



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

**LARISSA FERREIRA DA SILVA**

**ANÁLISE DE CURVA DE CORRELAÇÃO ENTRE PLUVIOSIDADE E  
MOVIMENTOS DE MASSA NAS ENCOSTAS DE JOÃO PESSOA (PB)**

**JOÃO PESSOA**

**2018**

**LARISSA FERREIRA DA SILVA**

**ANÁLISE DE CURVA DE CORRELAÇÃO ENTRE PLUVIOSIDADE E  
MOVIMENTOS DE MASSA NAS ENCOSTAS 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 requisito para obtenção do título  
de Bacharel em Engenharia Civil, orientado  
pelo Professor Dr. Fábio Lopes Soares.

**JOÃO PESSOA**

**2018**

S586a Silva, Larissa Ferreira da

Análise de curva de correlação entre pluviosidade e movimentos de massa nas encostas de João Pessoa (PB). / Larissa Ferreira da Silva. – João Pessoa, 2018.

71f. il.:

Orientador: Prof. Dr. Fábio Lopes Soares.

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

1. Correlação 2. Movimentos de massa 3. Precipitação I. Título.

BS/CT/UFPB

CDU: 2.ed. 624(043.2)

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**LARISSA FERREIRA DA SILVA**

**ANÁLISE DE CURVA DE CORRELAÇÃO ENTRE PLUVIOSIDADE E  
MOVIMENTOS DE MASSA NAS ENCOSTAS DE JOÃO PESSOA (PB)**

Trabalho de Conclusão de Curso em 14/06/2018 perante a seguinte Comissão Julgadora:

Fábio Lopes Soares APROVADA  
Prof. Dr. Fábio Lopes Soares  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Aline Remígio APROVADO  
Profa. Dra. Aline Flávia Nunes Remígio Antunes  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Clóvis Dias APROVADO  
Prof. Dr. Clóvis Dias  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Ana Cláudia  
Prof.<sup>a</sup> Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga  
Matrícula Siape: 1668619  
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente à Deus, autor da minha vida, por ter me permitido chegar até aqui e alcançar mais uma conquista. Sem Ele eu nada seria.

À minha mãe, Vanilza, pelo seu amor e zelo para comigo e por sempre acreditar e investir nos meus sonhos. Ao meu padrasto, Alexandre, por não medir esforços para me ajudar em todas as vezes que precisei.

Aos meus avós paternos, Maria Ferreira e José Pereira (em memória), pela criação, dedicação e valores ensinados. À minha madrinha Luiza, pelo apoio constante.

Aos meus avós maternos, afilhados, primos e tios, pela confiança depositada em mim e por entenderem meus inúmeros momentos de ausência.

Ao meu namorado, Herbethon, por todo carinho, companheirismo, incentivo e paciência ao longo dessa jornada.

Aos amigos da graduação, em especial à Amanda, Ana Carolina, Bárbara, Hennan, Graziela, Jéssica Paloma, Maria Dayana, Monique, Nayane e Rhoana, por compartilharem comigo tantos momentos difíceis e também por terem tornado mais leve essa caminhada.

Aos amigos do colégio e da vida, Gabriel, Hassler, Luana, Maria Eduarda, Maura, Mayalison, Thayná e todos os outros que não cabe aqui citar, mas que sempre torceram e vibraram pelas minhas conquistas mesmo eu estando distante durante a correria da fase acadêmica.

Ao professor Fábio Lopes Soares, pelos conhecimentos fornecidos e por toda atenção e dedicação na orientação deste trabalho, bem como em outras atividades extracurriculares desenvolvidas anteriormente.

Aos professores Aline Flávia Nunes Remígio Antunes e Clóvis Dias, pelas valiosas contribuições ao longo do curso, como profissionais e seres humanos, e por terem aceitado fazer parte da banca examinadora deste trabalho.

Ao professor Cristiano das Neves Almeida, pelas dicas em relação à pluviosidade, que foram de grande auxílio para elaboração desta monografia.

