



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

GABRIEL SILVA MORAIS

**MAPEAMENTO DE ÁREA EM RISCO DE DESLIZAMENTO E ANÁLISE DE
ESTABILIDADE DE ENCOSTA NA CIDADE DE JOÃO PESSOA-PB**

JOÃO PESSOA

2017

GABRIEL SILVA MORAIS

**MAPEAMENTO DE ÁREA EM RISCO DE DESLIZAMENTO E ANÁLISE DE
ESTABILIDADE DE ENCOSTA NA CIDADE DE JOÃO PESSOA-PB**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Graduação em
Engenharia Civil da Universidade Federal da
Paraíba como pré-requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: DSc. Fábio Lopes Soares

JOÃO PESSOA

2017

M827m Morais, Gabriel Silva

Mapeamento de área em risco de deslizamento e análise de estabilidade de encosta na cidade de João Pessoa-PB. / Gabriel Silva Morais. – João Pessoa, 2017.

72f. il., tab., fig.

Orientador: Prof. DSc. Fábio Lopes Soares

Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Civil) Campus I - UFPB / Universidade Federal da Paraíba.

1. Deslizamentos de terra 2. Mapeamentos de risco 3. Estabilidade de talude. I. Título.

BS/CT/UFPB

CDU: 2.ed. 69 (043)

FOLHA DE APROVAÇÃO

Gabriel Silva Morais

MAPEAMENTO DE ÁREA EM RISCO DE DESLIZAMENTO E ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE ENCOSTA NA CIDADE DE JOÃO PESSOA-PB

Trabalho de Conclusão de Curso em 09/06/2017 perante a seguinte Comissão Julgadora:

Fábio Lopes Soares

Fábio Lopes Soares – DSc.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO

Aline Flavia Nunes Remigio Antunes

Aline Flavia Nunes Remigio Antunes

UFPB

APROVADO

Claudino Lins Nóbrega Júnior

Claudino Lins Nóbrega Júnior

UFPB

APROVADO

Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga
Profª. Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga
Matrícula Siape: 1668619

Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

AGRADECIMENTOS

A Deus, autor da minha fé, pela graça imerecida e por tudo o que tem feito por nós.

A meus pais, Gerciomar e Mirian, e minha irmã, Gabi, pelo apoio.

A minha família, presente de Deus, pelo incentivo.

Aos meus amigos, aqueles de infância e os da graduação, essenciais para esse conquista.

Ao Prof. Fábio Lopes Soares, pelos conhecimentos fornecidos e pela orientação deste trabalho.

A todos os professores da UFPB, pelos conhecimentos fornecidos e experiências que certamente serão úteis para a vida profissional.

A Sérgio, técnico do laboratório de mecânica dos solos, pela ajuda essencial dada para a realização dos ensaios necessários à realização desse trabalho.

A Defesa Civil, na pessoa do Engenheiro Alberto Alves Sabino, pela assistência dada e materiais fornecidos.

RESUMO

Os deslizamentos de terra são a causa de diversas mortes anualmente em todo o mundo. No Brasil, o processo de urbanização dado em meados do século XX tornou o problema ainda mais grave, visto que o planejamento e investimentos na área de infraestrutura e uso e ocupação do solo não acompanharam a velocidade de crescimento de construção das moradias em locais impróprios, muitas vezes suscetíveis a processos de movimentação de massa. Em busca da melhoria da qualidade de vida de pessoas que vivem em áreas em risco de escorregamento, os mapeamentos de risco de deslizamento tornam-se um instrumento de prevenção necessário ao combate desse tipo de problema. O presente trabalho contém uma análise no que diz respeito à identificação de áreas em risco de deslizamento situadas na comunidade Santa Clara, na cidade de João Pessoa, identificando fatores que contribuem à ocorrência desses eventos. Além da realização do mapeamento de risco de deslizamento, mostrando áreas que necessitam de atenção especial por parte do poder público, realizou-se a análise de estabilidade de talude situado às margens da Br-230, o qual também faz parte da mesma comunidade e que está colocando em risco várias casas que se encontram no topo deste talude. Após a análise da comunidade, foi observado que 20% da comunidade analisada se encontra em situação de risco Alto e Muito Alto, necessitando de maior atenção por parte do poder público e que, em relação ao talude analisado, este se encontra passível de deslizamento visto que o fator de segurança médio obtido foi de 1,14.

Palavras-Chave: deslizamentos de terra, mapeamentos de risco, estabilidade de talude.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Combinação das Classes de Curvatura Vertical e Horizontal	13
Figura 2 - Desastres naturais no Brasil.....	14
Figura 3 - Comparativo de ocorrências entre décadas.....	15
Figura 4 - Mortes por deslizamentos entre os anos de 1988 e 2015.....	15
Figura 5 - Movimento de rastejo (creep).....	25
Figura 6 - Movimento de escorregamento circular (rotacional).....	26
Figura 7 - Movimento de escorregamento planar (translacional).....	27
Figura 8 - Movimento de Escorregamento em Cunha.....	28
Figura 9 - Movimento de queda de blocos rochosos ocorrido em 2005 no Colorado-EUA	29
Figura 10 - Debris flow ocorrido em 1999 em Caraballeda, Venezuela	30
Figura 11 - Curvas de correlação entre precipitação diária e acumulada para 8 dias.....	33
Figura 12 - Superfície crítica ou de ruptura acima e abaixo do pé do talude	34
Figura 13 - Subdivisão de um talude em fatias	36
Figura 14 - Forças de interação entre as fatias	37
Figura 15 - Forças normais e de corte numa fatia genérica.....	38
Figura 16 - Forças consideradas na análise de estabilidade pelo Método de Fellenius.....	40
Figura 17 - Forças consideradas em fatia genérica pelo método Bishop Simplificado.....	41
Figura 18 - Massa associada ao deslizamento	42
Figura 19 - Forças atuantes numa fatia genérica infinitesimal.....	43
Figura 20 - Distribuições de força entre fatias usadas por Morgenstern e Price	44
Figura 21 - Relação entre tensão cisalhante e tensão normal	45
Figura 22 - Definição de ângulo de atrito.....	46
Figura 23 - Organograma da SEDEC	48
Figura 24- Vista aérea da comunidade Santa Clara.....	50
Figura 25 - Entrada principal da comunidade	51
Figura 26 - Implantação de lonas como medida paliativa.....	52
Figura 27 - Histórico de ocorrências na comunidade Santa Clara	52
Figura 28 – Acidente de trânsito na Br-230 causado por deslizamento de terra.....	53
Figura 29 - Interdição parcial da rodovia Br-230 por carreamento de material	54
Figura 30 - Mapeamento de risco a deslizamento da comunidade Santa Clara	57
Figura 31 - Retirada de amostra indeformada com molde em cilindro metálico	58
Figura 32 - Seção representativa do talude em estudo	59

Figura 33 - Corpo de prova cisalhado após o ensaio de cisalhamento direto.....	60
Figura 34 - Resultado do Ensaio de Cisalhamento Direto.....	60
Figura 35 - Análise de estabilidade pelo método de Morgenstern & Price.....	61
Figura 36 - Análise de estabilidade pelo método de Bishop	62
Figura 37 - Análise de estabilidade pelo método de Fellenius	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição das atividades para o mapeamento de riscos proposto pelo IPT	18
Tabela 2 - Critérios para a determinação do grau de risco	19
Tabela 3 - Tabela de Grau de Risco	20
Tabela 4- Ficha de Levantamento dos Fatores para Avaliação do Potencial de Risco das Encostas do Recife Fonte: (ALHEIROS, 1998).....	22
Tabela 5 - Detalhamento dos atributos por grau de risco aplicado em Recife	22
Tabela 6 - Classificação dos Movimentos Gravitacionais de Massa.....	24
Tabela 7 - Classificação dos Movimentos Gravitacionais de Massa.....	24
Tabela 8 - Fatores deflagradores dos movimentos de massa	31
Tabela 9 - Fatores de segurança mínimos para deslizamentos.....	34
Tabela 10 - Resumo das características dos métodos de equilíbrio limite não-rigorosos	38
Tabela 11 - Resumo das características dos métodos de equilíbrio limite rigorosos	39
Tabela 12 - Fatores e atributos utilizados na classificação de risco	54
Tabela 13 - Variação dos valores dos atributos analisados na comunidade Santa Clara	55
Tabela 14 - Faixas de classificação do risco adotadas para a comunidade Santa Clara.....	56
Tabela 15 - Grau de risco final de cada setor analisado	56
Tabela 16 - Fatores de Segurança obtidos para a seção analisada.....	61

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	09
1.1 OBJETIVOS.....	10
1.1.1 OBJETIVO GERAL	10
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
1.2 METODOLOGIA.....	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1 CONCEITOS RELACIONADOS A MOVIMENTOS DE MASSA	12
2.2 DESASTRES NATURAIS NO BRASIL E NO MUNDO	13
2.3 CONCEITOS E METODOLOGIAS RELACIONADOS A MAPEAMENTO DE RISCO	16
2.3.1 METODOLOGIA DE MAPEAMENTO DE ÁREAS EM RISCO DO IPT	17
2.3.2 METODOLOGIA DE GUSMÃO FILHO et al. (1992).....	20
2.4 CLASSIFICAÇÃO DOS MOVIMENTOS DE MASSA.....	23
2.4.1 Rastejos (Creep).....	25
2.4.2 Escorregamentos (Slides).....	25
2.4.3 Quedas (Falls)	28
2.4.4 Corridas (<i>Debris Flow</i>).....	29
2.5 AGENTES CONDICIONANTES.....	30
3 MÉTODOS DE ANÁLISE DE ESTABILIDADE	33
3.1 ANÁLISE DETERMINÍSTICA	33
3.2 TEORIA DE EQUILÍBRIO LIMITE.....	34
3.2.1 MÉTODO DAS FATIAS	35
4 PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA DOS SOLOS.....	44
4.1 ÂNGULO DE ATRITO	45
4.2 COESÃO	46
5 DEFESA CIVIL NO BRASIL	47
6 ESTUDO DE CASO: COMUNIDADE SANTA CLARA	50
6.1 MAPEAMENTO DE RISCO DE DESLIZAMENTOS NA COMUNIDADE	54
6.2 ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE TALUDE.....	58
7 CONCLUSÃO.....	64
REFERÊNCIAS	66

1. INTRODUÇÃO

A partir da metade do século XX o Brasil sofreu um processo de dinâmica socioespacial conhecido como êxodo rural, marcado pela industrialização e mecanização do campo. Segundo dados do IBGE, no ano de 1960, a população urbana no Brasil era de aproximadamente 45%, ultrapassando dois terços da população total em 1980. Em 2010, o Brasil já tinha cerca de 84% de sua população vivendo nas cidades. Contudo, esse crescimento da população urbana não veio acompanhado de investimentos por parte do poder público nas áreas de planejamento e infraestrutura, originando um cenário de habitações inadequadas em áreas de fragilidade ambiental. Todo esse processo de crescimento populacional desordenado aliado à falta de investimentos e gestão vem gerando problemas sociais, econômicos e ambientais que muitas vezes poderiam ter sido evitados, destacando-se, dentre eles, os deslizamentos de terra, os quais serão abordados nesse trabalho.

Os deslizamentos de terra são um dos tipos de movimentos de massa que fazem parte da dinâmica natural de transformação e acomodação do solo, porém, tornam-se um problema socioambiental recorrente nos períodos chuvosos em várias cidades do Brasil pela falta de planejamento habitacional e de infraestrutura, sendo agravados pela ação humana no que diz respeito à degradação da vegetação nativa, deposição de lixo e efluentes nas encostas, entre outros. Segundo o Ministério das Cidades (2004), fatores econômicos, políticos, sociais e culturais contribuem para o avanço e a perpetuação desse quadro indesejável, verificado principalmente na regiões metropolitanas.

Conhecer a dinâmica da paisagem, no que diz respeito à transformação gerada pela expansão da malha urbana e das interações socioeconômicas envolvidas, ajuda na tomada de decisões e amplia, principalmente para o poder público, a capacidade de previsão e eficiência das medidas de controle a serem adotadas a fim de se alcançar a melhoria da qualidade de vida da população.

Visto a necessidade de previsão dos desastres para uma melhor eficiência das medidas adotadas, vale ressaltar a criação de Lei Municipal nº 12.644, de 24 de Setembro de 2013, a qual cria a Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil de João Pessoa (COMPDEC-JP). Dentre outras providências, essa lei estabelece como competência da COMPDEC a identificação e mapeamento das áreas em risco de desastres, sendo esse o objetivo desse trabalho: realizar um mapeamento de área em risco de deslizamento na cidade de João Pessoa e ainda a análise de estabilidade de talude situado na comunidade Santa Clara, às margens da Br-230, próxima ao bairro Castelo Branco.

O mapeamento dessas áreas manifesta-se como um instrumento de prevenção, com a adoção de medidas corretivas visando à mitigação do problema antes que o desastre aconteça, sendo um recurso utilizado de modo a permitir o gerenciamento de risco (pré-desastre) ao invés da administração dos desastres e suas consequências. O mapeamento manifesta-se como uma intervenção não-estrutural com maior viabilidade quando comparado a intervenções estruturais, as quais envolvem obras de alto custo, que muitas vezes fogem ao alcance das prefeituras brasileiras.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Realizar mapeamento de risco quanto a movimentos de massa na comunidade Santa Clara, situada na cidade de João Pessoa-PB, a fim de dispor de dados que auxiliem na adoção de medidas preventivas e gestão de risco, realizando ainda a análise de estabilidade de talude considerado em situação de risco muito alto localizado na mesma comunidade.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar áreas em risco de deslizamento situadas na comunidade Santa Clara, na cidade de João Pessoa-PB por meio de software SIG (Sistema de Informação Geográfica), imagens de satélite e visitas a campo;
- Realizar o zoneamento da área estudada no que diz respeito aos graus de risco de deslizamento considerados (baixo, médio, alto e muito alto);
- Realizar ensaio de cisalhamento direto para obtenção de dados como coesão e ângulo de atrito interno do solo por meio da retirada amostras indeformadas de solo da região do talude considerado em situação de risco muito alto situado na mesma comunidade,
- Realizar análise de estabilidade do talude em questão, fornecendo o fator de segurança quanto à estabilidade do maciço.

1.2 METODOLOGIA

Para se alcançar os objetivos propostos nesse trabalho, inicialmente realizou-se uma revisão bibliográfica a respeito do tema de deslizamentos, suas causas e elementos intervenientes.

A identificação e classificação de áreas em risco de deslizamentos situadas na comunidade Santa Clara foi realizada através de visitas a campo e software SIG para obtenção de dados necessários a um melhor entendimento da comunidade quanto ao risco de deslizamentos presente na região.

Quanto à análise de estabilidade do talude situado às margens da Br-230, situado na mesma comunidade, foi realizado ensaio de cisalhamento direto no Laboratório da Universidade Federal da Paraíba com vistas à obtenção de dados como coesão e ângulo de atrito interno do solo coletado por meio de amostras indeformadas retiradas da região do talude.

O cálculo do coeficiente de segurança foi obtido por meio do software Slope/w da GeoStudio 2016, versão estudante, utilizando como dados de entrada o peso específico natural do solo e os resultados obtidos no ensaio de cisalhamento direto, além do perfil transversal do talude obtido por meio de levantamento topográfico previamente realizado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão abordados conceitos e classificações necessários a um melhor entendimento por parte do leitor no que se refere aos tipos de movimentos de massa e seus condicionantes, tratando ainda dos métodos usuais de análise de estabilidade de taludes.

2.1 CONCEITOS RELACIONADOS A MOVIMENTOS DE MASSA

Talude ou encosta é toda superfície natural inclinada que une duas ou mais superfícies caracterizadas por diferentes energias potenciais. Sob o aspecto genético, os taludes podem ser naturais ou artificiais. Os naturais são maciços terrosos, rochosos ou mistos de solos e rochas, originados por agentes naturais, mesmo que tenham sofrido alguma alteração antrópica, tais como desmatamentos, cortes e a introdução de cargas. Já os taludes artificiais, são declives de aterros a partir de vários materiais em estrutura conhecida e exibem uma homogeneidade mais acentuada que os naturais, que só têm sua estrutura particular conhecida através de criterioso processo de prospecção (GUIDICINI; NIEBLE, 1984).

Em relação ao conceito de movimento gravitacional de massa, este pode ser entendido como o desprendimento de material de origem diversa (solo, rocha e/ou vegetação), devido à ação da gravidade, que resulta da ruptura ou desestabilização do talude, podendo vir a causar, dependendo do risco e vulnerabilidade envolvidos, danos sociais, econômicos e ambientais. Quando esses fenômenos naturais atingem áreas habitadas pelo homem, causando-lhe danos, passam a se chamar desastres naturais (TOMINAGA, 2009).

Os desastres naturais causados por deslizamentos de terra são causados pela perda da condição de equilíbrio do solo, essa ruptura ou desestabilização do talude, segundo GERSCOVICH, D. M. S. (2009), é caracterizada pela formação de uma superfície de cisalhamento contínua na massa de solo. Envolvendo a superfície de cisalhamento, há uma região de solo que perde suas características geotécnicas, sendo denominada de zona cisalhada, havendo primeiramente a formação desta, para, logo após, haver a formação da superfície de cisalhamento, iniciando o movimento.

A morfologia do talude também possui classificação e conceitos no que diz respeito à curvatura vertical e horizontal. Esta diz respeito à curvatura ao longo da linha de nível e aquela se expressa na direção da declividade, as quais têm certo nível de influência quanto ao risco de deslizamentos que o talude pode sofrer.

