, proveniente da Formação Barreiras, apresenta fácies areno-argilosas, característica esta que apresenta histórico de suscetibilidade à ocorrência de processo erosivo dentro da RMR, principalmente, quando a área está associada à remoção da vegetação e à deficiência na drenagem, como foi identificado em Abreu e Lima.

A geomorfologia local é formada pela existência de encostas provenientes de tabuleiros, com vertentes apresentado inclinações elevadas e perfil convexo, condição propícia à ocorrência de processo erosivo, conforme coloca Nishyama (1995).

A caracterização geotécnica realizada a partir de amostras de solo coletadas em perfil localizado em um ponto representativo do processo erosivo no Município (área do Setor 12), apresentou uma camada de 10cm com solo do tipo areia siltosa (SM), seguida de camadas de areia argilosa (SC) até o limite da sondagem na profundidade de 4,0m. De acordo com a escala de erodibilidade proposta por Loppes Trilho (1999), estes tipos de solo apresentam-se entre os mais erodíveis. Os ensaios de Inderbitzen demonstraram consideráveis perdas de solo para as amostras submetidas ao escoamento superficial, principalmente, nos casos em que o solo apresenta menor teor de umidade.

Os resultados obtidos para a classificação geotécnica podem contribuir para a adoção de intervenções nas áreas atingidas, bem como para prevenir novas ocorrências.

A pesquisa realizada atingiu os objetivos esperados e pode ser utilizada como fonte de informações.

7.2 Sugestões para novas pesquisas

A ação antrópica no município é determinante para a ocorrência do risco. Como descrito aqui, a conscientização da população e a maior fiscalização contribuiriam para a redução do risco existente e para a redução do surgimento de novas áreas de risco. A implantação destas intervenções não-estruturais e o desenvolvimento de estudos futuros para reavaliação do risco poderiam servir de modelo para representar as mudanças observadas no Município através de tais intervenções.

Verifica-se a necessidade de maior conhecimento da Geotecnia local destinada ao detalhamento das características do solo nas áreas de ocorrência de processo erosivo, subsidiando assim a adoção de intervenções preventivas nas áreas onde não foi detectada a presença do risco, e corretivas nas áreas onde já foi identificado o risco.

É de grande importância o conhecimento da Geotecnia na área do Setor 2 (Fosfato), representada pela ocorrência de geologia de Formação Gramame. Para este tipo de Formação, existem poucos estudos desenvolvidos em áreas com ocupações desordenadas.

Observa-se necessária a realização de estudos de análise de estabilidade, visto que dentre os projetos de contenção existentes no Município, poucos apresentaram análises de estabilidade baseadas nos parâmetros técnicos necessários.

REFERÊNCIAS

ALBALA-BERTRAND, J.M. **Political economy of large natural disasters: with a special reference to developing countries**. New York: Oxford University Press, 1993, p. 259.

ALEXANDER, D. **The Study of Natural Disasters, 1977-1997: Some Reflections on a Changing Field of Knowledge**. Disasters, Vol. 21, No 4, 1993, pp. 284- 304.

ALHEIROS, M. M. **Riscos de Escorregamentos na Região Metropolitana do Recife**. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) -UFBA, Salvador-BA, 1998. 129p.

ALHEIROS, M. M. SOUZA, M. A. A., BITOUN J., MEDEIROS, S.M. G. M., AMORIM JÚNIOR, W. A. **Manual de ocupação dos morros da Região Metropolitana do Recife**. FIDEM, 2003.

AMERICAN GEOLOGICAL INSTITUTE (AGI). **Glossary of geology**. Disponível em <<http://www.cprm.gov.br> >. Acesso em 14 novembro 2015.

ANAZAWA, T. M.; CARMO, R. L. **Mortalidade por desastres no Brasil: o que mostram os dados**. Ciência e Saúde Coletiva (Impresso) , v. 19, p. 3669-3681, 2014.

ARAÚJO, R. C. **“Estudo da erodibilidade de solos da Formação Barreiras”**. Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro., 2000. 148p.

AUGUSTO FILHO, O. **Caracterização Geológica-geotécnica voltada à Estabilização de Encostas: Uma proposta Metodológica**. In Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas, Rio de Janeiro. ABMS-ABGE-ISSMGE, 1992. vol. 2, pp.721-733.

AUGUSTO FILHO, O., VIRGÍLI, J.C. Estabilidade de taludes. In: OLIVEIRA, A.M.S., BRITO, S.N.A. (Eds). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. p.243-69.