Aos demais docentes do Curso de Graduação em Engenharia Civil da UFPB, pelos ensinamentos que foram repassados. Em particular à Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga e Andrea Brasiliano Silva, por serem coordenadoras e profissionais exemplares e se preocuparem com os alunos não apenas nos assuntos educacionais.

À equipe da Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil (COMPDEC-JP), na pessoa do Engenheiro Alberto Alves Sabino, diretor de minimização de desastres, pela solicitude e por todas as informações disponibilizadas.

À Geraldo Moura Ramos Filho (Doutorando, UFPB), por disponibilizar os trabalhos que deram início a essa pesquisa e à Emerson da Silva Freitas (Mestrando, UFPB) pela colaboração com dados necessários ao desenvolvimento deste estudo.

Aos colegas de trabalho do Departamento de Letras Clássicas e Vernáculas da UFPB, Alexandre, Magdiel e Margarete, por todo o apoio, compreensão e motivação.

Por fim, agradeço a todos aqueles que tiveram participação direta ou indireta nessa árdua trajetória. Gratidão é a palavra que define este momento!

## RESUMO

Os movimentos gravitacionais de massa são fenômenos que ocorrem em diversas cidades do Brasil e do mundo, provocando vários prejuízos e vítimas. Em João Pessoa (PB), o número de acidentes que ocorrem na área urbana é preocupante, o que se deve às características geológicas e geomorfológicas da região, ao processo de ocupação desordenado do solo e principalmente à ação da precipitação, uma vez que a maioria desses eventos ocorre na estação chuvosa. Tendo em vista que a chuva é um dos principais agentes deflagradores dos escorregamentos, este trabalho objetivou realizar uma extensão dos estudos realizados por SOARES & RAMOS FILHO (2014), a fim de verificar a credibilidade da curva de dispersão por eles desenvolvida para representar a relação entre pluviosidade e movimentos de massa na cidade de João Pessoa. O intervalo de tempo analisado na corrente pesquisa foi de janeiro de 2014 à abril de 2018, com 31 ocorrências relacionadas à chuva, distribuídas em 18 datas distintas. Como resultado, foi possível observar que para um limiar de até 100 mm de chuva acumulada de 7 dias, os novos casos inseridos se apresentaram bastante dispersos e abaixo da curva. Acima dos 100 mm de precipitação acumulada, verificou-se uma maior proximidade dos pontos em relação à linha de tendência, registrando-se eventos que obedeceram à correlação estabelecida pelos autores, o que demonstra que essa curva poderia ter sido utilizada nos procedimentos preventivos da Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil de João Pessoa (COMPDEC-JP). Ao final do estudo, estabeleceu-se uma nova relação numérica entre precipitação acumulada (PA) de sete dias e a precipitação diária (PD), englobando todos os dados cadastrados a partir de 2008:  $PD = 0,0021x(PA)^2 - 0,9231x(PA) + 133,79$ .

**Palavras-chave:** correlação, movimentos de massa, precipitação.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Perfil de encosta com taludes de corte e aterro.....	16
<b>Figura 2.</b> Mortes por deslizamentos no Brasil entre os anos de 1988 e 2017.....	17
<b>Figura 3.</b> Movimento de rastejo (creep).....	19
<b>Figura 4.</b> Movimento de escorregamento rotacional ou circular.....	20
<b>Figura 5.</b> Movimento de escorregamento translacional ou planar.....	21
<b>Figura 6.</b> Movimento de escorregamento em cunha.....	21
<b>Figura 7.</b> Movimentos de massa: (A) Quedas; (B) Tombamentos; (C) Rolamentos.....	22
<b>Figura 8.</b> Esquema de uma corrida.....	23
<b>Figura 9.</b> Gráfico de Correlação da Precipitação Acumulada de 15 dias x Precipitação do dia para Hong Kong.....	28
<b>Figura 10.</b> Gráfico do potencial de ocorrência de escorregamentos.....	29
<b>Figura 11.</b> Correlação entre o Pico da Precipitação Horária x Precipitação Diária para Hong Kong.....	30
<b>Figura 12.</b> Gráfico da Envoltória de Escorregamentos Induzidos na Serra do Mar.....	32
<b>Figura 13.</b> Curva de correlação entre precipitação diária e acumulada para 7 dias.....	35
<b>Figura 14.</b> Localização da cidade de João Pessoa – Paraíba.....	37
<b>Figura 15.</b> Deslizamentos em João Pessoa – PB (2008 – 2018).....	40
<b>Figura 16.</b> Pluviosidade Média Mensal em João Pessoa, no período de 2014 a 2017, segundo dados da estação 82798 do INMET.....	41
<b>Figura 17.</b> Mapa Pedológico da área de estudo e adjacências.....	42
<b>Figura 18.</b> Ocorrências de deslizamentos por bairro, em João Pessoa, no período de 2014 a 2018.....	44
<b>Figura 19.</b> Ocorrências de deslizamentos por mês no período de janeiro de 2014 à abril de 2018, na cidade de João Pessoa.....	45