Conforme HENRIQUE, H. M. (2014), as classes de curvaturas horizontais (convergente, planar ou divergente) e verticais (côncavas, retilíneas ou convexas) podem ser combinadas para fornecer a indicação da forma do terreno, como mostra a Figura 1 a seguir:

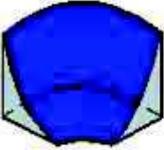
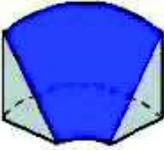
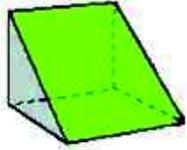
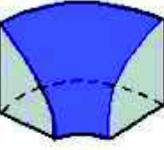
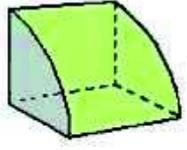
		Curvatura Horizontal		
		Convergente	Planar	Divergente
Curvatura Vertical	Côncava			
	Retilínea			
	Convexa			

Figura 1 - Combinação das Classes de Curvatura Vertical e Horizontal
Fonte: GEGEP/UFPE, 2014 apud HENRIQUE, H. M. (2014)

2.2 DESASTRES NATURAIS NO BRASIL E NO MUNDO

Para Sausen e Lacruz (2015), os desastres têm por causa não só o fator ambiental, como também o antrópico, o qual modifica a relação de equilíbrio antes existente, pela tomada de ações que não visam à sustentabilidade com o meio.

Segundo esses autores, os desastres comumente chamados de naturais não são apenas fenômenos da natureza, mas também resultado de processos sociais não sustentáveis, que geram uma relação inadequada com o ambiente tanto natural quanto construído.

Os desastres naturais, portanto, são resultados de modelos de desenvolvimento, e esse processo é influenciado por mudanças na forma e uso da terra, com a ocupação e a transformação do ambiente natural sem preocupação com a sustentabilidade.

A primeira década do século XXI foi a mais quente da história da Terra, desde o início das medições modernas, em 1850. Reflexo disso foi o aumento do número de incidências de eventos climáticos extremos em todo o mundo e, com eles, o incremento das perdas sociais, econômicas e ambientais devido aos danos causados à população e ao meio ambiente.

Em virtude do aumento abrupto das ocorrências de desastres e dos prejuízos decorrentes, a partir da década de 50, a ONU criou uma secretaria denominada *United Relief Organization* (UNDRO) buscando propor e promover iniciativas preventivas e mitigadoras em desastres naturais para todo o mundo.

Os anos 90, declarados pelas Nações Unidas como a Década Internacional para Redução de Desastres (*International Decade for Natural Disaster Reduction – IDNDR*), contou com o apoio de cerca de 180 países dedicados à promoção de soluções para redução do risco decorrente de perigos naturais, fortalecendo programas de prevenção e redução de acidentes. Segundo Uma das ações foi a implantação da Estratégia Internacional para Redução de Desastres (*International Strategy for Disaster Reduction – ISDR*) voltada para promover o envolvimento público, disseminar conhecimentos e parcerias para implementar medidas de redução de risco (TOMINAGA, 2009).

Ressalta-se ainda o crescimento populacional ocorrido nas décadas do século XX. Segundo Kobiyama (2006), há uma relação direta entre o aumento da população e o acréscimo do número de desastres ocorridos, ressalvados outros fatores igualmente importantes na deflagração de desastres naturais.

No Brasil, os desastres naturais sofreram um acréscimo no número de ocorrências a partir da primeira década do século XXI. O Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, 1991 a 2012 (SANTA CATARINA, 2012), enfatiza o aumento do número de registros de desastres naturais na década de 2000, mostrando a taxa de crescimento desse tipo de desastre, conforme se vê na Figura 2, na qual se constata um aumento mais acentuado do número de registros a partir do início do século XXI, revelando uma maior incidência dos casos no ano de 2012.

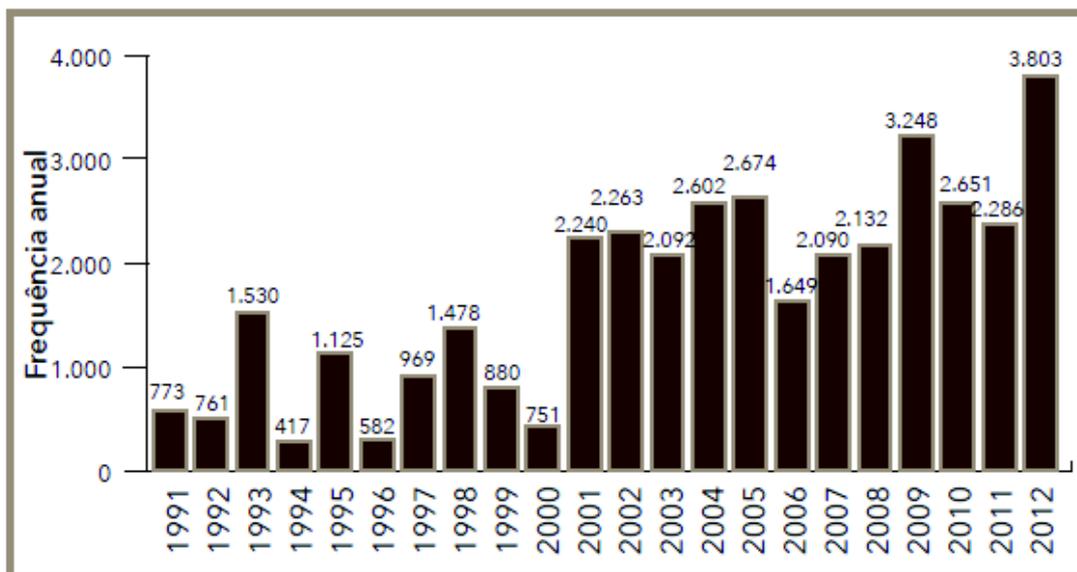


Figura 2 - Desastres naturais no Brasil
Fonte: (SANTA CATARINA, 2012)

Segundo o mesmo Atlas, do total de 38.996 registros de ocorrência de desastres, 8.740 ocorreram apenas nos anos de 2010, 2011 e 2012, mostrando uma intensificação desses acontecimentos nos últimos anos. A diferença entre o número de ocorrências, separadas por tipo de desastre, encontra-se na Figura 3, na qual se pode perceber um expressivo aumento do número de casos de deslizamentos ocorridos na década de 2000 em comparação com os ocorridos na década de 1990, sofrendo um aumento do número de casos de cerca de 22 vezes.

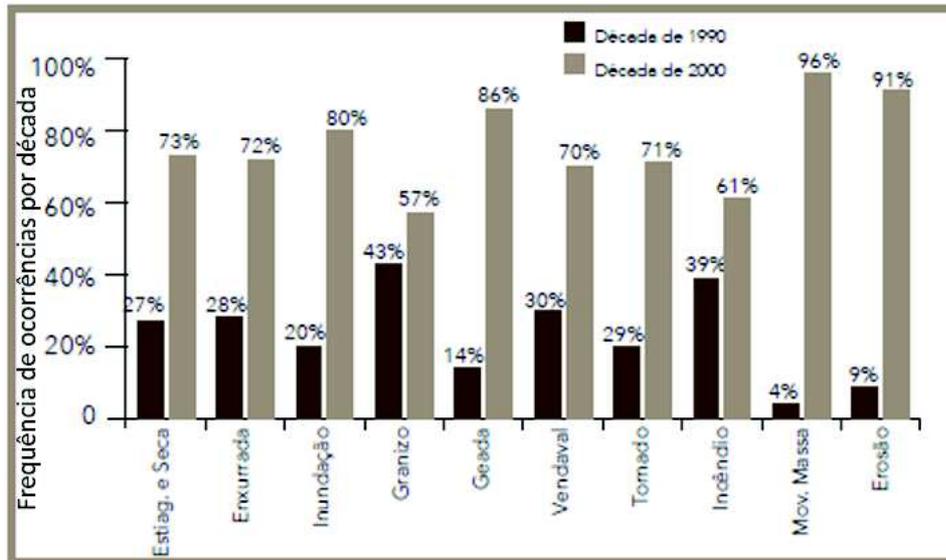


Figura 3 - Comparativo de ocorrências entre décadas

Fonte: (SANTA CATARINA, 2012)

Visto a definição de desastre, este sempre vem acompanhado de danos, sejam eles materiais ou sociais. O número de mortes associadas aos deslizamentos de terra está relacionado à vulnerabilidade a que estão submetidas as pessoas da região afetada, conceito abordado no próximo tópico. Na Figura 4 pode-se analisar o número de mortes ocorridas entre os anos de 1988 e 2015 em cidades brasileiras com altos índices de vítimas fatais:

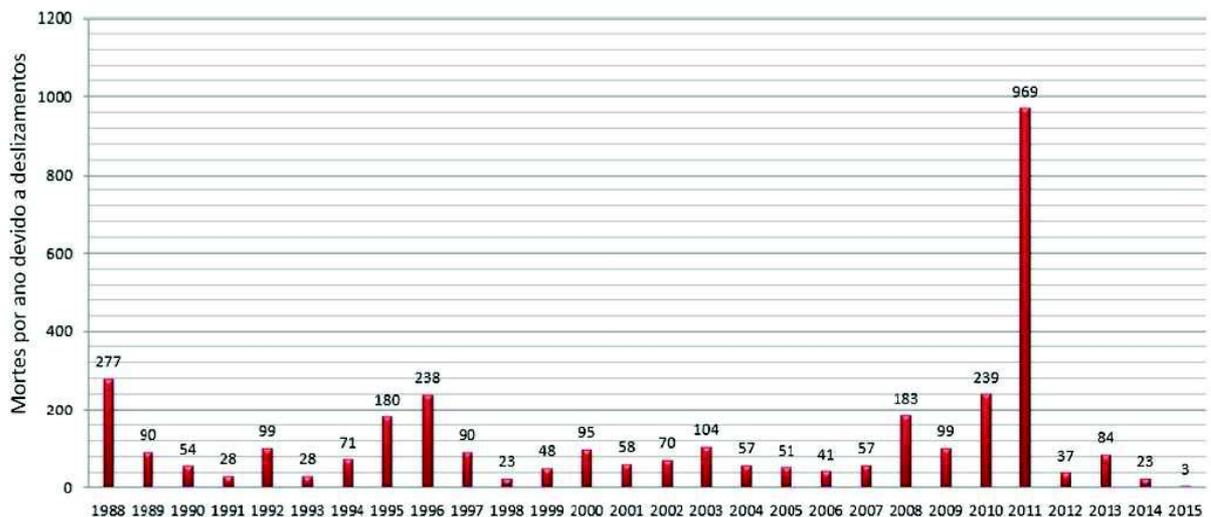


Figura 4 - Mortes por deslizamentos entre os anos de 1988 e 2015

Fonte: MACEDO & MARTINS, 2015

O número de vítimas para o ano de 2011 ganha destaque pela diferença considerável com relação aos outros anos. Isso se deve em decorrência do desastre ocorrido na Região Serrana do Rio de Janeiro, considerado o maior desastre natural do Brasil, no qual famílias inteiras perderam suas vidas. Segundo MACEDO; MARTINS, 2015, foram atingidos os municípios de Nova Friburgo, 429 mortes, Teresópolis, 382 mortes e Petrópolis com 74 mortes. Fatos como esse ressaltam a importância do tema e da adoção de medidas preventivas de modo a mitigar as consequências de desastres dessa natureza.

2.3 CONCEITOS E METODOLOGIAS RELACIONADOS A MAPEAMENTO DE RISCO

Neste tópico serão abordados alguns conceitos relacionados ao mapeamento de risco, objetivando a uma maior padronização desses termos, importantes para a compreensão do tema. Risco, Perigo, Susceptibilidade de Escorregamento e Vulnerabilidade são termos inerentes ao tema de mapeamento de áreas em risco, os quais serão expostos a seguir.

Segundo o Comitê Técnico de Escorregamentos e Encostas Artificiais, JTC-1 (*Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes*), infelizmente, entre países e até mesmo dentro de um mesmo país existe pouca uniformidade em terminologia e os resultados do zoneamento de escorregamento muitas vezes não são precisamente definidos e susceptibilidade, perigo e risco são frequentemente trocados em mapas de zoneamento de escorregamentos e enfatiza a necessidade e importância de uma terminologia unificada a nível internacional, disponibilizando no seu Manual Para o Zoneamento de Susceptibilidade de Perigo e Risco de Escorregamento para o Planejamento de Uso Do Solo, criado em 2008, as seguintes definições:

- **Risco** - Uma medida de probabilidade e severidade de um efeito adverso à saúde, propriedade ou ao meio ambiente. O risco é frequentemente estimado pelo produto da probabilidade x consequências. No entanto, uma interpretação mais geral de risco envolve uma comparação da probabilidade das consequências não em formato de produto.

- **Perigo** - O fenômeno natural que pode levar a danos, descritos em termos geométricos, mecânicos ou de outras características. O perigo pode ser existente (como um encosta começando a deslizar) ou potencial (como a queda de uma rocha). A caracterização do perigo não inclui qualquer previsão.

- **Susceptibilidade de escorregamento** - Uma avaliação quantitativa ou qualitativa da classificação, volume ou área, e distribuição espacial dos escorregamentos que existem ou

podem potencialmente ocorrer em uma área. Susceptibilidade pode também incluir uma descrição da velocidade e intensidade do escorregamento potencial ou existente.

- **Vulnerabilidade** - O grau de perda de um dado elemento ou grupo de elementos em uma área afetada pelos perigos do escorregamento. É expresso através de uma escala de 0 (sem perda) a 1 (perda total). Para propriedades, a perda será o valor dos danos relativos ao valor da propriedade; para pessoas, será a probabilidade que uma vida em particular (elemento em risco) será perdida, caso a(s) pessoa(s) seja(m) afetada(s) pelo escorregamento. Outros conceitos não explícitos no Manual do JTC-1 mas que serão adotados nesse trabalho são os seguintes:

- **Grau de risco:** dimensiona a probabilidade de ocorrência de acidentes, segundo uma escala de intensidade. Conforme proposto pelo Manual de Mapeamento e Gerenciamento de Risco do Ministério das Cidades, serão adotados 4 graus de probabilidade de ocorrência, quais sejam: 1 - Risco Baixo; 2 - Risco Médio; 3 – Risco Alto; 4 – Risco Muito Alto.

- **Área de Risco:** Área passível de ser atingida por fenômenos ou processos naturais e/ou induzidos que causem efeito adverso. As pessoas que habitam essas áreas estão sujeitas a danos, à integridade física, perdas materiais e patrimoniais (BRASIL e IPT, 2007).

- **Análise de riscos:** refere-se à técnica de avaliação (com visita de campo) que caracteriza os eventos potencialmente perigosos, determina sua frequência e define condições espaciais e temporais para a sua ocorrência e indica a probabilidade de danos.

- **Mapa de risco:** mapa onde são lançados os resultados da análise de risco, com os setores de risco delimitados e codificados por cores semafóricas.

2.3.1 METODOLOGIA DE MAPEAMENTO DE ÁREAS EM RISCO DO IPT

Em Agosto de 2003 foi realizado, na cidade de Recife-PE, o 1º Seminário Nacional de Controle de Risco em Assentamentos Precários, com apoio do Ministério das Cidades. Tinha como principal objetivo a implantação de ações de prevenção de riscos. Em 2006 ocorreu a segunda edição do seminário supracitado, sendo expostos vários trabalhos correlatos ao tema. O produto obtido por esses trabalhos, já em 2007, foi o manual: Mapeamento de Riscos em Encostas e Margens de Rios, elaborado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), com a coordenação do Ministério das Cidades.

Essa metodologia proposta pelo Ministério das Cidades visou à necessidade de uniformização dos procedimentos para avaliação de riscos a deslizamentos de encostas.

Segundo MANTOVANI (2016), a nível nacional, esta metodologia tem sido a mais utilizada para o gerenciamento de risco e propõe uma escala de hierarquização com classificação distribuída em quatro graus (níveis) de probabilidade de ocorrência de processos de escorregamentos.

Essa metodologia adota a classificação do risco qualitativamente, através da observação em campo dos indicadores de instabilidade, possibilitando com isso a determinação da probabilidade de ocorrência de um efeito adverso.

O roteiro apresentado pelo manual Mapeamento de Riscos em Encostas e Margens de Rios indica que o cadastramento de riscos seja elaborado em oito etapas, como apresenta a Tabela 1:

Etapa 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 2.
8	Registrar e imediatamente informar à Defesa Civil municipal a existência de moradias em áreas de risco eminente devendo assim serem removidas.

Tabela 1 - Descrição das atividades para o mapeamento de riscos proposto pelo IPT
Fonte: SILVA, 2016

Com base na Tabela 2, citado na etapa de trabalho 7 da Tabela 1, pode-se efetuar a análise qualitativa do risco.

Grau de Risco	Descrição
R1 (Baixo)	<p>- 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.</p> <p>- 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.</p> <p>- Mantidas as condições existentes não se espera a ocorrência de eventos destrutivos no período compreendido por uma estação chuvosa normal.</p>
R2 (Médio)	<p>- 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.</p> <p>- 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.</p> <p>- 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.</p>
R3 (Alto)	<p>- 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.</p> <p>- 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.</p> <p>- 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.</p>
R4 (Muito Alto)	<p>- 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.</p> <p>- 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.</p> <p>- Mantidas as condições existentes, é muito provável a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período chuvoso</p>

Tabela 2 - Critérios para a determinação do grau de risco
Fonte: Ministério das Cidades (2007)

Conforme Macedo & Mirandola (2016) apud MANTOVANI (2016), o texto explicativo para as classificações (Tabela 2) vem sendo objeto de várias discussões por ter um nível de subjetividade que exige do aplicador um conhecimento elevado dos processos de movimentos de massa, exigindo uma equipe bastante experiente para seu uso. Isso dificulta uma perfeita homogeneização de resultados e, por isso, os autores propuseram uma chave de classificação na passagem de um nível de risco para outro, não sendo objeto de estudo desse trabalho.