AUSTRALIAN GEOMECHANICS SOCIETY - AGS. **Landslide Risk Management Concepts and Guidelines**. Sub-Committee on Landslide Risk Management. Australian Geomechanics, 2000.

BANDEIRA, A. P. **Mapa de risco de erosão e escorregamento das encostas com ocupações desordenadas no município de Camaragibe-PE**. Recife, 2003. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. UFPE, Recife-PE.

BANDEIRA, A. P. **Parâmetros técnicos para gerenciamento de áreas de riscos de escorregamentos de encostas na região metropolitana do Recife**. Recife, 2010. Tese de doutorado em Engenharia Civil. UFPE, Recife-PE.

BASTOS, C. A. B. **Estudo Geotécnico sobre a Erodibilidade de Solos Residuais Não Saturados**. Tese de Doutorado, UFRS, Porto Alegre, RS, Brasil. 1999.

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 2.ed. São Paulo, Ícone, 1999. 355p.

BIGARELLA, J.J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: Ed. da UFSC, v. 3, 2003. p. 877-1436.

BITTAR, Y., et al. (1990). **O Meio Físico em Estudos de Impacto Ambiental**. São Paulo: IPT, (Boletim, 56)

BRASIL. Ministério das Cidades / Instituto de Pesquisas Tecnológicas –IPT. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios** / Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura, (Orgs) –Brasília: Ministério das Cidades, Instituto de Pesquisas Tecnológicas –IPT, 2007.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Anuário Brasileiro de Desastres Naturais 2011. Brasília: Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD);** 2013.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Gestão e mapeamento de riscos socioambientais: curso de capacitação.** 2010. Disponível em: <http://www.ceped.ufsc.br/wp-content/uploads/2014/07/Curso_Gestao_apostila.pdf> Acesso 13 de Novembro de 2015.

BRASIL. **Lei n. 12.608, de 10 de abril de 2012.** Institui a Política Nacional de Proteção de Defesa Civil. Casa Civil. Subchefia para assuntos jurídicos. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm. Acessado em 21 de outubro de 2015.

BOLT, B. A.; HORN, W.L.; MACDONALD, G.A.; SCOTT, R.F. (1975), **Geological Hazards.** Berlim, Spriger-Verlag, 328p.

BRITO, S. N. A.; OLIVEIRA, A. M. S. **Geologia de Engenharia.** São Paulo: ABGE. 1998.

CARVALHO, P. A.S. (1991). **Taludes de rodovias: orientação para diagnóstico e soluções de seus problemas.** São Paulo: IPT. 410p.

CARVALHO, J. C.; SALES, M. M.; SOUZA, N. M.; MELO, M. T. S. (Orgs.) **Processos erosivos no Centro-Oeste brasileiro.** Brasília: FINATEC, 2006. 464p.

CARDONA, O. D. A. (1996), **El manejo de riesgos y los preparativos para desastres: compromiso institucional para mejorar la calidad de vida.** In: MASKREY, A. (editor) **Desastres: modelo para armar.** Coleccion de piezas de un rompecabezas social, cap.9 .

CARVALHO, J.A.R. **Perigos Geológicos, Cartografia Geotécnica e Proteção Civil.** In: 3º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica. Florianópolis, UFSC. CD-ROM, 1998.

CERRI, L.E.S. Mapeamento de Riscos nos Municípios. In: C. S. CARVALHO & T. GALVÃO (Orgs.) **Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais.** Brasília, Ministério das Cidades, Cities Alliance, 2006 p. 46-55.

CLERICI, A.; Perego, S.; TELLINI, C.; VESCOVI, P. **A procedure for landslide susceptibility zonation by the conditional analysis method.** Geomorphology, v.48, n.4. 2002. p.349-364.

COUTINHO, R. Q. e FRANÇA, A. E. **Estudo da Erosão do Horto Dois Irmãos - Relatório Técnico II**, Agosto, GEGEP/UFPE, Recife-PE. 1998.

COUTINHO, R. Q. e OLIVEIRA, J. T. R. **Estudo da Erosão do Horto Dois Irmãos - Relatório Técnico I**, Fevereiro, GEGEP/UFPE, Recife-PE.1998.

COUTINHO, R. Q. ; SILVA, M. M.. **Classificação e Mecanismos de Movimento de Massa.** Conferência. IV COBRAE – Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas. Salvador, Bahia. 2005.

COUTINHO, R. Q.; BANDEIRA, A. P. N.; ALHEIROS, M. M. (orgs.). **Guia do Aluno – Curso de Capacitação em Mapeamento de Risco em Assentamentos Precários.** UFPE – ATEPE, Recife. 2008.