<b>Figura 20.</b> Curva de correlação para acumulada de 7 dias desenvolvida por SOARES & RAMOS FILHO (2014) acrescida dos novos casos de ocorrência e não ocorrência de deslizamentos.....	49
<b>Figura 21.</b> Comportamento da precipitação acumulada de 7 dias e da precipitação diária sete dias antes da ocorrência de 24/03/2015, em Cruz das Armas.....	51
<b>Figura 22.</b> Comportamento da precipitação acumulada de 7 dias e da precipitação diária seis dias antes da ocorrência de 24/03/2015, em Cruz das Armas.....	51
<b>Figura 23.</b> Comportamento da precipitação acumulada de 7 dias e da precipitação diária cinco dias antes da ocorrência de 24/03/2015, em Cruz das Armas.....	52
<b>Figura 24.</b> Comportamento da precipitação acumulada de 7 dias e da precipitação diária quatro dias antes da ocorrência de 24/03/2015, em Cruz das Armas.....	52
<b>Figura 25.</b> Comportamento da precipitação acumulada de 7 dias e da precipitação diária três dias antes da ocorrência de 24/03/2015, em Cruz das Armas.....	53
<b>Figura 26.</b> Comportamento da precipitação acumulada de 7 dias e da precipitação diária dois dias antes da ocorrência de 24/03/2015, em Cruz das Armas.....	53
<b>Figura 27.</b> Comportamento da precipitação acumulada de 7 dias e da precipitação diária um dia antes da ocorrência de 24/03/2015, em Cruz das Armas.....	54
<b>Figura 28.</b> Comportamento da precipitação acumulada de 7 dias e da precipitação diária no dia da ocorrência (24/03/2015), em Cruz das Armas.....	54
<b>Figura 29.</b> Trajetória evolutiva da precipitação dos sete últimos dias antes do escorregamento até o dia da ocorrência (24/03/2015), em Cruz das Armas.....	55
<b>Figura 30.</b> Nova curva de correlação para acumulada de 7 dias, englobando dados de janeiro de 2008 à abril de 2018.....	57
<b>Figura 31.</b> Curvas de Correlação para acumulada de 7 dias.....	58

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Classificação dos Movimentos Gravitacionais de Massa.....	18
<b>Tabela 2.</b> Fatores deflagradores dos movimentos de massa.....	24
<b>Tabela 3.</b> Probabilidade de escorregamento por zonas de precipitação.....	30
<b>Tabela 4.</b> Etapas da metodologia proposta por IDE (2005).....	34
<b>Tabela 5.</b> Comunidades em Área de Risco na cidade de João Pessoa.....	38
<b>Tabela 6.</b> Comunidades erradicadas na cidade de João Pessoa entre os anos de 2010 e 2015....	39
<b>Tabela 7.</b> Data e localização dos movimentos de massa possivelmente ocasionados pela chuva em João Pessoa.....	46
<b>Tabela 8.</b> Pluviômetros acessados da Grande João Pessoa: localização e órgão responsável....	47
<b>Tabela 9.</b> Precipitação Diária e Acumulada de 7 dias para as datas com ocorrência.....	48
<b>Tabela 10.</b> Precipitação Acumulada de 7 dias e quantidade de chuva diária requerida para o acontecimento de deslizamentos no dia 24/03/2015 e nos sete dias anteriores, em Cruz das Armas.....	56