2.3.2 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, ou seja, baseado na obtenção de índices numéricos para a avaliação do risco, por meio da análise de cada fator observado em campo. Sua análise é feita de forma relativa, comparando-se as situações de risco, resultando assim numa avaliação qualitativa.

Em campo observa-se uma determinada área, verificando suas características de ocupação e infraestrutura, dividindo-a em setores homogêneos de encostas. A elaboração de um formulário permite uniformizar os dados a serem coletados, considerando os fatores geológico, topográfico e ambiental, levando em conta os principais grupos de atributos que afetam a estabilidade das encostas.

Os fatores geológico e topográfico levados em consideração dizem respeito ao risco de movimento e transporte de massa, ao passo que o fator ambiental está relacionado à vulnerabilidade a que está sujeita a população passível de ser atingida pelo desastre. O fator meteorológico, nesta metodologia, é considerado uniforme para toda a área de estudo, considerando-se os mesmos índices pluviométricos para toda região. Na avaliação dos riscos de cada fator isoladamente, eles são considerados sob condições de chuvas intensas.

Após a coleta das informações de todos os setores de encostas, cada atributo recebe uma avaliação qualitativa para o seu grau de risco conforme a Tabela 3:

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

Tabela 3 - Tabela de Grau de Risco
Fonte: GUSMÃO FILHO *et al.* (1992)

Segundo Bandeira (2003), a elaboração de uma ficha permite uniformizar os dados a serem coletados, considerando os fatores geológico, topográfico e ambiental, levando em conta os principais grupos de atributos que afetam a estabilidade das encostas. Um exemplo de ficha de levantamento dos fatores para análise de risco aplicada no município de Recife pode ser vista na Tabela 4. Com essa ficha avaliam-se os valores e características de cada atributo considerado.

FICHA PARA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE RISCO		
No. _____ localização: _____ avaliador: _____ data: _____		
Fatores Topográficos		
Altura da encosta (m): (A) < 5 (B) 5 – 10 (C) 10 – 20 (D) 20 – 30 (E) > 30	Perfil da encosta: (A) côncavo (B) retilíneo (C) convexo (D) côncavo-convexo	Morfologia da encosta: (A) côncava (B) retilínea (C) convexa (D) côncava-convexa
Extensão da encosta (m): (A) < 100 (B) 100 – 250 (B) 250 – 350 (D) 350 – 500 (E) > 500	Declividade da encosta (%): (A) < 20 (B) 20 – 30 (C) 30 – 40 (D) 40 – 50 (E) > 50	OBS:
Fatores Geológicos		
Litologia: (A) solo residual (B) Saprolito (C) Fm. Cabo (D) Fm. Beberibe (E) Fm. Gramame (F) Fm Barreiras (fluvial) (G) Fm Barreiras (leque aluvial)	Textura: (A) areno-argilosa (B) argilo-arenosa (C) arenosa / argilosa (D) argilosa / arenosa (D) topo arenoso (E) topo argiloso	Estrutura: (A) maciça (B) mergulho oposto (C) subvertical (D) subhorizontal (E) mergulho concordante
Evidências de movimento: (A) ravinamento sup. (B) rav. prof. (C) cicatrizes (D) erosão no pé da enc	(E) voçorocas (F) fendas (G) surgências N.A. (H) ausentes	OBS:
Fatores Ambientais		

Vegetação (%): (A) 100 (B) 100-70 (C) 70-30 (D) 30-0 (E) ausente	Drenagem: (A) extensiva (B) parcial (C) insuficiente (D) tópica (E) inexistente	Cortes: (A) próx. a crista (B) próx. ao pé (C) próximos (D) desordenados (E) em patamares
densidade populacional (hab/ha): (A) <100 (B) 100-200 (C) 200-300 (D) 300-500 (E) >500	Tratamento: (A) extensivo (B) parcial (C) insuficiente (D) tópico (E) inexistente	OBS:

Tabela 4- Ficha de Levantamento dos Fatores para Avaliação do Potencial de Risco das Encostas do Recife

Fonte: (ALHEIROS, 1998)

Na Tabela 5 é apresentado o detalhamento dos atributos dos fatores por grau de risco aplicado no município de Recife.

Graus de Risco Atributos	Muito Baixo 1	Baixo 2	Mediano 3	Alto 4	Muito Alto 5
Fator Topográfico					
Altura (m)	< 5	5 - 10	10 - 20	20 - 30	> 30
Extensão (m)	< 100	100 - 250	250 - 350	350 - 500	> 500
Decividade (%)	< 20	20 - 30	30 - 40	40 - 50	> 50
Perfil	côncavo	retilíneo	cônc. - conv.	convexo	convexo
Morfologia	convexa	retilínea	sinuosa	côncava	côncava
Fator Geológico					
Litologia	calcário (Fm. Gramame)	conglomerado (Fm. Cabo)	solo residual (emb. crist.)	sedimento (Fm. Beberibe)	sedimento (Fm. Barreiras)
Estrutura	maciça	merg. oposto	subhorizontal	subvertical	merg. concord.
Textura	arenosa	areno-siltosa	areno-siltosa	areno-argilosa	areno-argilosa
Evidências	ausentes	ravinamento	cicatrices -	cicatrices +	fenda/barriga
Fator Ambiental					
Vegetação (%)	100	100 - 70	70 - 30	30 - 0	ausente
Drenagem	extensiva	parcial	insuficiente	tópica	inexistente
Cortes	isolados	dispersos -	dispersos +	desordenados -	desordenados +
Dens. Pop. (hab/ha)	< 100	100 - 200	200 - 300	300 - 500	> 500
Tratamento	extensivo	parcial	insuficiente	tópico	inexistente

Tabela 5 - Detalhamento dos atributos por grau de risco aplicado em Recife

Fonte: ALHEIROS, 1998

Para cada setor previamente definido da encosta, por meio do zoneamento com base em áreas com características semelhantes, associa-se um valor para cada atributo, calculando-se o grau de risco de cada fator (topográfico, geológico e ambiental) através da média aritmética dos valores de seus atributos, ou seja, a nota do fator topográfico, geológico e ambiental será a média aritmética de seus respectivos atributos. Em seguida calcula-se a nota de cada setor de encosta através da média aritmética ou ponderada, dependendo dos pesos que

lhes são atribuídos, entre os fatores topográfico, geológico e ambiental, conforme a seguinte fórmula:

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

GRFENC = 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

2.4 CLASSIFICAÇÃO DOS MOVIMENTOS DE MASSA

A classificação desses movimentos é baseada na análise dos seguintes critérios (COUTINHO; SILVA, 2006):

- Cinemática do movimento: relacionada à velocidade, direção e sequência dos deslocamentos em relação ao terreno estável;
- Tipo de material: solo rocha, solos e rochas, detritos, depósitos, etc., estrutura, textura e porcentagem de água;
- Geometria: tamanho e forma das massas mobilizadas.

Existem várias propostas de classificação dos movimentos de massa, sendo a mais utilizada internacionalmente a classificação proposta por Cruden e Varnes (1996), mostrada na Tabela 6.

TIPO DE MOVIMENTO		TIPO DE MATERIAL		
		ROCHA	SOLOS DE ENGENHARIA	
			Predomínio de grossos	Predomínio de finos
QUEDA		Queda de blocos	Queda de detritos	Queda de solo
TOMBAMENTO		Tombamento de rocha	Tombamento de detritos	Tombamento de solo
DESLIZAMENTO	ROTACIONAL	Deslizamento de rocha	Deslizamento de detritos	Deslizamento de solo
	TRANSLACIONAL			

ESPALHAMENTO LATERAL	Expansões laterais de rocha	Expansões laterais de detritos	Expansões laterais de solo
FLUXO	Movimento lento / Corrida de rocha	Movimento lento / Corrida de detritos	Movimento lento / Corrida de solo

Tabela 6 - Classificação dos Movimentos Gravitacionais de Massa
Fonte: (Cruden; Varnes, 1996).

Outra proposta de classificação é a de Augusto Filho (1992), a qual foi ajustada a partir da classificação realizada por Varnes (1978) para a realidade dos processos de deslizamentos no Brasil, levando em consideração principalmente a composição do material e a velocidade do escoamento, sendo uma classificação de fácil entendimento, como se pode observar na Tabela 7.

MOVIMENTO DE MASSA	DESCRIÇÃO
RASTEJOS (CREEP)	Vários planos de deslocamento (internos); Velocidades muito baixas e decrescentes com a profundidade; Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes; Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada; Geometria indefinida;
ESCORREGAMENTOS (SLIDES)	Poucos planos de deslocamento; Velocidades médias e altas; Pequenos e grandes volumes de material; Geometria e materiais variáveis;
QUEDAS (FALLS)	Sem planos de deslocamento; Movimentos tipo queda livre; Velocidades muito altas; Material rochoso; Pequenos e médios volumes; Geometria variável: lascas, placas, blocos; Rolamento de matacão; Tombamento;
CORRIDAS (FLOWS)	Muitas superfícies de deslocamento; Movimento semelhante ao de um líquido viscoso; Desenvolvimento ao longo das drenagens; Velocidades médias e altas; Mobilização de solo, rocha, detritos em água; Grandes volumes de material; Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas;

Tabela 7 - Classificação dos Movimentos Gravitacionais de Massa
Fonte: AUGUSTO FILHO, 1992

Segundo a Tabela 7, serão comentados cada tipo de movimentação gravitacional de massa de acordo a classificação proposta por Augusto Filho (1992), visto ser uma classificação adaptada à realidade dos processos que ocorrem no Brasil.

2.4.1 Rastejos (Creep)

Segundo GERSCOVICH, D. M. S. (2009), também podendo ser denominado por fluência, o rastejo tem por característica, quanto à velocidade, de ser um movimento lento e contínuo, não apresentando superfície de cisalhamento bem definida, ocorrendo o escoamento quando a tensão de fluência é atingida. É um tipo de movimento de massa que pode ser percebido em inclinações acentuadas de postes de iluminação pública, árvores etc.

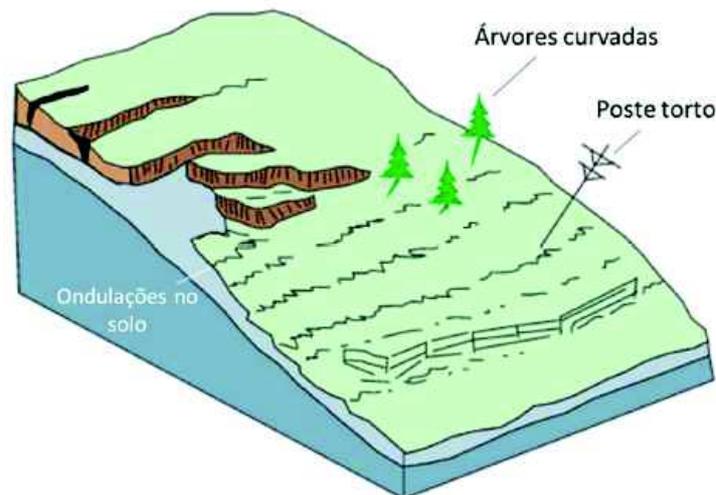


Figura 5 - Movimento de rastejo (creep)
Fonte: Highland & Bobrowsky (2008)

Segundo Highland & Bobrowsky (2008), rastejo ou *creep* é o nome informal dado ao fluxo lento de terra e consiste de um movimento vagaroso, imperceptível e contínuo, para baixo do solo que forma o talude. As velocidades são muito baixas, chegando a escala de centímetros por ano, caracterizando-se por ser decrescente à medida em que a profundidade aumenta. São movimentos que podem ser sazonais, constantes ou intermitentes.

2.4.2 Escorregamentos (Slides)

Os escorregamentos, também chamados de deslizamentos, são movimentos de massa que ocorrem com uma maior velocidade quando comparados aos rastejos.

O movimento não se inicia simultaneamente por toda a superfície de ruptura, ocorrendo primeiramente o desprendimento do volume de material a partir de um ponto de instabilidade local, o que leva a um desequilíbrio de todo o talude (Highland & Bobrowsky, 2008). Portanto, vale ressaltar que a cicatriz deixada pelo deslizamento não necessariamente representa a superfície de ruptura pela qual aconteceu o movimento.

Ocorre sobre superfícies delgadas e com intensa deformação por cisalhamento, em declive. Pode ocorrer com massa de solo ou rocha. Caracteriza-se por aumentar progressivamente a partir de uma massa de material inicialmente deslocado.

Quanto à sua geometria, os deslizamentos podem ser classificados em rotacional (circular), planar (translacional) ou ainda em cunha.

Em relação aos processos de deslizamentos rotacionais, estes apresentam superfície de ruptura circular, ocorrendo mais frequentemente, segundo Highland & Bobrowsky (2008), em materiais homogêneos, sendo por essa razão, comuns em taludes artificiais de estradas e rodovias, visto o controle tecnológico empregado em obras do tipo. Augusto Filho (1992) complementa que estão sujeitos a escorregamentos circulares solos espessos e homogêneos e rochas muito fraturadas.

Conforme Figura 6, em escorregamentos do tipo rotacional, analisa-se a superfície de escorregamento encurvada, além da formação de degraus de abatimento, sendo o movimento caracterizado pela movimentação de massa em torno de um eixo imaginário.



Figura 6 - Movimento de escorregamento circular (rotacional)
 Fonte: (INFANTI JR. E FORNASARI FILHO 1998 citado por WIGGERS, 2013).

Quanto aos deslizamentos planares, segundo Highland & Bobrowsky (2008), eles são o tipo mais comum de deslizamento em todo o mundo, sendo encontrados nos mais diversos ambientes e condições. Possuem superfície de ruptura relativamente plana e tendem a ocorrer em regiões de descontinuidades geológicas, tais como solo sobre superfície rochosa.

Conforme Augusto Filho (1992) o escorregamento planar ocorre em solos pouco espessos e solos e rochas com um plano de fraqueza.

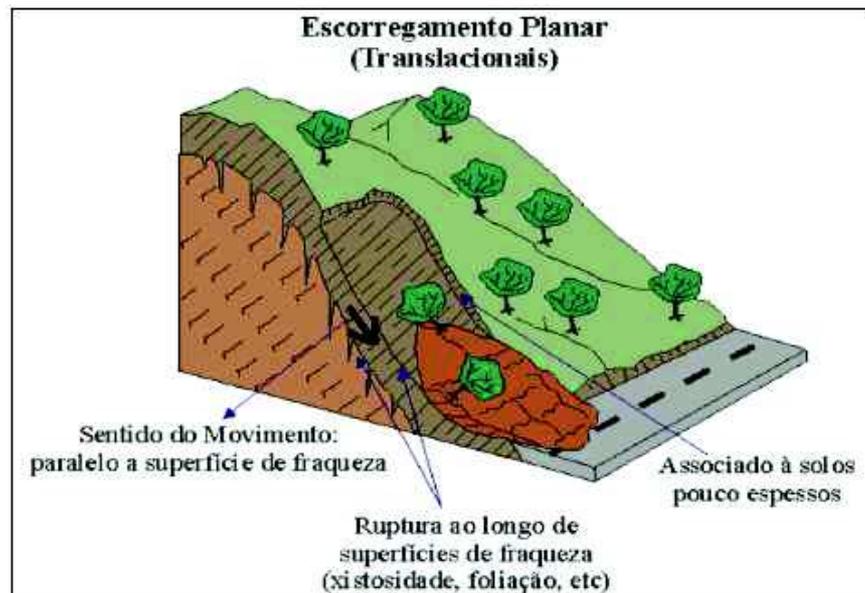


Figura 7 - Movimento de escorregamento planar (translacional)
 Fonte: (INFANTI JR. E FORNASARI FILHO 1998 citado por WIGGERS, 2013)

Os deslizamentos classificados em cunha são condicionados por duas superfícies de ruptura, como mostra a Figura 8 abaixo. Ocorrem principalmente em taludes de corte ou em encostas que sofreram algum tipo de desconfinamento, natural ou antrópico (Infanti Jr. & Fornasari Filho, 1998 apud WIGGERS, 2013).

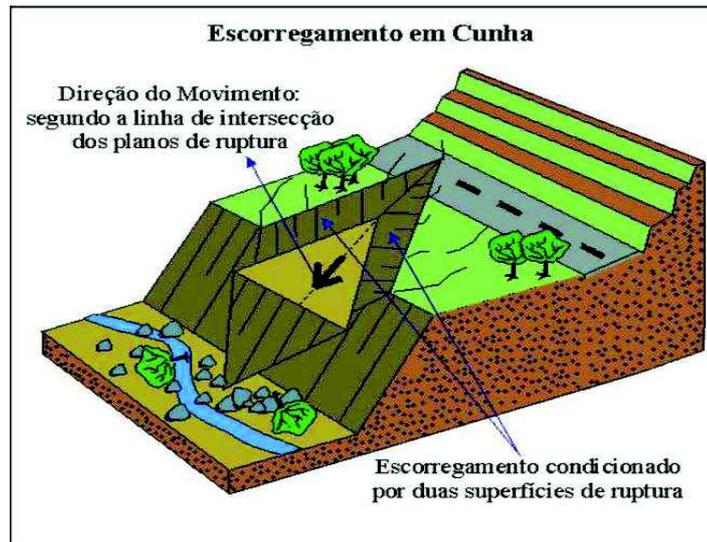


Figura 8 - Movimento de Escorregamento em Cunha
 Fonte: (INFANTI JR. E FORNASARI FILHO 1998 citado por WIGGERS, 2013).

2.4.3 Quedas (Falls)

As quedas se caracterizam por movimentos devido ao destacamento de material rochoso de encostas íngremes ou até mesmo verticais, como se pode ver na Figura 2.4 abaixo, podendo ser causadas pelo movimento de blocos e placas rochosos, os quais podem atingir, segundo Bezerra, L. T. V. (2016), altas velocidades que variam de 0,3 a 30m/s.