COUTINHO, R. Q.; SEVERO, R. N. F.: **Investigação Geotécnica para Projeto de Estabilidade de Encostas.** Conferência. V COBRAE – Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, São Paulo, 2009. Brasil.

COUTINHO, R. Q. **Projeto de Mapeamento de áreas de riscos em Municípios da Região Metropolitana do Recife.** Convênio firmado entre o GEGEP e o Ministério da Integração Nacional/Secretaria Nacional de Defesa Civil (SEDEC/MI). 2015.

CPRH – Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Diagnóstico Sócio-Ambiental do Litoral Norte.** 2001.

CPRH – Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Pernambuco / Departamento de Geologia. **Estudo da Vulnerabilidade e Proposta de Proteção de Aquíferos da Faixa Costeira Norte de Pernambuco Relatório Final.** 2005.

CUNHA, M. A. (1991). **Manual de Ocupação de Encostas**, 1a ed., publicação IPT, n. 1831, São Paulo, SP, Brasil.

CRUDEN, D.M; VARNES, D -**Landslide Types and Processes**.In **Landslides Investigation and Mitigation**.Cap 2. (Eds) –Turner, A.K Schuster, R.L. National Academy Press, Special Report 247. Washington, 1996, p. 337-370.

DAEE/IPT. Departamento de Águas e Energia Elétrica. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Controle de erosão. Bases conceituais e técnicas. Diretrizes para o planejamento urbano e regional. Orientações para o controle de boçorocas urbanas**. IPT, São Paulo, SP. 1989. 92p.

DAI, F.C., LEE, C.F., NGAI, Y.Y. **Landslide risk assessment and management: an overview**. Engineering Geology, 2002. 64: 65-87.

FÁCIO, J. A. **Proposição de uma metodologia de estudo da erodibilidade dos solos do Distrito Federal**. Dissertação de Mestrado, UnB, Brasília, DF, 1991, 107p.

FENDRICH, R. Erosão Urbana. In: FENDRICH, R.; OBLADEN, N. L.; AISSE, M. M.; GARCIAS, C. M. **Drenagem e controle da erosão urbana**. Curitiba: Champagnat, 1997.

FILHO, J. A. **Ação Integrada Contra Riscos Geológicos em Morros Urbanos**. In I Simpósio Latino-Americano Sobre Risco Geológico Urbano. ABGE, Anais, 1990. pp 421-435. São Paulo. SP.

FIORI, A.P. **Fatores que influem na análise de vertentes e no movimento de massa em encostas**. Boletim Paranaense de Geografia, n.43, p.7-24, 1995.

FONSECA, A. M. M. C. C. e FERREIRA, C. S. M. , (1981) “**Metodologia para determinação de um índice de erodibilidade de solos**”. Simpósio Brasileiro de Solos em Engenharia, 1, Rio de Janeiro, p. 646-667.

GEORIO. **Manual Técnico de Encostas**. Fundação Instituto de Geotécnia do Município dório de Janeiro, RJ, Brasil. 2000.

GIRÃO, O., CORRÊA, A. C. B., GUERRA, A. J. T. (2007). **“Encostas Urbanas como Unidades de Gestão e Planejamento, a Partir do Estudo de Áreas à Sudoeste da Cidade do Recife – PE”**. Revista de Geografia. Recife: UFPE – DCG/NAPA, Vol. 24, No 3, set/dez. 2007.

GOMES, F.S. **Estudo da erodibilidade e parâmetros geotécnicos de um solo em processo erosivo**. Recife, 2001. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. UFPE, Recife – PE.

GUERRA, A. J. T; MENDONÇA, J. K. S. **Erosão dos solos e a questão ambiental**. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (org). Reflexões sobre a geografia física no Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p. 225-256.

GUIDICINI, G. e NIEBLE, C. M. (1984), **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**. 2.ed. São Paulo: Edgard Blücher.

GUSMÃO FILHO, J. A., DE MELO, L. V., ALHEIROS, M. M., **Estudo das Encostas de Jaboatão dos Guararapes, PE**. In Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas, Rio de Janeiro. ABMS-ABGE-ISSMGE, 1992, Anais. v 1, pp.191-209.

GUSMÃO FILHO, J. A.; ALHEIROS, M. M.; JUSTINO DA SILVA, J. M.; GUSMÃO, A. D.; BASTOS, E. G.; LEAL, P. C.; FERREIRA, H. N. (1993), **Mapeamento de Risco das Encostas Ocupadas do Recife**. Gusmão Eng. Associados. URB / CODECIR, Relatório Técnico. Recife - PE.