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	13
1.1 OBJETIVOS .....	13
1.1.1 Objetivos Gerais.....	13
1.1.2 Objetivos Específicos .....	14
1.2 JUSTIFICATIVA.....	14
1.3 METODOLOGIA .....	15
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	16
2.1 TALUDES .....	16
2.2 MOVIMENTOS DE MASSA COMO UM RISCO GEOLÓGICO .....	16
2.2.1 Tipos de Movimentos.....	18
2.2.2 Mecanismos condicionantes e causas .....	23
2.3 PLUVIOSIDADE .....	25
2.3.1 Termos Relacionados .....	25
2.3.2 Precipitação como agente deflagrador .....	26
2.4 CORRELAÇÃO ENTRE PLUVIOSIDADE E MOVIMENTOS DE MASSA: HISTÓRICO DE PESQUISAS .....	27
<b>3 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA</b> .....	36
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	36
3.1.1 Aspectos Gerais .....	36
3.1.2 Clima .....	40
3.1.3 Solo.....	41
3.1.4 Geologia e Geomorfologia .....	43
3.2 COLETA DE DADOS .....	43
3.2.1 Movimentos de massa .....	43
3.2.2 Pluviosidade.....	47
3.3 ESPACIALIZAÇÃO DOS MOVIMENTOS DE MASSA E DOS PLUVIÔMETROS ...	48
3.4 ANÁLISE DE DADOS.....	49
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	60

<b>5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	62
<b>ANEXO 1</b> .....	66
<b>APÊNDICE A</b> .....	72

# **1 INTRODUÇÃO**

Os movimentos de massa são fenômenos que fazem parte da dinâmica natural da paisagem, sendo um dos principais processos geomorfológicos responsáveis pela transformação do relevo. Trata-se de deslocamentos gravitacionais de solos ou rochas, dotados de grande poder destruidor, que podem ser potencializados pela ação antrópica, ocasionando diversas perdas humanas e patrimoniais.

Inúmeros são os fatores que atuam no desencadeamento desse tipo de evento, os quais relacionam áreas da engenharia civil, geologia, meteorologia e sociologia. Raramente há um único e definitivo fator condicionante. Entretanto, um dos agentes mais importantes na deflagração efetiva dos deslizamentos é de natureza meteorológica: a precipitação.

No Brasil, os verões marcados por chuvas intensas em regiões de grandes maciços, faz com que o país seja considerado muito suscetível aos movimentos de massa, sendo os escorregamentos os processos geodinâmicos superficiais que mais acometem cidades brasileiras, manifestando-se quase sempre nos períodos chuvosos e resultando em maior número de acidentes com mortes.

A maioria dos deslizamentos registrados está associada a episódios de elevada pluviosidade, de duração compreendida entre algumas horas até alguns dias (GUIDICINI & NIEBLE, 1984). Diversos são os estudos nacionais e internacionais correlacionando pluviosidade e movimentos de massa em encostas, a fim de entender a influência da chuva na ocorrência desses desastres.