Para Augusto Filho (1992) os movimentos podem ser do tipo queda livre ou em plano inclinado, sem planos de deslocamento e com geometria variável, estando nessa classificação ainda o rolamento de matacões e tombamentos.

Alguns possíveis mecanismos causadores desse tipo de movimento de massa, segundo Highland & Bobrowsky (2008), são o intemperismo causado pela água de rios e córregos, ciclo de congelamento e descongelamento, atividades antrópicas, tais como escavações, tremores de terra e outras vibrações intensas.



Figura 9 - Movimento de queda de blocos rochosos ocorrido em 2005 no Colorado-EUA
Fonte: Highland & Bobrowsky (2008)

2.4.4 Corridas (*Debris Flow*)

Do inglês “fluxo de detritos”, *debris flow* são formas rápidas de movimentação de massa, de caráter essencialmente hidrodinâmico, ocasionadas pela perda de atrito interno, em virtude da destruição da estrutura, em presença de excesso de água (GUIDICINI; NIEBLE, 1984). Pelo caráter hidrodinâmico, possuem um elevado raio de alcance quando comparado com outros tipos de movimentos de massa, tendo grande potencial destrutivo, podendo alcançar, segundo Highland & Bobrowsky (2008), aproximadamente 60 km/h, sendo mais comuns em taludes com a presença de ravinas.

Na Figura 10 é mostrado o pior desastre natural ocorrido na Venezuela durante o século XX. Ocorreu em dezembro de 1999, chegando a matar 30.000 pessoas após vários dias de chuvas intensas, causando o movimento de materiais como lama, rochas e árvores, se estendendo por uma grande área da cidade.



Figura 10 - Debris flow ocorrido em 1999 em Caraballeda, Venezuela
Fonte: Highland & Bobrowsky (2008)

2.5 AGENTES CONDICIONANTES

Os agentes condicionantes são fatores que contribuem para a instabilização do talude, sejam eles naturais ou antrópicos. As principais causas de instabilidade de taludes e encostas são, relativamente, de conhecimento geral da população. O que se procura sempre é alcançar, por meio do entendimento dos processos envolvidos, como ocorrem os escorregamentos, quando, onde e quais são seus mecanismos, permitindo a predição da suscetibilidade.

Esses fatores condicionantes podem ter origem geológica, morfológica, física ou antrópica. Segundo TOMINAGA (2009), um importante fator físico que contribui para a instabilização do maciço é a pluviosidade, sendo a associação dos escorregamentos às chuvas intensas de conhecimento generalizado. Aliado a esse fator, tem-se outros condicionantes, de natureza antrópica, que induzem a uma modificação da dinâmica natural do relevo.

Com a ocupação desordenada das encostas, surgem problemas como o lançamento de águas servidas e deposição de lixo na face do talude, desmatamento da região, regiões de cortes no talude, visando à implantação de moradias, alterando a geometria e conseqüentemente a estabilidade do talude, plantação de árvores de grande porte na face do talude etc.

Segundo TOMINAGA (2009), no grande acidente ocorrido em Petrópolis (RJ) em 1988 que resultou em 171 mortes, Nunes *et al.* (1990) e Nakazawa & Cerri (1990) verificaram

que mais de 90% dos escorregamentos foram induzidos pela ocupação desordenada das encostas do município.

Todos esses fatores combinados geram risco ao deslizamento, visto que alteram a estabilidade do talude por meio do aumento das solicitações atuantes no maciço e/ou da diminuição das resistência cisalhante do solo. Na Tabela 8 é possível analisar a influência desses fatores:

AÇÃO	FATORES	FENÔMENOS
AUMENTO DAS SOLICITAÇÕES	Remoção de massa (lateral ou da base)	Erosão, escorregamentos. Cortes
	Sobrecarga	Peso da água da chuva, neve, granizo. Acúmulo natural de material; Peso da vegetação; Construção de estruturas e aterros;
	Solicitações dinâmicas	Terremotos, ondas, vulcões, etc. Explosões, tráfego, sismos induzidos.
	Pressões laterais	Água em trincas, material explosivo, etc.
REDUÇÃO DA RESISTÊNCIA	Características inerentes ao material (textura, estrutura, etc.)	Características geomecânicas do material, estado de tensões iniciais.
	Mudança nas características do material	Intemperismo, redução da coesão, ângulo de atrito. Elevação do nível d'água.
	Outras causas	Enfraquecimento devido ao rastejo progressivo. Ação de raízes e animais.

Tabela 8 - Fatores deflagradores dos movimentos de massa
Fonte: Guidicine; Nieble (1984)

Vale ressaltar também a influência da declividade do talude e da água da chuva e de subsuperfície no processo de instabilização do maciço. A declividade da encosta é uma das principais causas predisponentes da deflagração de movimentos de massa. Cruz (1975) *apud* Araújo (2004) constatou que os maiores escorregamentos ocorridos no litoral norte de São Paulo ocorreram acima do limite de 40% de declividade, correspondente a 22° e que a 15° era verificada uma grande frequência de cicatrizes de erosão ligadas aos movimentos de massa.

Segundo o IPT (1994), além do fator declividade, a forma da vertente também influencia no desenvolvimento de instabilidades:

- Encostas retilíneas tendem a apresentar maiores declividades, em geral, que as convexas, assim são mais suscetíveis a escorregamentos;
- Encostas convexas apresentam, em média, maiores espessuras de solos, que podem influenciar favorecendo a instabilidade e potencializando uma ruptura mais profunda. Nas

encostas desta forma, a água subterrânea é dispersa e as pressões neutras são menores do que em outros locais;

- As encostas côncavas tendem a concentrar a água de recarga, assim são mais propícias a apresentarem elevação do nível freático e a desenvolver pressões neutras mais elevadas.

Já em relação às águas provenientes da chuva e de subsuperfície, estas representam o principal fator condicionante de instabilização do talude. De acordo com (COUTINHO; SILVA, 2006), os principais mecanismos de atuação das águas no desencadeamento de movimentos de massa são: redução da coesão aparente, variação do nível piezométrico em massas homogêneas, rebaixamento rápido do nível d'água (reservatórios), carregamento dinâmico, elevação da coluna d'água em descontinuidades e erosão subterrânea retrogressiva (“*pipping*”).

A correlação entre chuva e os escorregamentos é utilizada como critério técnico para a implantação de planos de contingência em vários municípios brasileiros. A principal aplicação destas correlações é tentar se antecipar à deflagração dos movimentos de massa, a partir do acompanhamento dos índices pluviométricos de uma região, sendo possível alertar, antecipadamente, a população da possibilidade de deslizamentos. É mais fácil e barato monitorar o parâmetro chuva do que monitorar o grau de saturação dos taludes e encostas, principalmente em grandes áreas. Apesar das limitações e imprecisões, essas correlações fornecem um importante instrumento de baixo custo para monitoramento de riscos associados a escorregamentos (COUTINHO; SILVA, 2006).

A relação entre chuvas e deslizamentos é alvo de estudos em várias regiões do Brasil, por meio da obtenção da relação entre a precipitação acumulada e diária e a ocorrência de deslizamentos. Essa correlação já foi alvo de estudos, no que diz respeito à cidade de João Pessoa, e está mostrada na Figura 11.

Nesse estudo, foram obtidos dados pluviométricos de vários dias, sendo catalogados os eventos de deslizamentos que ocorriam nesse tempo. Nos dias em que esses eventos não eram deflagrados, foi atribuído a legenda de “sem registro”, ao passo que, na ocorrência desses eventos, estes eram classificados em simples, médios e grandes, como se pode ver abaixo.

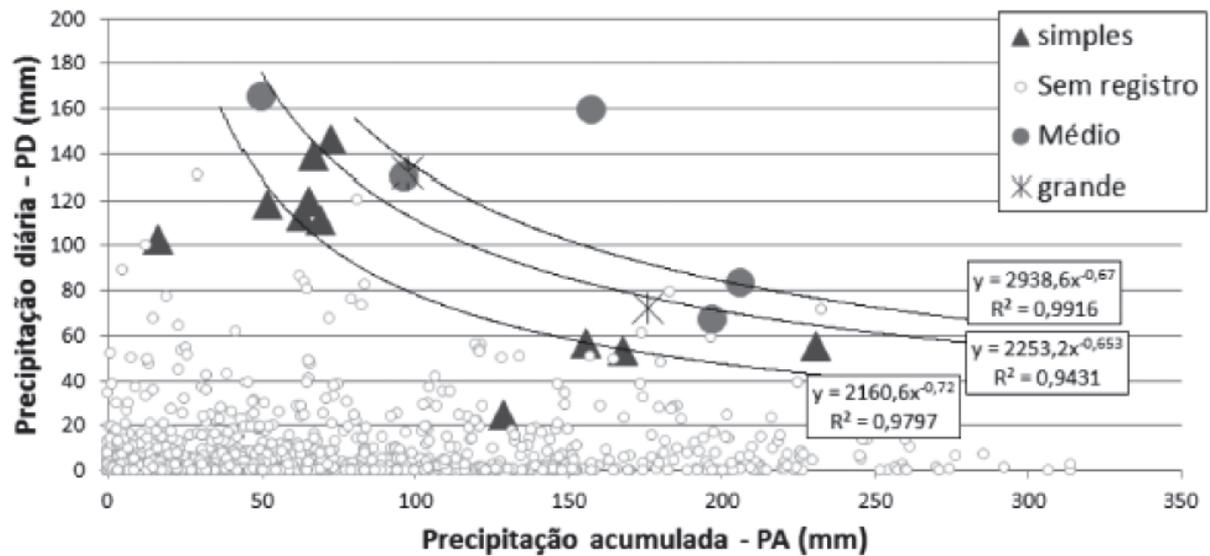


Figura 11 - Curvas de correlação entre precipitação diária e acumulada para 8 dias
Fonte: Soares & Filho (2015)

3 MÉTODOS DE ANÁLISE DE ESTABILIDADE

3.1 ANÁLISE DETERMINÍSTICA

A importância da análise de estabilidade de taludes se encontra na quantificação do risco do colapso através do cálculo do fator de segurança obtido por diferentes processos, os quais diferenciam os diversos métodos de análise constantes na bibliografia.

Segundo GERSCOVICH, D. M. S. (2009), de um modo geral, os diferentes métodos se utilizam da relação entre as tensões cisalhantes atuantes no talude, denominadas de tensões mobilizadas, e a resistência ao cisalhamento. A razão entre eles reflete o valor do fator de segurança ao deslizamento para o talude em estudo. Na NBR 11.682 de 2009, há uma recomendação quanto aos valores mínimos dos fatores de segurança a serem respeitados em uma análise de estabilidade, conforme Tabela 9.

Nível de segurança contra danos a vidas humanas	Alto	Médio	Baixo
	Nível de segurança contra danos materiais e ambientais		
Alto	1,5	1,5	1,4
Médio	1,5	1,4	1,3
Baixo	1,4	1,3	1,2

Nota: No caso de grande variabilidade dos resultados dos ensaios geotécnicos, os fatores de segurança da tabela devem ser majorados em 10%

Tabela 9 - Fatores de segurança mínimos para deslizamentos
 Fonte: Adaptada da NBR 11.682/2009 – Estabilidade de Encostas

Esta metodologia de análise de estabilidade denomina-se determinística, pois o objetivo é determinar um valor numérico para o fator de segurança. De acordo com GERSCOVICH, D. M. S. (2009), existem dois tipos de análise para a obtenção do fator de segurança através do método determinístico, quais sejam:

- Análise de Tensões, sendo realizada por meio de ferramentas computacionais com base no método dos elementos finitos (MEF) ou das diferenças finitas (MDF), não fazendo parte do escopo deste trabalho;
- Teoria de Equilíbrio Limite, pelo qual se determina o equilíbrio estático do maciço como um todo ou de partes dele como corpo(s) rígido(s), o qual será analisado no item subsequente.

3.2 TEORIA DE EQUILÍBRIO LIMITE

De acordo com SILVA (2011), a Teoria de Equilíbrio Limite é a filosofia de cálculo base dos métodos de equilíbrio limite conhecidos na bibliografia. É utilizada para determinar o equilíbrio de uma massa de solo, cuja ruptura ocorre ao longo de uma superfície plana, circular, poligonal ou mista, que pode passar acima ou abaixo do pé de talude, conforme se vê na Figura 12.

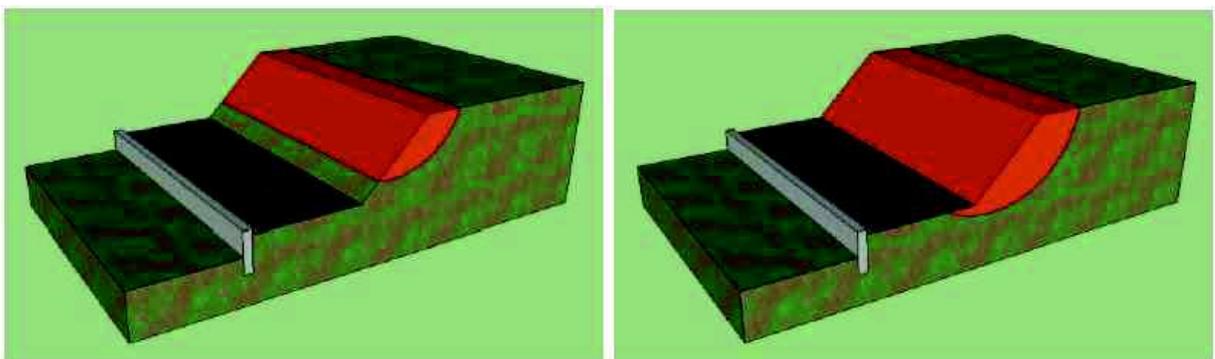


Figura 12 - Superfície crítica ou de ruptura acima e abaixo do pé do talude

Fonte: SILVA ,2011

Essa teoria, conforme Gomes (2011) apud SILVA (2011), é aplicada a vários tipos de análise de estabilidade que são comumente realizados pela aplicação de um dos três seguintes métodos:

- Método geral – as condições de equilíbrio são aplicadas a toda a massa de solo potencialmente instável, cujo comportamento se admite ser o de um corpo rígido;
- Método das fatias – a massa de solo potencialmente instável é dividida em fatias, geralmente verticais, e as condições de equilíbrio são aplicadas a cada uma das fatias isoladamente;
- Método das cunhas – a massa de solo potencialmente instável, dada a sua configuração e características resistentes, é dividida em cunhas, e as condições de equilíbrio são aplicadas a cada zona isoladamente.

Vale ressaltar a limitação desses métodos, os quais utilizam equações da estática e algumas simplificações no sentido de eliminar-se a hiperestaticidade vinculada ao problema de deslizamentos. Também as equações da estática apresentam-se como uma limitação no momento em que o problema do deslizamento se inicia, pelo fato de ser um processo dinâmico de ruptura de massas de solo. Logo, os métodos de equilíbrio limite que serão utilizados nesse trabalho possuem algumas premissas, quais sejam (MASSAD, 2003):

- Solo se comportando como material rígido-plástico, rompendo bruscamente sem se deformar;
- Equações de equilíbrio estático válidas somente até a iminência da ruptura, após esse momento o comportamento passa a ser dinâmico;
- O coeficiente de segurança é considerado constante ao longo da superfície de ruptura, apesar de que isto só se verifica em solos de comportamento dúctil. Nos solos de comportamento frágil o coeficiente não é constante e o fenômeno de ruptura progressiva é desprezado.

Os problemas que envolvem estabilidade de taludes possuem mais incógnitas a serem determinadas do que equações de equilíbrio disponíveis para sua determinação. Os diversos métodos utilizados para a resolução do problema se utilizam de algumas simplificações visando a tornar o problema estaticamente determinado.

Na próxima seção será exposto o Método das Fatias, método pelo qual se realizou a análise de estabilidade do talude estudado nesse trabalho.

3.2.1 MÉTODO DAS FATIAS

O método das fatias foi introduzido por Fellenius em 1936 e consiste na subdivisão do talude em várias fatias de faces verticais, realizando uma discretização do maciço que visa à uma análise, através das equações da estática, de cada fatia em separado. Para a sua aplicação

arbitra-se uma superfície potencial de ruptura, podendo esta ser circular ou não, e aplica-se as equações da estática a cada uma dessas fatias, fazendo com que as resultantes das forças verticais (F_v), horizontais (F_h) e de momento em relação a um ponto (M_0) sejam iguais a zero, conforme se vê nas Equações de (1) a (3) abaixo:

$$\sum F_v = 0 \quad (1)$$

$$\sum F_h = 0 \quad (2)$$

$$\sum M_0 = 0 \quad (3)$$

Uma ilustração da subdivisão em fatias é mostrada na Figura 13:

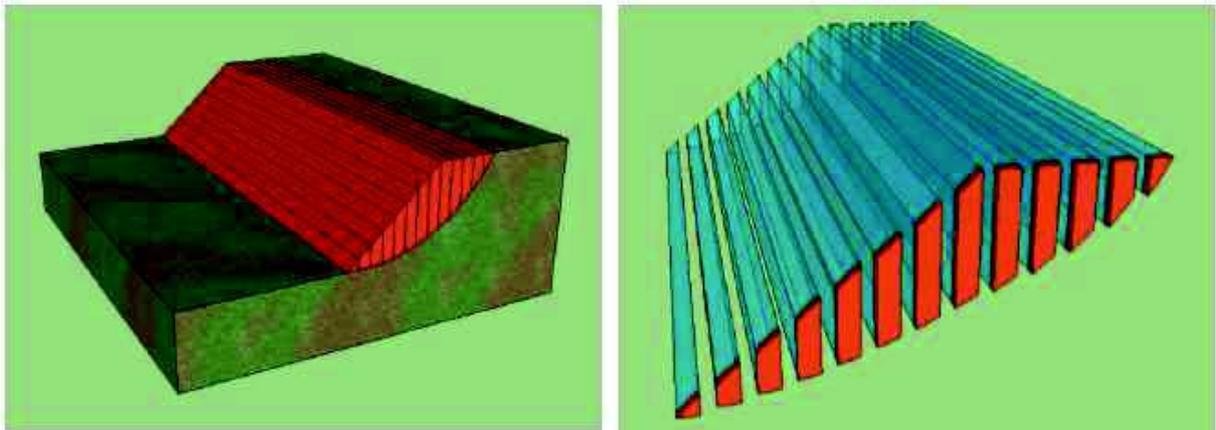


Figura 13 - Subdivisão de um talude em fatias
Fonte: SILVA, 2011

Como dito anteriormente, o talude é dividido em fatias de faces verticais, razão pela qual a geometria do talude não se apresenta como um limitante para este método, pelo fato das fatias não necessitarem ter mesma espessura, permitindo a análise de taludes irregulares. Quanto à heterogeneidade do solo, o método também abrange a análise de taludes com mais de um tipo de solo, tomando-se o cuidado de atribuir à base de cada fatia um só conjunto de parâmetros de resistência, incluindo também a distribuição de poropressões.