GUSMÃO FILHO, J. A. ALHEIROS, M. M.; GUSMÃO, A. D.; JUSTINO DA SILVA, J. M.; BASTOS, E. G. (1994), **Geotecnia Ambiental Aplicada às Encostas do Recife**. In **X Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações**, Foz de Iguaçu, PR, ABMS, V. 1.

GUSMÃO FILHO, J. A.; ALHEIROS, M. M.; JUSTINO DA SILVA, J. M.; GUSMÃO, A. D.; BASTOS, E. G.; LEAL, P. C.; FERREIRA, H. N. (1997), **Mapeamento de Risco das Encostas Ocupadas do Recife**. Gusmão Eng. Associados. URB / CODECIR, Relatório Técnico. Recife - PE.

GUSMÃO FILHO, J. A. **Chuva e Deslizamentos nas Encostas Ocupadas**. In Workshop “A Meteorologia e os recursos Hídricos Aplicados à Defesa Civil” - Recife. 1997.

HAGERTY, D. I. **Piping/sapping erosion, I: Basic considerations**. HY, August, p. 991-1.008, 1991.

HENRIQUE, H. M. **Mapa de risco a deslizamento e erosão do Bairro de Rurópolis, município de Ipojuca – PE**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil. UFPE. 2014.

HIGHLAND, L. M.; BOBROWSKY, P. **O Manual de Deslizamento - Um Guia para a Compreensão de Deslizamentos**. U.S.G.S, Virginia. 2008.

HOLANDA, G. V.; SANTOS, T. M. B. R. **Diagnostico Socio Ambiental dos Moradores do Corrego da Areia**. 2009.

HOLMGREN, G. G. S. e FLANAGAN, G. P. (1977) **Factors affecting spontaneous dispersion of soil materials as evidenced by the crumb test**. ASTM special technical Publication, Philadelphia, n. 623, p. 218-239.

INTERNATIONAL UNION OF GEOLOGICAL SCIENCES WORKING GROUP ON LANDSLIDES. **A suggested Method For Describing The Rate of Movement of a Landslide**. Bulletin of The International Association of Engineering Geology, N°. 52. 1995. pp. 75-78.

JTC-1 (Joint Technical Committee 1 –**Landslides and Engineered Slopes**, da ISSMGE, IAEG e ISRM). Manual para o zoneamento de susceptibilidade de perigo e risco de

escorregamento. <http://www.emtermos.com.br/abms/site/conteudo/JTC1_Portugues.doc>. Acesso: 10 Novembro de 2015.

KARMANN, I. (2000) “**Ciclo da água, Água subterrânea e sua ação geológica**”. Decifrando a Terra. W. Teixeira, M. C. M. Toledo, T. R. Fairchild & F. Taioli (org). Oficina de Textos, São Paulo, p.114-138.

LACERDA, Willy A.. **Zoneamento e Mapeamento de riscos segundo o guia de zoneamento do JTC1 (Joint Technical Committee 1 –Landslides and Engineered Slopes, da ISSMGE, IAEG e ISRM)** In: Willy Alvarenga Lacerda; Ennio Marques Palmeira; Ana Luiza Coelho Netto; Mauricio Ehrlich. (Org.). Desastres Naturais: susceptibilidade e riscos, mitigação e prevenção, gestão e ações emergenciais. ISBN: 9788528501513. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2012, v. 1, p. 15-17.

LAFAYETTE, K. P. V. (2006). “**Estudo geológico-geotécnico para o entendimento do processo erosivo no parque metropolitano Armando de Holanda Cavalcante no Cabo de Santo Agostinho / PE**”. Tese de Doutorado. UFPE. CTG. Engenharia Civil, Recife - PE.

LEROUÉIL, S. **Geotechnics of Slopes Before Failure**. In: IX International Symposium on Landslides”. Rio de Janeiro. 2004, Anais. vol.2, p. 863-884.

LIMA, A. F. (2002). “**Comportamento Geomecânico e Análise de Estabilidade de uma Encosta da Formação Barreiras na Área Urbana da Cidade do Recife**”. Dissertação de Mestrado. UFPE. CTG. Engenharia Civil, Recife-PE.

LLOPIS TRILHO, G. (1999), **Control de la Erosión y Obras de Desague. Manual de Estabilizacion y Revegetación de Taludes**. Entorno Grafico S. L., Madri.

LOPES, V.L. **Um Estudo da Erosão e Produção de Sedimentos Pelas Chuvas**. Mossoró, Escola Superior de Agricultura de Mossoró. 1980. 71 p.