Devido à perspectiva de que processos de alteração climática global possam conduzir à maior frequência de cenários meteorológicos extremos, aumentando a incidência de escorregamentos nos próximos anos, torna-se ainda mais necessário o aprofundamento de análises que relacionem os riscos geológicos aos valores críticos de precipitação, levando ao aprimoramento dos sistemas de monitoramento e alerta atualmente utilizados.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivos Gerais**

Este trabalho tem por objetivo investigar e analisar a influência da precipitação como agente predisponente e deflagrador dos movimentos de massa na cidade de João Pessoa, buscando relacionar a ocorrência dos escorregamentos às chuvas diárias e acumuladas. Ao final desse estudo, pretende-se verificar se a relação numérica entre precipitação e

escorregamentos estabelecida por SOARES & RAMOS FILHO (2014) ainda é a melhor indicação de valor-limite de chuva acumulada para o qual começam a se deflagrar os movimentos de massa na capital paraibana.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

O objetivo específico da corrente pesquisa é desenvolver as seguintes etapas que servirão de base para a obtenção do produto final do estudo:

- Atualização do banco de dados dos deslizamentos provocados pela ação da chuva na cidade de João Pessoa;
- Aquisição e tratamento dos dados pluviométricos existentes relacionados às datas de ocorrência de desastres;
- Delimitação das áreas urbanas segundo a localização das ocorrências e estações pluviométricas;
- Análise da aceitabilidade atual do diagrama de dispersão estruturado por SOARES & RAMOS FILHO (2014), relacionando chuva e escorregamentos.

## **1.2 JUSTIFICATIVA**

O Município de João Pessoa, capital do Estado da Paraíba, desde o fim da década de 1960, vêm apresentando um acelerado e desordenado crescimento urbano, sem planejamento adequado em infraestrutura e saneamento, forçando a ocupação de novas áreas nem sempre adequadas para a população desfrutar das condições básicas de vida.

Segundo dados da Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil de João Pessoa (COMPDEC-JP), atualmente 27 núcleos urbanos estão situados em zonas de risco associadas à escorregamento de encostas.

A cada ano que se passa, é possível observar na mídia a ocorrência de movimentos de massa em João Pessoa, principalmente nos períodos chuvosos, sendo os fenômenos meteorológicos grandes indutores dos deslizamentos.

Dado o conhecimento de valores críticos de precipitação que aumentam o risco de acidentes na região, o acompanhamento dos índices pluviométricos em conjunto com a previsão meteorológica indicam quando deve ocorrer o escorregamento (IDE, 2005).

Nesse contexto, ao correlacionarem precipitação e movimentos de massa, SOARES & RAMOS FILHO (2014) encontraram resultados significativos para a previsão e monitoramento

da ocorrência desse tipo de desastre em João Pessoa. Porém, os autores recomendaram realizar atualizações constantes, inserindo novos casos de deslizamentos e ampliando a amostra de dados da estação chuvosa, a fim de obter uma curva mais confiável.

### **1.3 METODOLOGIA**

A fim de alcançar as metas propostas para este trabalho, realizou-se como etapa inicial um estudo teórico, apresentando conceitos importantes para uma melhor compreensão dos diferentes tipos de movimentos de massa, suas causas e a relação com a pluviosidade. Além disso, foram levantadas informações gerais sobre a região a ser analisada, abordando aspectos relacionados à climatologia, solo, geologia, geomorfologia e áreas de risco de deslizamento.

A etapa seguinte consistiu na coleta de dados sobre os movimentos de massa e pluviometria, atualizando o cadastro iniciado por SOARES & RAMOS FILHO (2014). Para o levantamento dos dados de movimentos de massa, foram realizadas consultas à Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil de João Pessoa (COMPDEC-JP), separando as ocorrências em um determinado período de tempo e selecionando apenas os eventos ocasionados pela chuva. Os dados de pluviosidade, por sua vez, foram coletados junto à Agência Executiva de Gestão das Águas da Paraíba (AESPA), ao Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) e ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), de modo a coincidir com as datas e locais dos escorregamentos, uma vez que trata-se de dados interdependentes.