A discretização do problema de estabilidade de taludes em fatias permite-nos concluir que quanto maior for o número de divisões (fatias) maior será a precisão do método utilizado, ressalvadas suas limitações (Freitas, 2011). A análise de cada fatia é feita com base nas forças de interação entre elas, conforme a Figura 14.

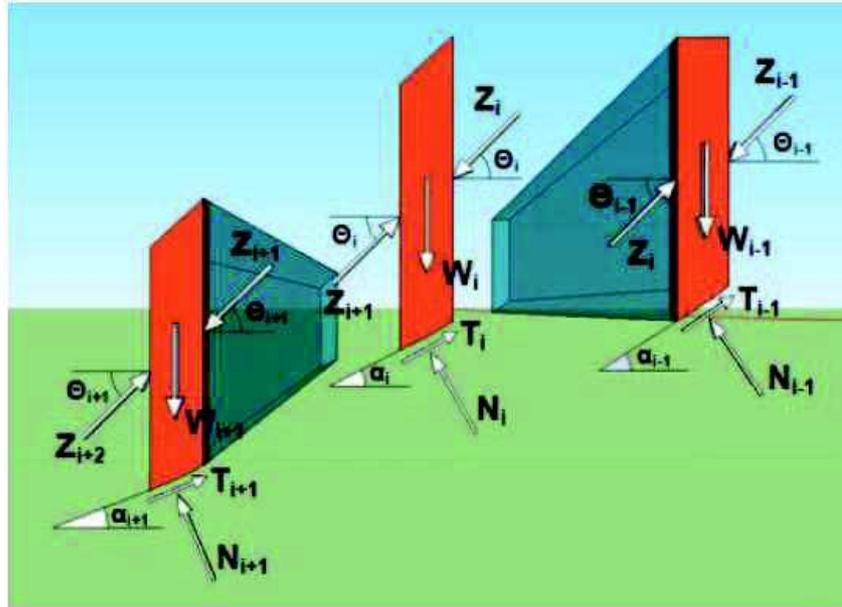


Figura 14 - Forças de interação entre as fatias

Fonte – SILVA, 2011

Sendo Z_i e θ_i , respectivamente, a resultante das forças de interação e sua inclinação com a horizontal.

N_i , α_i e T_i são, respectivamente, a reação normal da fatia à superfície de ruptura, a inclinação da base da fatia com a superfície horizontal e a força de interação tangencial na base da fatia. Vale ressaltar que a análise do problema é feita de forma bidimensional, desprezando-se os efeitos de interação laterais entre as fatias e as porções de solo normais ao plano analisado, ou seja, não levando em consideração o efeito tridimensional da interação de forças.

As grandes diferenças entre os métodos residem nas equações da estática que são satisfeitas, nas forças entre fatias consideradas no cálculo (normais e de corte), e na distribuição das forças de interação. As forças normais e de corte atuam na base e nas faces laterais das fatias, conforme ilustrado pela Figura 15, onde X_i representa a força tangencial e E_i a força normal entre fatias. Na base estão aplicadas N_i e T_i , a reação normal e de corte, respectivamente.

Morgenstern-Price	Qualquer	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Variável
Correia	Qualquer	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Variável

Tabela 11 - Resumo das características dos métodos de equilíbrio limite rigorosos
Fonte: SILVA, 2011

A seguir serão comentados os principais métodos de análise de estabilidade de taludes utilizados na prática, sendo alguns deles adotados nesse trabalho, sendo escolhidos como métodos de análise os Métodos de Fellenius, Bishop Simplificado e o de Morgenstern & Price, realizando, com isso, a análise por meio de métodos considerados não-rigorosos como também rigorosos.

- MÉTODO DE FELLENIUS OU MÉTODO ORDINÁRIO DAS FATIAS

Um dos métodos mais utilizados na prática, o Método de Fellenius é o mais simples devido à utilização de uma equação linear para o cálculo do fator de segurança. O método admite superfície de ruptura circular e satisfaz para o cálculo do fator de segurança apenas o equilíbrio de momentos em torno do centro de ruptura, dado pela superfície crítica.

Neste método considera-se as forças de interação entre as fatias paralelas às bases das mesmas, simplificação que não satisfaz, deste modo, o equilíbrio de forças na direção paralela à base de cada fatia. Segundo SILVA (2011), esta simplificação, de fato, não é verdadeira, pois as forças resultantes, sendo, segundo o método, paralelas à base, não podem ter a mesma inclinação em todas as fatias. Quando se passa para a análise da fatia seguinte, a inclinação muda.

O fator de segurança FS é obtido segundo a equação abaixo, a qual deriva da equação de momentos em torno do centro de ruptura:

$$FS = \frac{\sum [c'.l + (P.\cos\theta - u.l.\cos^2\theta)\tan\phi']}{\sum P.\sen\theta} \quad (4)$$

Sendo:

c' e ϕ' = coesão e ângulo de atrito do solo situado na base da fatia

P = peso da fatia

θ = inclinação da base da fatia

u = poropressão atuante na base da fatia

l = comprimento da base da fatia

Na Figura 16 encontram-se as forças atuantes na fatia considerada:

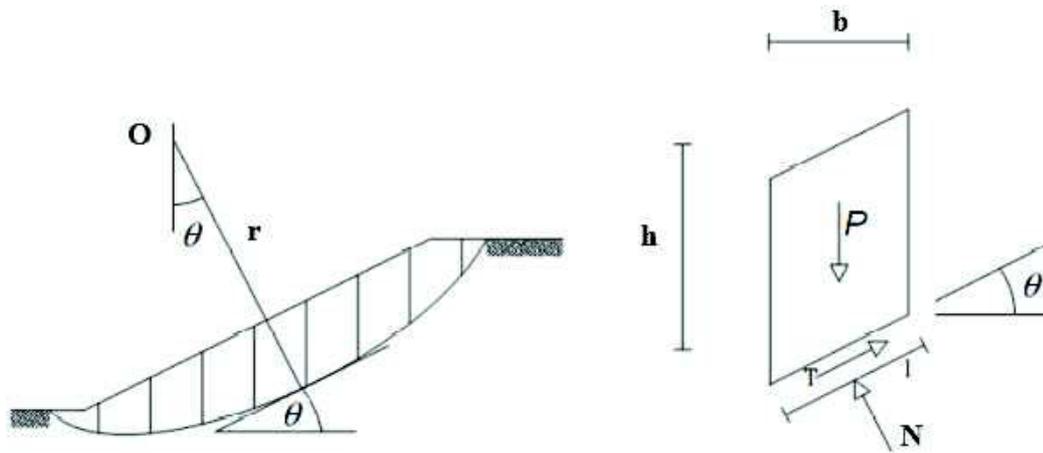


Figura 16 - Forças consideradas na análise de estabilidade pelo Método de Fellenius
Fonte: Adaptado de Freitas, 2011

- MÉTODO DE BISHOP SIMPLIFICADO

Na década de 1950, Bishop propôs um método para a realização da estabilidade de taludes mais refinado que o método proposto por Fellenius, visto a consideração das reações das fatias vizinhas na fatia analisada, sendo essas reações horizontais às faces das lamelas previamente delimitadas. Segundo SILVA (2011), os bons resultados em relação aos valores de coeficiente de segurança obtidos para determinado tipo de análises motivaram o seu estudo mais aprofundado.

De acordo com BRAJA (2007), o método simplificado de Bishop é provavelmente o mais utilizado hoje em dia e, quando incorporado a programas de computador, apresenta resultados satisfatórios na maioria dos casos.

Apesar da simplificação, neste método o fator de segurança (F_s) está presente nos dois lados da equação, assim como no método original, tornando necessário um procedimento iterativo para sua determinação. Várias superfícies de ruptura devem ser investigadas de modo a encontrar a superfície crítica que forneça o fator de segurança mínimo. Na Figura 17 podem ser vistas as forças atuantes na fatia considerada de acordo com o método.

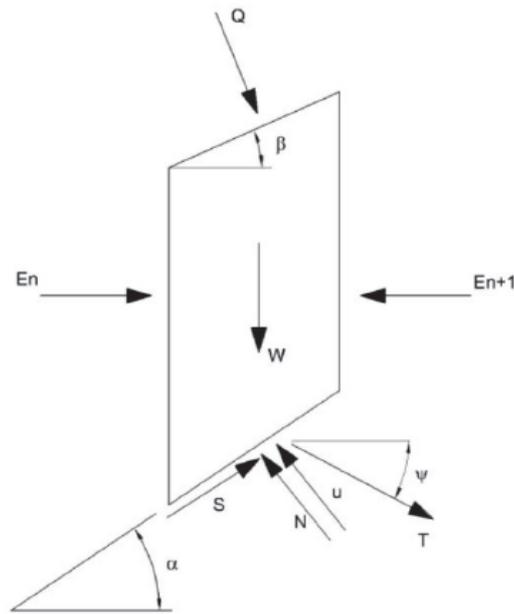


Figura 17 - Forças consideradas em fatia genérica pelo método Bishop Simplificado
Fonte: Filho & Corrêa (2015)

Em que:

W - Peso da fatia;

Q - Sobrecarga;

T - força resultante da tração no reforço;

S - força de cisalhamento atuante na fatia;

N - força normal à fatia;

En - força horizontal devido às fatias adjacentes;

u - poropressão atuante na fatia;

β - inclinação na parte superior da fatia;

Ψ = inclinação do reforço;

α = inclinação da parte inferior da fatia com a direção horizontal.

Na Equação 4, encontra-se a expressão para o cálculo do fator de segurança FS. Percebe-se que esse fator está em ambos os lados da igualdade, visto a dependência de m_α em relação ao FS, de acordo com a Equação 5, fato pelo qual se deve realizar um processo iterativo na obtenção do mesmo. Esse processo para a obtenção do FS é, geralmente, de convergência rápida.

$$F_s = \frac{\sum (c' b + W \tan \phi') \frac{1}{m_\alpha}}{\sum W \tan \alpha} \quad (5)$$

Sendo:

$$m_{\alpha} = \cos \alpha + \frac{\tan \phi' \sin \alpha}{F_s} \quad (6)$$

- MÉTODO DE MORGENSTERN & PRICE

Apresentado em 1965. Consiste num método de análise de estabilidade de taludes o qual satisfaz todas as condições de equilíbrio da estática, permitindo, diferentemente do método proposto por Bishop, a adoção de superfície de ruptura de qualquer forma. É também uma aplicação do método das fatias, e exige cálculo computacional derivado do complexo processo iterativo.

Segundo SILVA (2011), Morgenstern & Price partiram do talude apresentado na Figura 18, estudando o equilíbrio da massa hachurada. A superfície do terreno é descrita pela função $y = z(x)$ enquanto que a função $y = y(x)$ descreve a linha de ruptura.

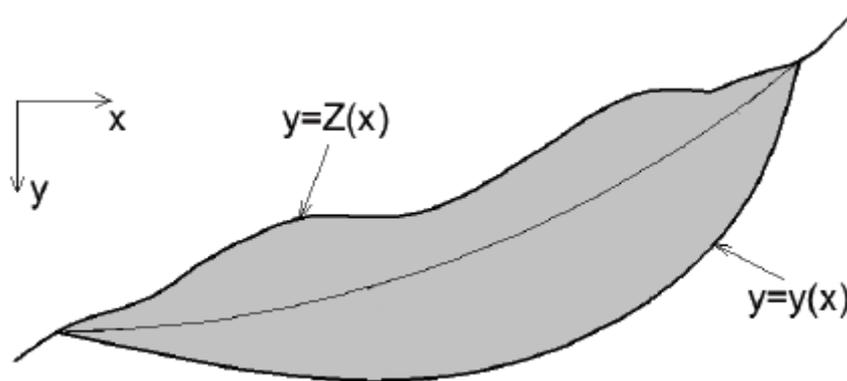


Figura 18 - Massa associada ao deslizamento
Fonte: Adaptado de SILVA (2011)

Na Figura 19 a seguir, encontram-se as forças atuantes consideradas numa fatia infinitesimal qualquer em equilíbrio pelo método em questão:

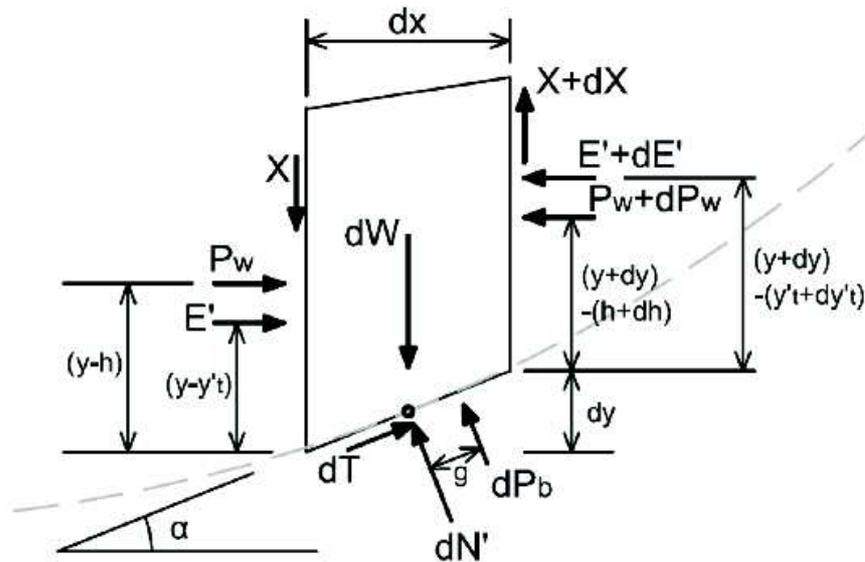


Figura 19 - Forças atuantes numa fatia genérica infinitesimal
Fonte: SILVA (2011)

Onde:

E' - força normal efetiva de interação;

X - força tangencial de interação;

dW - peso da fatia;

P_w - resultante das pressões neutras que atuam na face lateral da fatia;

dP_b – resultante da pressão neutra na base da fatia;

dN' - força normal efetiva na base da fatia;

dT - força de corte na base da fatia;

α - inclinação da base da fatia.

Para tornar o problema estaticamente determinado, a relação entre E' e X , segundo GERSCOVICH, D. M. S. (2009), é dada por uma função:

$$T = \lambda f(x)E \quad \text{ou} \quad \tan \theta = \frac{T}{E} = \lambda f(x)$$

Onde λ é um parâmetro que deve ser determinado a partir da solução de $f(x)$, uma função arbitrária, como mostra a Figura 20. Ainda segundo GERSCOVICH, D. M. S. (2009), caso $f(x) = 0$, a solução é idêntica à de Bishop e quando $f(x)$ é constante, o método torna-se idêntico ao de Spencer.

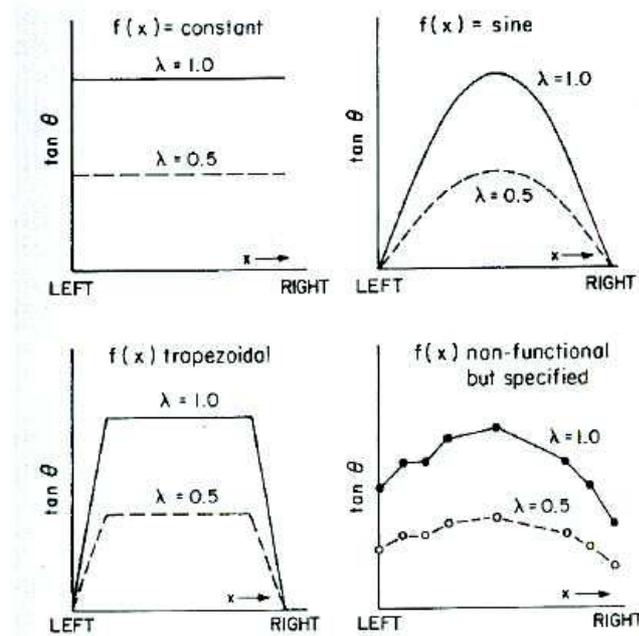


Figura 20 - Distribuições de força entre fatias usadas por Morgenstern e Price
 Fonte: GERSCOVICH, D. M. S. (2009)

Adotando-se valores para FS e λ , a solução do método é obtida através de processo iterativo, calculando-se E' e $M(x)$ para cada fatia, sendo $M(x)$ o valor do momento em relação a um ponto.

Assim sendo, o processo iterativo é repetido até que as condições de contorno sejam satisfeitas. Faz-se necessário o uso de computadores para utilização do método.