MAGALHÃES, J. S. L. D. A. **Estudo de estabilidade da encosta Alto do Padre Cícero no município de Camaragibe – PE**. Dissertação de mestrado. UFPE. 2003.

MEDEIROS, A.G. B. & CUNHA, R. P. **Retroanálise de uma estrutura de contenção do tipo estaca prancha no Distrito Federal**. INFOGEO 2005. Belo Horizonte.

MEIRA, F. F. D. A. (2008). “**Estudo do Processo Erosivo em Encostas Ocupadas**”. Tese de Doutorado. UFPE. CTG. Engenharia Civil, Recife-PE.

NETO, M. B. O. **Pedologia do Território da Mata Sul Pernambucana**. EMBRAPA. Recife, PE. 2010.

NISHYAMA, L. **Erosão do solo**. Seminários gerais em geotecnia. São Carlos: USP/E.E.S.C, 1995.

NOGUEIRA, J. F. **Análise da influência do fluxo por capilaridade na degradação físico-ambiental do solo**. Dissertação de Mestrado, G. DM – 137/05. 2005.

OLIVEIRA, M. T. **Estudo de movimentos de massa gravitacionais no município de Belo Horizonte - MG**. Tese de doutorado. UFV. Departamento de Engenharia Civil. 2009.

OLIVEIRA, M. A. T. **Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas**. In: Antônio José Teixeira Guerra; Antônio Soares da Silva; Rosangela Garrido Machado Botelho. (Org.). Erosão e Conservação dos Solos - Conceitos, Temas e Aplicações. 1 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 1999. p. 56-99.

ORTIGÃO, J.A.R. e SAYÃO A.S.F.J. **Handbook of Slope Stabilisation**, Springer Verlag. Heidelberg, 2004, 478p.

PEREIRA, A. R. (2008). **Como selecionar plantas para áreas degradadas e controle de erosão**. 2ª edição. Editora FAPI. Belo Horizonte – MG. 239p.

PFALTZGRAFF, P. A. S. (2007). **“Mapa de Susceptibilidade a Deslizamentos da Região Metropolitana do Recife”**. Tese de Doutorado em Geociências pela Universidade Federal de Pernambuco.

ROQUE, L. A. **Áreas de risco geológico-geotécnico associadas a movimentos de massa no núcleo urbano de Viçosa- MG**. Dissertação de mestrado. UFV. 2013.

SALOMÃO, F. X. T. e IWASA, O. Y. (1995), **Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente**, São Paulo, ABGE/IPT Cap.3, pp.31-57.

SALOMÃO, F. X. T. (1999) **“Controle e prevenção dos processos erosivos”**. In: **Erosão e conservação dos solos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p. 229-267.

SILVA, E. P. (2004) **“Caracterização geoambiental e estudo da variabilidade espaço-temporal de erosão do Parque Metropolitano Armando de Holanda Cavalcanti – Cabo de Santo Agostinho PE-Brasil”**. Dissertação de Mestrado, UFPE, 130p.

SILVA, R.R. **Proposta para estabilização de uma encosta ocupada em Camaragibe-PE com consideração de um tratamento global**. Dissertação (Mestrado) –Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Recife, 2010.

TERZAGHI, K. **Mecanismos de escorregamentos de terra**. Trad. de Ernesto Pichler. São Paulo: Grêmio Politécnico. 41p., 1950.

VARNES, D. J. Slope movement and types and process. In: SCHUSTER R. L.; KRIZEK, R.J. (Eds.) **Landslides: analysis and control**. Washington DC: National Academy of Sciences. 1978. p.11-33. (Transportation Research Board Special Report 176).

VIEIRA, M., Kazmierczak, M. L., Malta F. J. N. C. **Proposta Metodológica para Identificação de Áreas de Risco de Movimentos de Massa em Áreas de Ocupação Urbana. Estudo de caso: Campos do Jordão, SP**. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, INPE. 2005. p. 3935-3942.

VIEIRA, N. M. **Estudo Geomorfológico das Boçorocas de Franca**. Tese de Doutorado, Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Franca. 1978.

WOLLE, C.M. (1980). “**Taludes Naturais – Mecanismos de Estabilização e Critérios de Segurança**”. Dissertação de mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

ZARUBA, G.; MENCL, V. **Landslides and their control**. New York, John Willey & Sons. 1981. p.1-6.

ZUQUETTE, L.V.; PEJON, O.J.; GANDOLFI, N.; PARAGUASSU, A.B. **Considerações básicas sobre a elaboração de cartas de zoneamento de eventos perigosos e riscos associados**. Geociências, v.14, n.2, p.9-39, 1995.