Após o tratamento dos dados levantados, os movimentos cadastrados foram inseridos na curva de dispersão elaborada por SOARES & RAMOS FILHO (2014), com a finalidade de verificar a qualidade de aplicação da equação de correlação entre precipitação e movimentos de massa por eles estabelecida, ampliando-se o tamanho da amostra inicial. Assim, buscou-se examinar se o resultado empírico obtido pelos autores supracitados, os quais utilizaram dados de escorregamentos do período de 2008 a 2013, continua sendo representativo para eventos de deslizamentos ocorridos a partir do ano de 2014 no Município de João Pessoa.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 TALUDES

Talude é toda superfície inclinada que limita um maciço de terra, de rocha ou de terra e rocha, podendo ser natural ou artificial. Os taludes naturais ou encostas são maciços terrosos, rochosos ou mistos de solos e rochas, originados por agentes naturais, mesmo que tenham sofrido alguma alteração humana. Já os taludes artificiais, são declives resultantes de aterros ou cortes, devido ao aporte de materiais ou de processo de escavação executado pelo homem, respectivamente, como mostra a Figura 1.

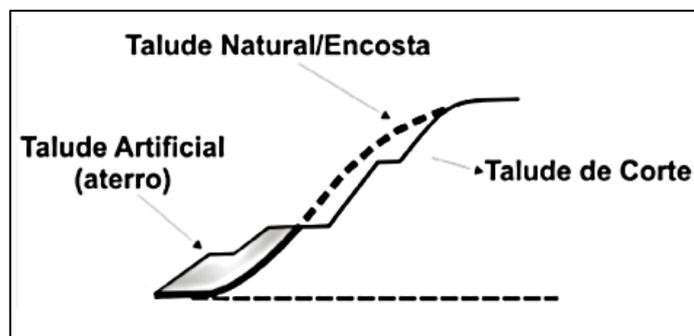


Figura 1. Perfil de encosta com taludes de corte e aterro. Fonte: BRASIL, 2007.

### 2.2 MOVIMENTOS DE MASSA COMO UM RISCO GEOLÓGICO

De acordo com AUGUSTO FILHO (2001), risco é uma medida da probabilidade da severidade de um efeito adverso para a saúde, propriedade ou ambiente, sendo geralmente estimado pelo produto entre probabilidade e as consequências. Assim, o risco geológico é a probabilidade de ocorrência de um evento perigoso numa determinada área e em um dado momento, associado a fenômenos geológicos e seus efeitos (danos humanos e/ou materiais).

Os movimentos de massa são os processos geológicos responsáveis por uma grande quantidade de problemas, que dependendo do risco e da vulnerabilidade envolvidos, resultam em perdas materiais significativas e algumas vezes, em vítimas fatais. Segundo IDE (2005), estes processos estão associados a causas econômico-sociais que tendem a se agravar nas próximas décadas, tendo em vista que o aumento da população e a desigualdade de distribuição de renda contribuem para o adensamento urbano, maior demanda do meio físico e, conseqüentemente, para o aumento de situações de risco geológico.

Genericamente conhecidos como deslizamentos ou escorregamentos, os movimentos de massa são uma evolução natural da geometria das encostas, gerados pela ação da gravidade através da ruptura ou desestabilização do talude, deslocando solos, rochas ou detritos, e tendo como principal agente deflagrador a infiltração de água, preponderantemente das chuvas. Podem ser induzidos pelas atividades do homem que modificam drasticamente os elementos da paisagem, substituindo a vegetação por moradias precárias, retirando morros, construindo estradas em relevos acidentados e até mesmo aterrando lugares de depressão.

CERRI (1993), após análise de artigos técnicos e notícias da imprensa, concluiu que os escorregamentos são os processos geológicos que mais causam acidentes com mortes no Brasil. Levantamentos realizados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), apontam que o número de mortes por deslizamentos no país, de 1988 até o ano de 2017, foi de 3458 vítimas, conforme apresenta a Figura 2. Verifica-se que o ano de 2011 contabiliza o maior número de perdas por conta dos desastres naturais na região serrana do Rio de Janeiro.