4 PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA DOS SOLOS

Muitos problemas práticos da engenharia envolvendo estabilidade de taludes, empuxos de terra sobre paredes de contenção, capacidade de carga de sapatas e estacas, entre outros, dependem de propriedades de resistência ao cisalhamento dos solos. Essa resistência, segundo Pinto (2002), pode ser 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.

O rompimento do solo, em se tratando de taludes, é caracterizado pelo deslizamento propriamente dito, e este é resultado, como visto anteriormente, da superação das tensões cisalhantes ou mobilizadas com as tensões resistentes.

Segundo Machado (1997), a resistência dos solos pode ser definida como sendo o resultado da ação conjunta de dois fatores denominados de ângulo de atrito e coesão, sendo estas as propriedades mais significativas para a discussão de problemas de estabilidade.

Devido à importância de se evitar desastres relacionados a movimentos de massa, os fatores que determinam as resistências ao cisalhamento dos solos devem receber considerável atenção.

Na Figura 21, a qual mostra a relação entre a tensão cisalhante atuante (τ) e a tensão normal (σ) aplicada resultante de ensaio de cisalhamento direto, é possível analisar que com o acréscimo de tensão normal aplicada há também um acréscimo da tensão cisalhante. A inclinação dada pela reta formada pelos pares de tensões define o ângulo de atrito ϕ , enquanto que o ponto dado para tensão normal aplicada σ igual a zero define o valor da coesão “c” para o plano de ruptura analisado.

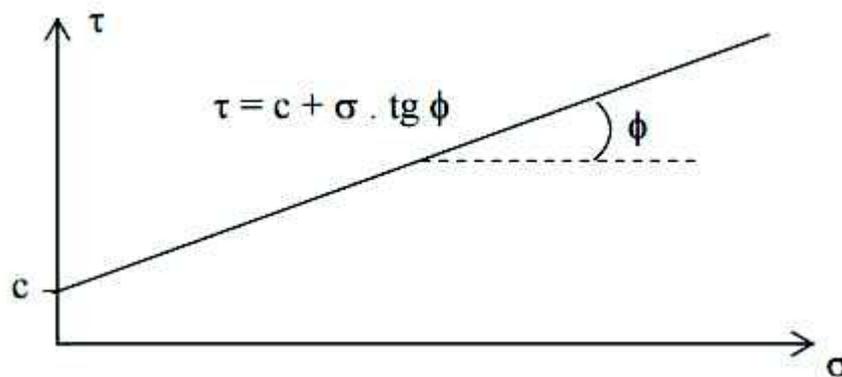


Figura 21 - Relação entre tensão cisalhante e tensão normal

4.1 ÂNGULO DE ATRITO

Segundo Pinto (2002), o ângulo de atrito pode ser entendido, como sendo o ângulo máximo que a força transmitida pelo corpo à sua superfície pode fazer com a normal ao plano de contato sem que ocorra deslizamento.

De acordo com Caputo (1988), a denominação genérica de atrito interno de um solo, abrange não só o atrito físico entre suas partículas, como o atrito fictício resultante do entrosamento de suas partículas, e no solo não existe uma superfície nítida de contato, ao contrário, há uma infinidade de contatos pontuais.

De forma mais visual, o ângulo de atrito pode ser analisado como sendo o ângulo formado entre a força normal e a resultante das forças atuantes, como se pode ver na Figura 22:

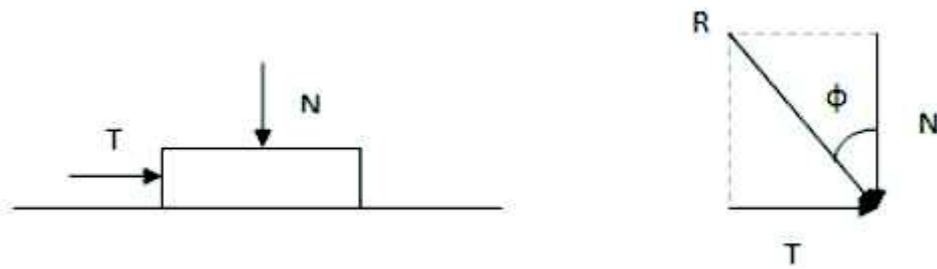


Figura 22 - Definição de ângulo de atrito
Fonte: MACHADO (2013)

Vale ressaltar que os deslizamentos podem ocorrer com a mudança de inclinação do plano de contato, alterando as componentes normal e tangencial ao plano do peso próprio, atingido na situação limite (Lambe, 1974). De modo análogo, pode-se enfatizar a influência na estabilidade de taludes de cortes realizados próximos ao pé destes, contribuindo para a alteração das componentes verticais e horizontais e consequente instabilização do maciço.

4.2 COESÃO

Segundo Pinto (2002), a resistência ao cisalhamento dos solos é essencialmente devida ao atrito entre as partículas. Entretanto, a atração química entre estas partículas pode provocar uma resistência independente da tensão normal atuante no plano e constitui uma coesão real, como se uma cola tivesse sido aplicada entre os dois corpos.

A coesão real é resultado do efeito de agentes cimentantes, como teor de óxidos e de argilas silicatadas, bem como o resultado da atração entre partículas próximas por forças eletrostáticas. (Mullins et al., 1990)

Geralmente, a influência da coesão na resistência ao cisalhamento de solos sedimentares é muito pequena quando comparada com a resistência por atrito entre os grãos. Mas existem solos naturalmente cimentados, onde a coesão real apresenta valores significativos. Nos solos residuais, o aparecimento dessa cimentação é notável e às vezes confere ao solo resistências elevadas (VARGAS, 1977).

Além da coesão real existe ainda a coesão aparente, presente em solos úmidos, não saturados, devido ao fenômeno da capilaridade. Esta coesão é denominada aparente, pois quando o solo seca ou satura, esta parcela da resistência desaparece. A coesão aparente é resultado da tensão superficial da água nos capilares do solo, formando meniscos de água entre as partículas dos solos parcialmente saturados, que tendem a aproximá-las entre si. Logo, a coesão aparente constitui uma parcela da resistência ao cisalhamento de solos parcialmente saturados.

5 DEFESA CIVIL NO BRASIL

Segundo CEPED (2014), desde a primeira Constituição do Império do Brasil, datada de 24 de março de 1824, são abordados temas referentes à proteção do indivíduo no que diz respeito aos efeitos provocados por desastres naturais, tais como efeitos da seca, calamidade pública, desastres e perigos iminentes. Contudo, até a década de 1940 o governo não houvera criado nenhum órgão voltado ao atendimento da população em situação de desastres.

Porém, a exemplo do governo britânico, o qual instituiu o *Civil Defense Service em 1940*, o Brasil, em 1942, criou o Serviço de Defesa Antiaérea, sendo no ano seguinte transformado em Serviço de Defesa Civil. Porém, em 1946 esse serviço foi desativado por ser considerado desnecessário.

Na década de 1960, com a seca do Nordeste, o governo reconheceu a necessidade de amparar a população frente a desastres causados por fatores naturais, passando a dar mais atenção aos efeitos causados por esse tipo de desastres.

Desde então o governo tomou medidas no sentido de estabelecer diretrizes a um melhor enfrentamento frente a desastres naturais. Na década de 1960, foi criado o Ministério do Interior, cuja competência era assistir às populações atingidas. Já no início da década de 1970 foi criado o Grupo Especial para Assuntos de Calamidades Públicas (GEACAP), dotado de corpo técnico capacitado ao enfrentamento de situações extremas oriundas de desastres naturais. De acordo com CEPED (2014), o GEACAP foi o embrião do que seria a Secretaria Especial de Defesa Civil (SEDEC), subordinada ao Ministério do Interior, a qual tinha finalidade de exercer em todo o território nacional, com o apoio de coordenadorias regionais de defesa civil, a coordenação das atividades relativas às medidas preventivas, assistenciais e de recuperação dos efeitos produzidos por fenômenos adversos de quaisquer origens.

No ano de 1988, com o Decreto n. 97.274, surgiu o Sistema Nacional de Defesa Civil (SINDEC), organizando de forma sistêmica a Defesa Civil no Brasil, sendo ainda reorganizado em 1993. Esse sistema foi atualizado e, em 2004, foram alterados procedimentos para o reconhecimento de situação de emergência e estado de calamidade pública.

Vale ressaltar a criação, no ano de 2005, do Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (Cenad), cuja função é gerenciar as ações preventivas e de resposta, assim como a mobilização de recursos humanos, materiais e equipamentos para evitar ou reduzir danos e prejuízos à sociedade, processando as informações de risco de desastres coletadas por meio de diversos órgãos do poder público e monitorando dia a dia os parâmetros dos eventos para o geoprocessamento de dados via satélite.

A partir de 2012, com a Lei 12.608, foi instituída a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), dispoendo sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC) e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil (CONPDEC), autorizando a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres como também do cadastro nacional de municípios com áreas suscetíveis a ocorrências de deslizamentos, inundações e processos geológicos ou hidrológicos que possam afetar a população.

Vale ressaltar que a criação da Lei Federal 12.608 se deu após os fatos ocorridos na região serrana do Rio de Janeiro no ano de 2011, no qual centenas de pessoas perderam suas vidas, o que chamou a atenção da sociedade, visto a magnitude das consequências causadas pelos deslizamentos ocorridos à época.

Segundo CEPED (2014), a proteção e defesa civil no Brasil está organizada sob a forma de sistema: o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil centralizado na União pela Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC), órgão do Ministério da Integração Nacional.

A Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil está organizada conforme Figura 23:



Figura 23 - Organograma da SEDEC
Fonte: CEPED (2014)

Na esfera municipal, para o caso de João Pessoa-PB, tem-se a criação da Lei 12.644, de 24 de setembro de 2013, a qual cria a Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil

(COMPDEC). Essa lei estabelece que a finalidade básica da COMPDEC-JP será a de planejar, articular e coordenar todas as ações de proteção e defesa civil, nos períodos de normalidade e anormalidade no município de João Pessoa.

Dentre os objetivos específicos desse órgão, encontram-se o de planejar e promover ações de prevenção de desastres, reduzir os riscos de desastres, promover a identificação e avaliação das ameaças, susceptibilidades e vulnerabilidades a desastres, de modo a evitar ou reduzir suas ocorrências, entre outros.

No artigo 4º dessa mesma lei, está explicitado que uma das competências da COMPDEC-JP será a de identificar e mapear as áreas de risco de desastres, atuando na prevenção e mitigação de desastres, impondo ao poder público se antever ao problema conhecendo a realidade do município ou região suscetível a desastres dessa ordem.

6 ESTUDO DE CASO: COMUNIDADE SANTA CLARA

A Comunidade Santa Clara está localizada na zona sul da Cidade de João Pessoa, às margens da Rodovia BR-230, km 19, entre os Conjuntos Residenciais Castelo Branco I e II e o Rio Jaguaribe. Segundo informações dos moradores mais antigos, sua fundação data da década de 1970, aproximadamente no ano de 1974. (Nascimento, 2005)

Formada numa área de depressão e difícil acesso, a comunidade não oferece uma boa infraestrutura aos que lá residem. Após anos de existência, apenas no final do ano de 2002 houve a construção de uma galeria para escoamento das águas pluviais e a pavimentação de duas ruas principais que cortam a comunidade de um canto a outro.

Segundo a COMPDEC-JP, a comunidade abrange uma área de aproximadamente sete hectares, contando com quatrocentos domicílios e, aproximadamente, um mil e setecentos habitantes, sendo que, segundo Nascimento (2005), sessenta por cento dessa população é composta por crianças e adolescentes, ao passo que quarenta por cento é composto por homens e mulheres em idade adulta.

Uma visão mais geral da comunidade pode ser analisada na Figura 24, na qual pode ser vista a Br-230 margeando o rio Jaguaribe, estando a comunidade inserida na região hachurada. Já na Figura 25 é mostrada a entrada principal da comunidade.



Figura 24- Vista aérea da comunidade Santa Clara

Fonte: <http://www.censo2010.ibge.gov.br/agsn/> <Acesso em 01/05/17>



Figura 25 - Entrada principal da comunidade

Fonte: <https://comunidadesantaclaraprototipo.wordpress.com/> <Acesso em 01-05-17>

Ainda segundo a COMPDEC-JP, na década de 70 e 80, iniciou-se a ocupação da área, nos taludes, expandindo para as margens do rio Jaguaribe, por famílias de baixa renda oriundas de outras cidades e bairros vizinhos, edificando moradias, no topo e sopé das encostas, originando a formação do aglomerado subnormal, contribuindo para a formação de um cenário de risco.

Os deslizamentos vêm ocorrendo desde 2005, ano no qual famílias afetadas foram relocadas para abrigos nas imediações. Desde então o talude vem apresentando sinais de instabilidade e processos erosivos, pela destruição do sistema de drenagem no topo da encosta, causado pela ruptura de uma galeria de águas pluviais, fato que veio a causar escorregamentos induzidos, sendo a situação ainda agravada pela exposição do solo à ação das chuvas.

Paliativamente, a Defesa Civil do município de João Pessoa vem implantando lonas plásticas na face do talude em alguns pontos, de modo a evitar uma maior saturação do solo e, assim, possíveis deslizamentos, como mostra a Figura 26.



Figura 26 - Implantação de lonas como medida paliativa
Fonte: Produção do autor (22-04-17)

O histórico de ocorrências registradas na comunidade, colhido junto à COMPDEC-JP, encontra-se na Figura 27, a qual mostra o número de casos de deslizamentos, como também alagamentos e inundações são presentes na região, sendo recorrentes nos períodos chuvosos.

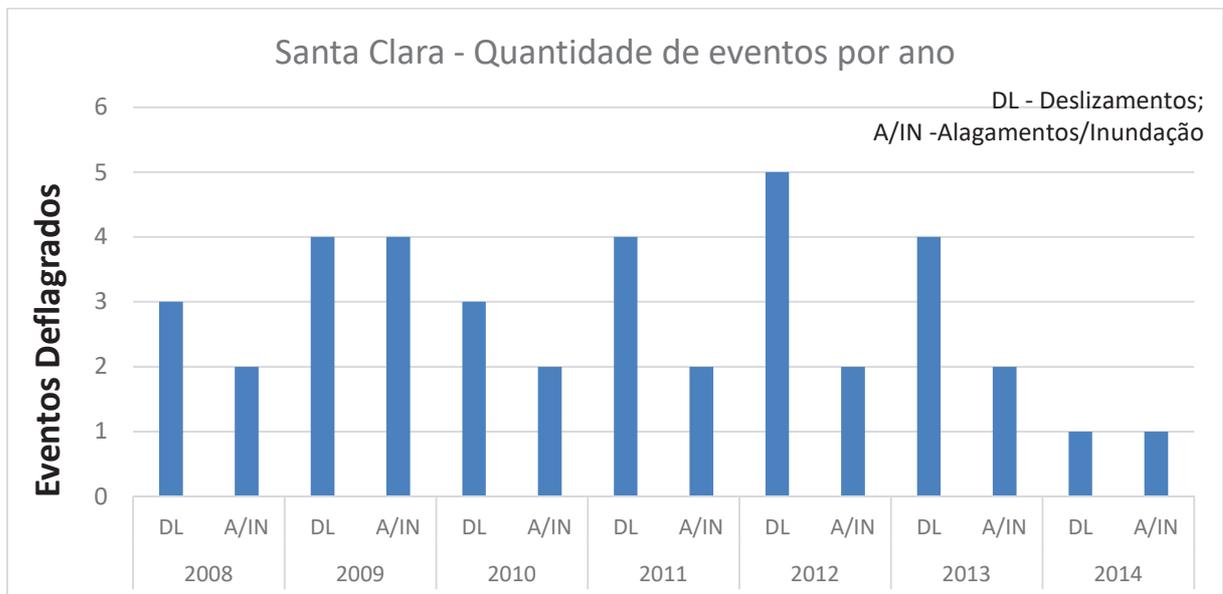


Figura 27 - Histórico de ocorrências na comunidade Santa Clara
Fonte: COMPDEC-JP

No ano de 2012, período no qual se observa uma maior incidência do número de casos de deslizamentos, ocorreu, no mês de junho, um deslizamento de terra que invadiu a Br-230,

acarretando em um acidente envolvendo duas motocicletas e um automóvel, deixando os condutores e passageiros dos veículos feridos. A Figura 28 ilustra o acidente, o qual inviabilizou totalmente o tráfego no sentido João Pessoa – Cabedelo e, parcialmente, no sentido oposto.



Figura 28 – Acidente de trânsito na Br-230 causado por deslizamento de terra
Fonte: Almeida (2016)

No dia 30 de abril de 2017, durante a realização desse trabalho, após fortes chuvas (cerca de 90 mm) um processo erosivo veio a ocorrer no pé do talude, carreando uma certa quantidade de solo, porém suficiente para interditar uma faixa da rodovia. Contudo não houve maiores problemas quanto a perdas humanas e materiais. A Figura 29 mostra o serviço de retirada do material depositado sobre a rodovia.



Figura 29 - Interdição parcial da rodovia Br-230 por carregamento de material

Fonte: <https://www.clickpb.com.br/paraiba/chuvas-causam-deslizamento-em-barreira-e-gestao-na-br-230-em-joao-pessoa-221161.html> <Acesso em 01-05-17>

6.1 MAPEAMENTO DE RISCO DE DESLIZAMENTOS NA COMUNIDADE

Para a realização do mapeamento de risco de deslizamento da comunidade Santa Clara foi adotada a metodologia de GUSMÃO FILHO *et. al* (1992), modificando-a a fim de atender às características da região, classificando o risco em 4 faixas de modo a adequar-se ao modelo de avaliação proposto pelo Ministério das Cidades.

Na Tabela 12 encontram-se os fatores considerados e os respectivos atributos utilizados para a identificação do risco na comunidade Santa Clara. Cada um desses atributos foi analisado segundo uma escala de 4 faixas de risco: baixo, médio, alto e muito alto, sendo o risco muito alto classificado a partir de uma condição iminente de deslizamento, com feições de instabilidade, tais como trincas de tração no solo, rachaduras nas residências, “embarrigamento” da face e/ou erosão no pé do talude.