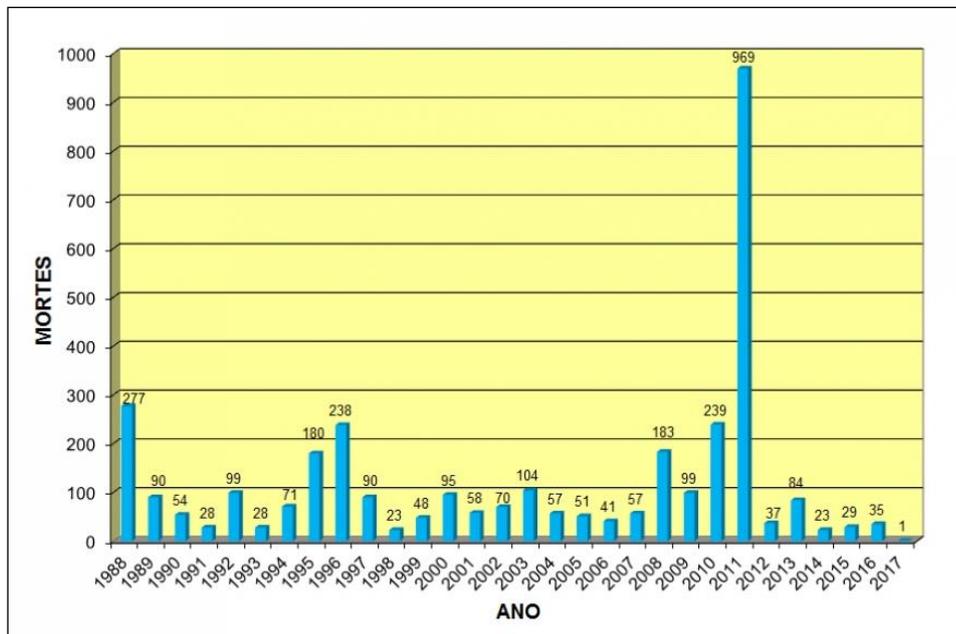


Figura 2. Mortes por deslizamentos no Brasil entre os anos de 1988 e 2017. Fonte: IPT, 2017.

Esse quantitativo elevado ressalta a importância de desenvolver estudos sobre o assunto e mapear as áreas suscetíveis a esses fenômenos, identificando o tipo de movimento, os condicionantes, as causas e consequências, a fim de adotar medidas estruturais (obras de contenção, drenagem, proteção superficial, reurbanização) ou não estruturais (planejamento

urbano, cartas geotécnicas e de risco, legislação e educação e capacitação), de modo a tentar solucionar ou minimizar os problemas.

### 2.2.1 Tipos de Movimentos

Existem diversos tipos de classificações e descrições para os movimentos de massa. As classificações tentam agrupar o tipo de movimento a um conjunto de características, tais como, o material envolvido, velocidade e direção do movimento, profundidade e extensão, a geomorfologia local e ambiente climático, entre outros (CASTRO, 2006). Devido a sua simplicidade e fácil entendimento, a classificação mais utilizada na área acadêmica e até mesmo nos trabalhos da defesa civil é a de AUGUSTO FILHO (1992), apresentada na Tabela 1 abaixo, que tem ênfase na descrição do tipo do movimento, com as principais características do material, da encosta e a velocidade de escoamento.

Tabela 1. Classificação dos Movimentos Gravitacionais de Massa. Fonte: AUGUSTO FILHO, 1992.

<b>MOVIMENTO DE MASSA</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
<b>RASTEJOS (CREEP)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vários planos de deslocamento (internos);</li> <li>- Velocidades muito baixas e decrescentes com a profundidade;</li> <li>- Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes;</li> <li>- Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada;</li> <li>- Geometria indefinida;</li> </ul>
<b>ESCORREGAMENTOS (SLIDES)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poucos planos de deslocamento;</li> <li>- Velocidades médias e altas;</li> <li>- Pequenos e grandes volumes de material;</li> <li>- Geometria e materiais variáveis;</li> </ul>
<b>QUEDAS (FALLS)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sem planos de deslocamento;</li> <li>- Movimentos tipo queda livre;</li> <li>- Velocidades muito altas;</li> <li>- Material rochoso;</li> <li>- Pequenos e médios volumes;</li> <li>- Geometria variável: lascas, placas, blocos;</li> <li>- Rolamento de matacão, tombamento;</li> </ul>
<b>CORRIDAS (FLOWS)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Muitas superfícies de deslocamento;</li> <li>- Movimento semelhante ao de um líquido viscoso;</li> <li>- Desenvolvimento ao longo das drenagens;</li> <li>- Velocidades médias e altas;</li> <li>- Mobilização de solo, rocha, detritos em água;</li> <li>- Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas.</li> </ul>