TOPOGRÁFICO	GEOLÓGICO	AMBIENTAL
- Altura da encosta	- Litologia	- Vegetação
- Morfologia (Planta)	- Estrutura	- Drenagem
- Morfologia (Perfil)	- Textura	- Cortes
- Extensão da encosta	- Evidências de instabilidade	- Densidade demográfica
- Declividade		

Tabela 12 - Fatores e atributos utilizados na classificação de risco
Fonte: Adaptado de Bandeira (2003)

Para a classificação da faixa de risco na qual está inserido cada atributo listado na Tabela 12, fez-se segundo Bandeira (2003). De acordo com os dados levantados em todas os setores da área analisada, observou-se os valores extremos de cada atributo e, pela diferença obtida entre esses extremos, dividiu-se o valor por 4, de modo a se obter o incremento que estabelece o limite entre as faixas de risco consideradas. Por exemplo, se as alturas dos taludes analisados variaram entre 5 e 21 metros, tem-se que o incremento a ser considerado para esse atributo é de 4 m, visto que $(21-5) \div 4 = 4$.

Logo, os taludes analisados que possuem altura menor que 9 m terão como classificação o índice (1) – risco baixo, para esse atributo. Os que se enquadrarem na faixa de 9 m a 13 m terão por classificação o índice (2) – risco médio. Já os taludes que possuem altura situada na faixa entre 13 m e 17 m terão por classificação o índice (3) – risco alto. Para alturas entre 17 m e 21 m, o índice atribuído será (4) – risco muito alto.

Vale lembrar que o índice atribuído para altura da encosta, por exemplo, não representa a classificação de risco final, sendo a classificação de risco final do setor em estudo dado pela média aritmética dos índices obtidos para cada fator (topográfico, geológico e ambiental).

Na Tabela 13, encontram-se os valores extremos obtidos para cada atributo analisado na comunidade Santa Clara.

FATORES	ATRIBUTOS	VARIAÇÃO DOS VALORES OBTIDOS
TOPOGRÁFICO	Altura da encosta (m)	6 – 15,5
	Extensão (m)	32 – 170
	Declividade (°)	60 – 70
AMBIENTAL	Densidade Populacional (hab/ha)	132 – 168

Tabela 13 - Variação dos valores dos atributos analisados na comunidade Santa Clara
Fonte: Produção do autor

A Tabela 14 mostra a classificação final do risco de acordo com faixas que foram estabelecidas através do mapeamento de risco de deslizamento não só da comunidade Santa Clara, alvo desse trabalho, como também de áreas em risco situadas na cidade de João Pessoa, previamente mapeadas pelo autor. Expõe-se tal informação, visto que a metodologia de Gusmão Filho *et. al* (1992) adota uma análise relativa, na qual se compara situações de riscos sem cálculo probabilístico, o que requer um número adequado de setores analisados a fim de se obter resultados coerentes.

Portanto, a partir dos índices levantados de todas as áreas analisadas, incluindo-se a comunidade Santa Clara, obteve-se as faixas mostradas na Tabela 14.

FAIXA DE VALORES	GRAU DE RISCO
< 1,67	Risco Baixo
1,68 – 1,97	Risco Médio
1,98 – 2,27	Risco Alto
> 2,27	Risco Muito Alto

Tabela 14 - Faixas de classificação do risco adotadas para a comunidade Santa Clara
Fonte: Produção do autor

Os valores dos índices obtidos para cada um dos setores em risco de deslizamentos situados na comunidade Santa Clara se encontram na Tabela 15:

SETOR	FATORES DE RISCO			MÉDIA DOS ÍNDICES	GRAU DE RISCO FINAL
	TOPOGRÁFICO	GEOLÓGICO	AMBIENTAL		
1	1,80	2,00	2,75	2,18	ALTO
2	1,60	1,75	2,50	1,95	MÉDIO
3	3,00	2,25	2,50	2,58	MUITO ALTO

Tabela 15 - Grau de risco final de cada setor analisado
Fonte: Produção do autor

O mapa de risco de deslizamentos obtido para a comunidade Santa Clara utilizando a metodologia de Gusmão Filho *et al.* (1992) encontra-se na Figura 30. Foram utilizadas cores semafóricas para a codificação dos graus de risco baixo, médio e alto, enquanto que para o risco muito alto foi utilizada a cor roxa.

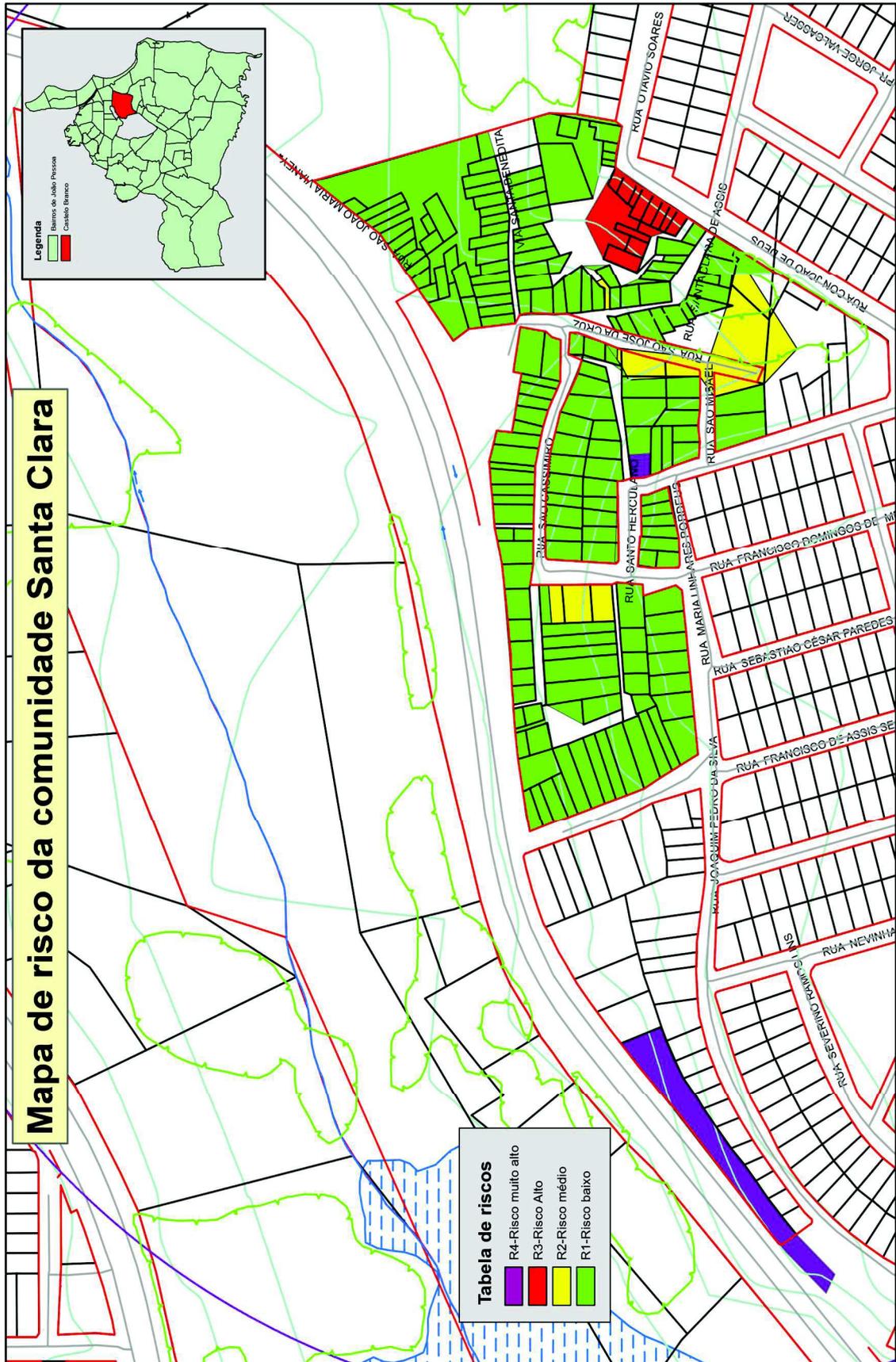


Figura 30 - Mapeamento de risco a deslizamento da comunidade Santa Clara

6.2 ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE TALUDE

Foi realizada a análise de estabilidade do talude situado às margens da BR-230, no km 19, de modo a obter como resultado final o coeficiente de segurança da seção analisada.

O software Slope/w da GeoStudio 2016, versão estudante, foi utilizado como ferramenta para essa análise, a qual foi realizada pelos métodos de Fellenius, Bishop e Morgenstern & Price.

Para a obtenção dos dados de entrada, foi necessária a coleta em campo de amostras indeformadas de solo para, em seguida, realizar o ensaio de cisalhamento direto no Laboratório de Geotecnia da Universidade Federal da Paraíba, obtendo como resultados os valores de ângulo de atrito e coesão do solo, além de seu peso específico natural. A retirada das amostras foi feita como se mostra na Figura 31.



Figura 31 - Retirada de amostra indeformada com molde em cilindro metálico
Fonte: Produção do autor

Para definição do perfil transversal do talude, foi adotada uma seção obtida por um levantamento topográfico previamente realizado que serviria de subsídio ao dimensionamento de obra de contenção a ser implantada na região do talude compreendido na comunidade. Segundo Almeida (2016), seções topográficas do talude foram obtidas a cada 5 m em toda a extensão de 170 m considerada no estudo, sendo a seção transversal da Figura 32 adotada para fins de análise de estabilidade.

O perfil foi colhido junto a Almeida (2016), sendo este o perfil que melhor se aproxima da dimensão do talude na região considerada nesse estudo e a que será adotada para análise de estabilidade nesse trabalho.

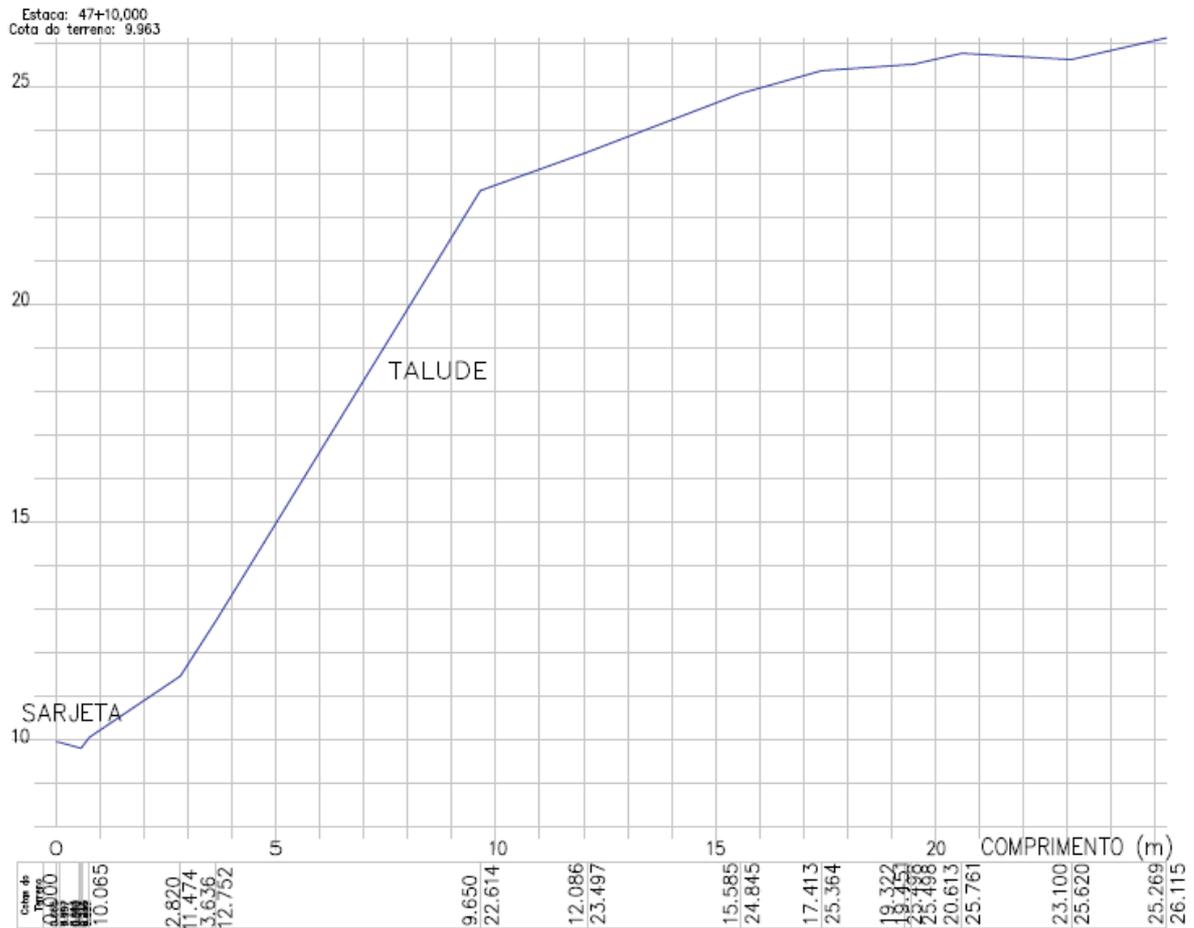


Figura 32 - Seção representativa do talude em estudo
Fonte: Almeida (2016)

Os valores de coesão e ângulo de atrito foram obtidos através de ensaio de cisalhamento direto realizado com solo da região do talude. A amostra, após o ensaio, encontra-se na Figura 33.



Figura 33 - Corpo de prova cisalhado após o ensaio de cisalhamento direto

Fonte: Produção do autor

Os dados obtidos durante o ensaio resultaram no gráfico que relaciona a tensão normal aplicada à amostra com a tensão cisalhante de ruptura correspondente. A Figura 34 apresenta os três pontos representados pelos pares de tensões obtidos, juntamente com a equação da linha de tendência, mostrando o coeficiente angular da reta e o valor de interseção com o eixo das ordenadas.

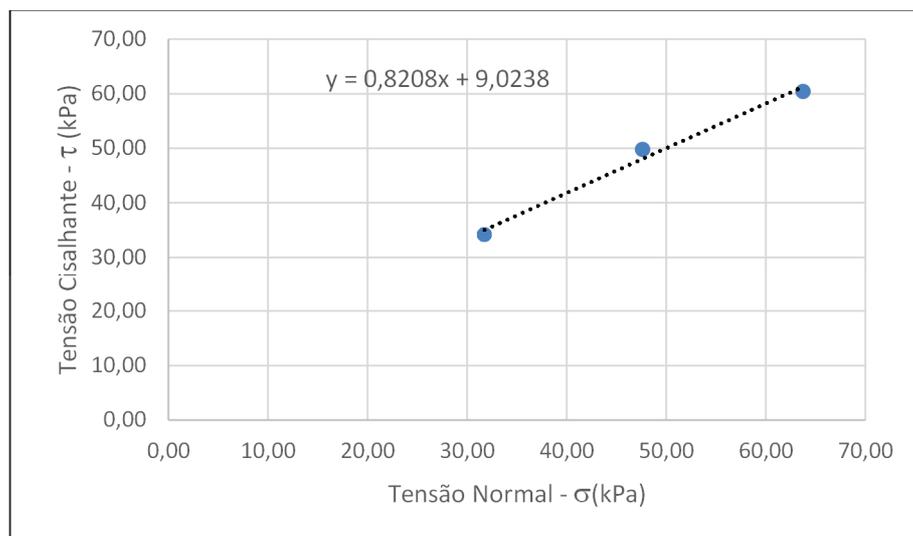


Figura 34 - Resultado do Ensaio de Cisalhamento Direto

Fonte: Produção do autor

De acordo com o resultado obtido, tem-se que a coesão do solo é de 9,02 kPa, enquanto que para o ângulo de atrito interno do solo o valor calculado foi de 39,38°. O valor do peso específico natural encontrado foi de 16 kN/m³.

Para esses valores como dados de entrada no software utilizado, os valores de coeficiente de segurança obtidos para cada método utilizado estão na Tabela 16.

Método utilizado	Fator de Segurança FS
Fellenius	1,11
Bishop	1,15
Morgenstern & Price	1,15

Tabela 16 - Fatores de Segurança obtidos para a seção analisada
Fonte: Produção do autor

Para a análise de estabilidade, considerou-se uma carga distribuída de 10 kN/m² de modo a simular a sobrecarga advinda das moradias situadas no topo do talude. As Figuras 35 a 37 abaixo mostram os resultados das análises realizadas com as respectivas superfícies de ruptura consideradas no cálculo.

A superfície de ruptura com a cor branca representa a superfície de ruptura crítica, para a qual o FS calculado é mínimo. Vale ressaltar que o ponto vermelho em destaque não representa o centro de ruptura da superfície, sendo utilizado apenas como recurso do software para expor o resultado do fator de segurança calculado.

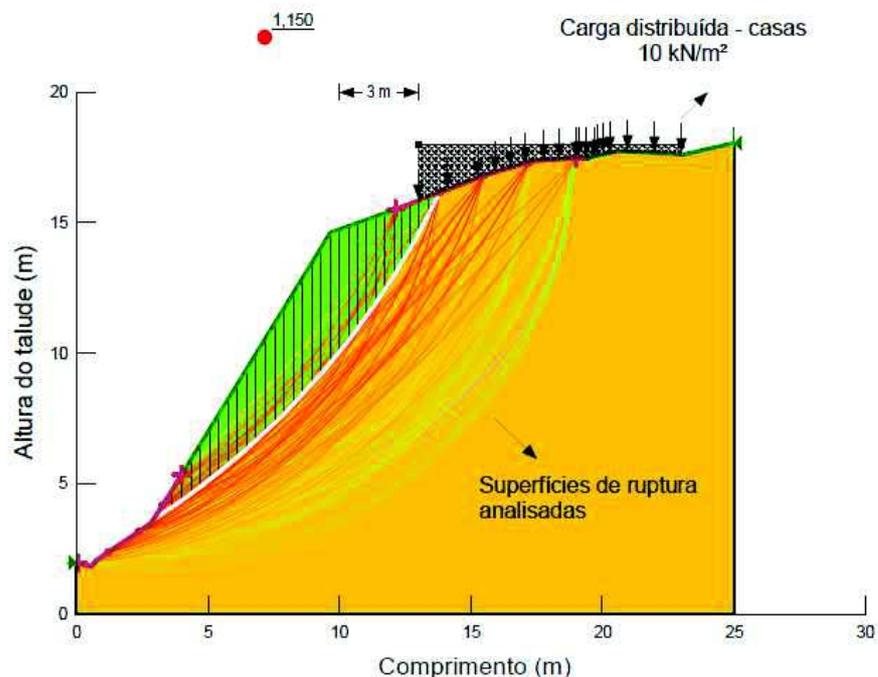


Figura 35 - Análise de estabilidade pelo método de Morgenstern & Price

Na Figura 36, é mostrado o resultado da análise realizada pelo método de Bishop. Nota-se que o valor do FS obtido não é idêntico ao obtido pelo método de Morgenstern & Price. A razão para tal fato encontra-se na adoção para a função $f(x)$ um valor constante

diferente de zero, fazendo com que a solução obtida por esses dois métodos sejam diferentes, como visto anteriormente na seção sobre o método Morgenstern & Price.

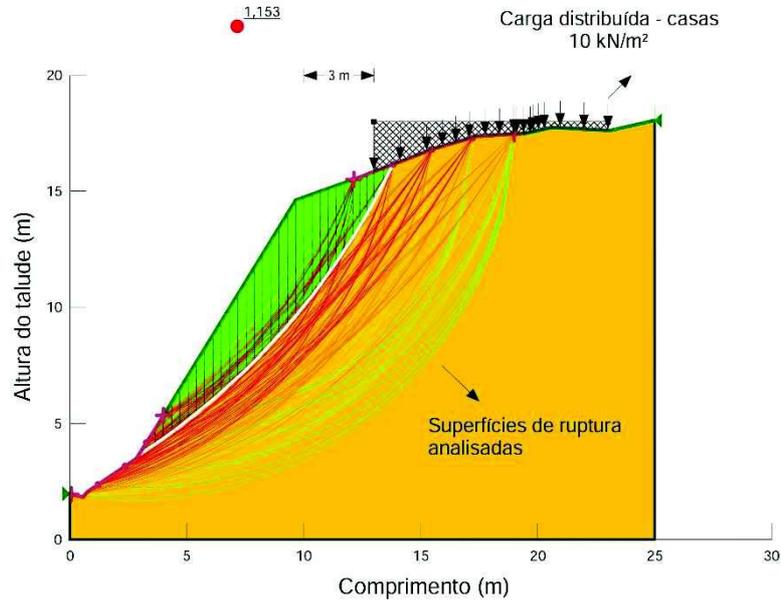


Figura 36 - Análise de estabilidade pelo método de Bishop

Na Figura 37, encontra-se o resultado da análise realizada pelo método de Fellenius, o qual apresentou o menor valor dentre os métodos analisados, com uma superfície de ruptura mais profunda em relação às superfícies analisadas nos outros dois métodos. O menor valor do coeficiente de segurança se deve às considerações de cálculo do método, o qual considera apenas equilíbrio de momentos.

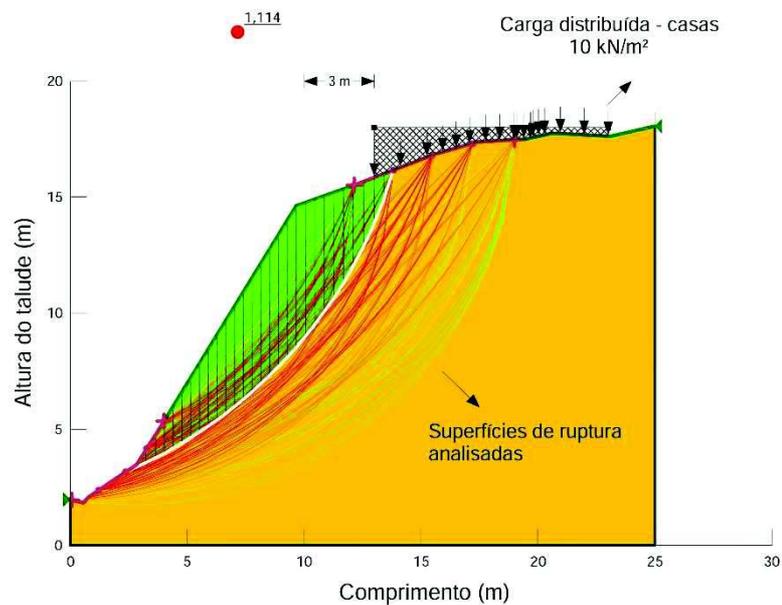


Figura 37 - Análise de estabilidade pelo método de Fellenius

Vale lembrar que, mesmo para os métodos que admitem superfície de ruptura qualquer, o software utilizado adota a simplificação de superfície de ruptura circular para todos eles, visando a facilitar a programação das rotinas de cálculo que o compõem. Contudo, o métodos considerados rigorosos não perdem sua eficácia, visto satisfazerem as três equações de equilíbrio da estática.

O nível d'água não foi considerado nas análises pois teve-se acesso ao laudo de dois ensaios SPT realizados próximos ao topo do talude em questão, na mesma época do ano na qual se retirou as amostras, não constatando nível d'água. Contudo, não foi possível a reprodução dos laudos nesse trabalho.

Caso houvesse a presença de nível d'água interceptando a superfície de ruptura crítica analisada, os coeficientes de segurança calculados seriam ainda menores, visto o acréscimo de pressões neutras no maciço, fazendo com que a resistência do solo ao cisalhamento dado pela coesão diminuísse.

7 CONCLUSÃO

De acordo com a proposta inicial do trabalho, a realização do mapeamento de risco a deslizamentos e análise de estabilidade do talude estudado forneceram dados que auxiliam numa melhor caracterização da comunidade Santa Clara quanto ao risco com o qual os moradores da região convivem diariamente.

O mapa de risco realizado mostra que aproximadamente 20% da área ocupada pelos moradores está suscetível a deslizamentos (1,4 ha), apresentando um grau de risco alto ou muito alto.

Para o setor classificado como risco muito alto (grau 4), observou-se feições de instabilidade, determinando alta probabilidade de ocorrência de acidentes que podem atingir não só os moradores que convivem nesse setor, no topo do talude, como também os milhares de veículos que trafegam na Br-230, a qual margeia o talude analisado em toda a sua extensão.

O solo do talude analisado apresenta suscetibilidade à ação das chuvas, visto que, durante a realização desse trabalho, durante intensos períodos chuvosos, houve a deflagração de processos de instabilização.

Os fatores de segurança calculados pelos métodos adotados apresentam um valor abaixo do recomendado pela NBR 11.682/2009 para o nível de segurança mínimo requerido para a estabilidade do maciço. Esses resultados mostram a necessidade de uma rápida intervenção por parte do poder público que vise à segurança da população sujeita ao risco, seja por métodos estruturais, como a realização de obras de contenção e drenagem, ou mesmo a retirada dessas famílias que, todos os anos durante os períodos chuvosos, expõem suas vidas ao risco.

Um fator de grande importância a se destacar no que diz respeito à estabilidade do talude analisado é a questão da proteção da face do talude pela vegetação nativa. Um destaque é dado no Anexo I para as várias seções do talude que estão protegidas pela vegetação e as seções que não estão cobertas pela vegetação. É possível ver a influência desse fator na contribuição da estabilidade de taludes de uma forma geral.

Ressalta-se ainda a importância da vinculação da Defesa Civil de cada município ao gabinete do prefeito, visando à adoção de medidas integradas entre todos os órgãos que compõem o poder público, com apoio das várias entidades responsáveis pela proteção e defesa civil, lembrando que na ocorrência de desastres, todos os órgãos responsáveis, seja secretaria de saúde, infraestrutura, habitação, de meio ambiente ou qualquer outro ente, tem o

dever de agir, não impondo unicamente a responsabilidade sobre um órgão que é a Defesa Civil, devendo esta ser vista como mais um componente do poder público responsável pelo bem de todos, visto que a Defesa Civil somos todos nós.

REFERÊNCIAS

- ALHEIROS, M. M. (1998), *Riscos de Escorregamentos na Região Metropolitana do Recife*. Tese de Doutorado em Geologia Sedimentar, UFBA, Salvador-BA, 129p.
- ALMEIDA, A. D. C. Avaliações Orçamentárias Para Estabilização De Talude Na Rodovia BR-230.2016. 92 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado)- Engenharia Civil, João Pessoa, 2016.
- ARAÚJO, P. C. de. (2004). Análise da suscetibilidade a escorregamentos: uma abordagem probabilística. Tese de Doutorado. Área de concentração em Geociências e Meio Ambiente da Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 187 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 11682 (2009): “Estabilidade de taludes”, Rio de Janeiro, Brasil, 2009^a
- AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 1, 1992, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: ABMS/ABGE, 1992. p.721-733.
- 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.
- BEZERRA, L. T. V. Mapeamento De Risco/Perigo De Movimentos De Massa E Avaliação Da Estabilidade Das Encostas Na Comunidade São José Do Jacó, Em Natal/RN. 2016. 104 p. Monografia (Engenharia Civil)
Disponível em: <<https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/9559/6873>>. Acesso em: 10 mar. 2017.
- BRAJA, M. DAS Fundamentos de Engenharia Geotécnica. São Paulo: Ed. Thompson Pioneira, 6. ed., 2007.

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.

CAPUTO, H. P. Mecânica dos solos e suas aplicações. Fundamentos. 6º edição, Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos. Volume 1, 1988a.

CEPED UFSC – Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres da Universidade Federal de Santa Catarina. Capacitação Básica em Defesa Civil. 5. ed. Florianópolis: CAD UFSC, 2014.

COUTINHO, R. Q; SILVA, M. M. -Apostila de Estabilidade de Taludes. Desenvolvimento de material didático ou instrucional. Recife -Depto de Eng. Civil -UFPE, 2006.

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.

FILHO, R. J. A. T.; CORRÊA, V. A. COMPARAÇÃO ENTRE ANÁLISES DETERMINÍSTICAS E PROBABILÍSTICAS DE ESTABILIDADE DE TALUDES EM BARRAGENS: estudo de caso. 2015. 83 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil)- Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015. Disponível em:<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3936/1/CT_EC_2014_2_02.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2017.

FREITAS, M. A. C. Análise De Estabilidade De Taludes Pelos Métodos De Morgenstern-Price E Correia. 2011. 146 p. Dissertação (Engenharia Civil) - Universidade do Porto, Portugal, 2011. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/61387/1/000148648.pdf>>. Acesso em: 01 mar. 2017.

GERSCOVICH, D. M. S. (2009).

Estabilidade de taludes. <http://www.eng.uerj.br/~denise/pdf/estabilidade.pdf>.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação. ed. Edgard Blücher: São Paulo, 1984.

HENRIQUE, H. M. Mapa De Risco A Deslizamento E Erosão Do Bairro De Rurópolis, Município Do Ipojuca-PE.2014. 160 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-UFPE, Recife, 2014.

Disponível em:<<http://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/14235>>. Acesso em: 20 mar. 2017.

HIGHLAND, L.M.;BOBROWSKY, P. The landslide handbook – A guide to understanding landslides, Reston, Virginia, United States Geological Survey Circular 1325, 129p, 2008.

Instituto Brasileiro de Geografia Estatística – IBGE. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 23 de setembro de 2016.

IPT (1994), Carta Geotécnica do Estado de São Paulo. 2V (IPT – Publicação 2089).

JOÃO PESSOA. Comunidade Santa Clara. (Blog) Disponível em: <<https://comunidadesantaclaraprototipo.wordpress.com/>> Acesso em: 01/05/17.

JOÃO PESSOA. Lei n. 12.644, de 24 de set. de 2013. CRIA A Coordenadoria Municipal De Proteção E Defesa Civil De João Pessoa (Compdec), e dá Outras Providências.. Paraíba, 17p., Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/pb/j/joao-pessoa/lei-ordinaria/2013/1265/12644/lei-ordinaria-n-12644-2013-cria-a-coordenadoria-municipal-de-protecao-e-defesa-civil-de-joao-pessoa-compdec-e-da-outras-providencias>>. Acesso em: 09 abr. 2017.

JTC-1 – Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes. Engineering Geology, Vol. 102, p. 83-111.

KOBIYAMA, Masato; NUNES, Lucí Hidalgo; MARCELINO, Emerson Vieira. Banco de dados de desastres naturais: análise de dados globais e regionais1. Caminhos da geografia, Uberlândia, v. 6, n. 19, p. 21, out. 2006.

LAMBE, T. William & WHITMAN, Robert V. Mecânica de solos. México: Editorial Limusa S.A., 1974.

MACEDO, E. S.; MARTINS, P. P. D. Análise dos dados do Banco de Mortes por Ano. In: 15º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2015, Bento Gonçalves, RS. Análise do Banco de Dados de Mortes por Deslizamentos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas(IPT)2015. p.1-7.

Disponível em:<<http://cbge2015.hospedagemdesites.ws/trabalhos/trabalhos/294.pdf>>. Acesso em: 21 abr. 2017.

MACHADO, Karina Menezes. Retroanálise De Um Deslizamento De Encosta Em Solo Residual No Município De Nova Friburgo - RJ. 2013. 65 p. Projeto de Graduação (Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10006248.pdf>>.

Acesso em: 29 abr. 2017.

MACHADO, Sandro Lemos, MACHADO, Miriam de Fátima. Mecânica dos solos II: conceitos introdutórios. Salvador, 1997.

MANTOVANI, B. Mapeamento de risco a movimentos de massa e inundação em áreas urbanas do município de Camaragibe.2016. 288 p. Dissertação (Mestrado)- Engenharia Civil, Recife, 2016. Disponível em: <<http://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/17957>>.

Acesso em: 08 abr. 2017.

MASSAD, F. Obras de Terra. Editora Oficina de Textos. São Paulo, 2003.

MINISTÉRIO DAS CIDADES, Centro Universitário de Estudos e Pesquisas Sobre Desastres (CEPED/UFSC); Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). Capacitação em Mapeamento e Gerenciamento de Risco. Brasil: [s.n.], 2004. 122 p. Disponível em: <<http://www.ceped.ufsc.br/curso-capacitacao-em-mapeamento-e-gerenciamento-de-risco/>>. Acesso em: 16-02-2017.

MULLINS, C.E.; MacLEOD, D.A.; NORTHCOTE, K.H.; TISDALL, J.M. & YOUNG, I.M. Hardsetting soils: Behavior, occurrence and management. Adv. Soil Sci., 11:37-108, 1990.]

NASCIMENTO, Deise Santos Do; ALBUQUERQUE, Maria Elizabeth B.c.de. A informação na comunidade de santa clara: o que mudou?1. Biblionline, Paraíba, v. 1, n. 1, p. 1-15, jan./jun. 2005.

Disponível em: <<http://periodicos.ufpb.br/ojs/index.php/biblio/article/view/557/401>>. Acesso em: 03 mai. 2017.

PINTO, C. S. Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas. 2a ed. São Paulo. Oficina de Textos, 2002.

SANTA CATARINA. (2012). Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2012, volume Brasil. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres, 2ª edição. Florianópolis, 126 p.

SAUSEN, Tania Maria; LACRUZ, María Silvia Pardi (Org.). Sensoriamento Remoto para desastres. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 285 p. Disponível em: <http://ofitexto.arquivos.s3.amazonaws.com/Sensoriamento-Remoto-para-desastres_deg.pdf>. Acesso em: 22-04-2017.

SILVA, D. J. Mapa De Risco De Deslizamento E Erosão Em Encostas Com Ocupações Desordenadas No Município De Abreu E Lima - PE. 2016. 200 p. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Civil, Recife, 2016.

Disponível em: <<http://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/17287>>. Acesso em: 12 abr. 2017.

SILVA, J. P. M. Os Métodos De Equilíbrio Limite E Dos Elementos Finitos Na Análise De Estabilidade De Taludes. 2011. 149 p. Dissertação (Engenharia Civil) - Universidade do Porto, Portugal, 2011. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/62106/1/000149997.pdf>> Acesso em: 23 mar. 2017.

SOARES, Fábio Lopes; FILHO, Geraldo Moura Ramos. Correlação entre Movimentos de Massa e Pluviosidade nas Encostas de João Pessoa/PB – Brasil. *Revista Geotecnia*, Rio de Janeiro, p.59, março 2015.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. Desastres naturais: conhecer para prevenir. 1 ed. Instituto Geológico. São Paulo, 2009.

VARGAS, M., 1977, *Introdução a Mecânica dos Solos*

YOUNG, A. F.; CARMO, R. L. Transformações na paisagem, mudanças no uso do solo e planejamento: o sensoriamento remoto como instrumento de análise no caso de Curitiba. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. São José dos Campos: INPE, 2007. p. 5551- 5559. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.18.44>>. Acesso em: 12-04-2017

WIGGERS, M. M. Zoneamento das áreas de risco a movimentos de massa no perímetro urbano do município de Caxias do Sul (RS). 2013. 131p. Porto Alegre: Instituto De Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/75687>>. Acesso em: 2016-05-10.

Anexo 1 – Fotos retiradas em sequência do talude analisado mostrando a influência da vegetação na estabilidade do maciço.