- Rastejos (Creep)

São fluxos de terra lentos e contínuos, para baixo do solo que forma o talude, que não apresentam superfície de cisalhamento bem definida, englobando grandes massas de materiais. É um tipo de movimento de massa bastante imperceptível, com velocidades muito baixas, da ordem de centímetros por ano, podendo ser sazonais, constantes ou intermitentes. As evidências da ocorrência desses movimentos podem ser percebidas através de trincas observadas em toda a extensão do terreno natural, que evoluem vagarosamente, e em inclinações acentuadas de postes de iluminação, árvores ou outros pontos fixos, como é possível observar na Figura 3.

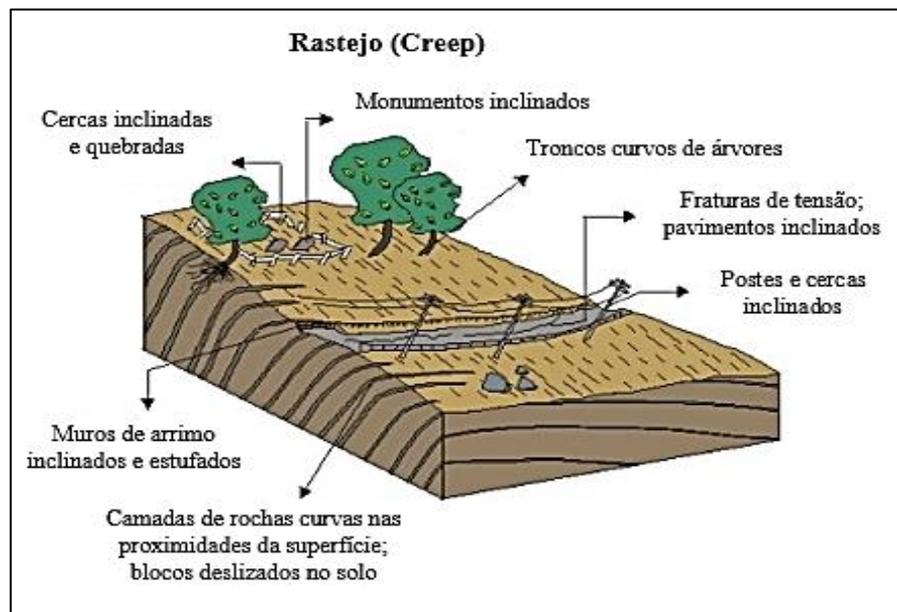


Figura 3. Movimento de rastejo (creep). Fonte: WIGGERS, 2013 (modificado de INFANTI JR. & FORNASARI FILHO, 1998).

- Escorregamentos (Slides)

Os escorregamentos, também conhecidos por deslizamentos, são caracterizados por apresentarem curta duração e velocidades relativamente elevadas quando comparadas aos rastejos. Ocorrem com massa de solo ou rocha, aumentando progressivamente a partir de um volume de material inicialmente deslocado. Possuem superfície de ruptura bem definida, podendo ser classificados em rotacional (circular), planar (translacional) ou ainda em cunha, no que tange à geometria.

Os processos de deslizamentos rotacionais apresentam superfície de ruptura circular,

ocorrendo mais frequentemente, em solos espessos, homogêneos e rochas fraturadas, sendo comuns em taludes artificiais, ocasionados muitas vezes pela interferência do homem. Como é possível verificar na Figura 4, a superfície de escorregamento encurvada, caracteriza-se pela formação de degraus de abatimento e pela movimentação de massa em torno de um eixo imaginário.

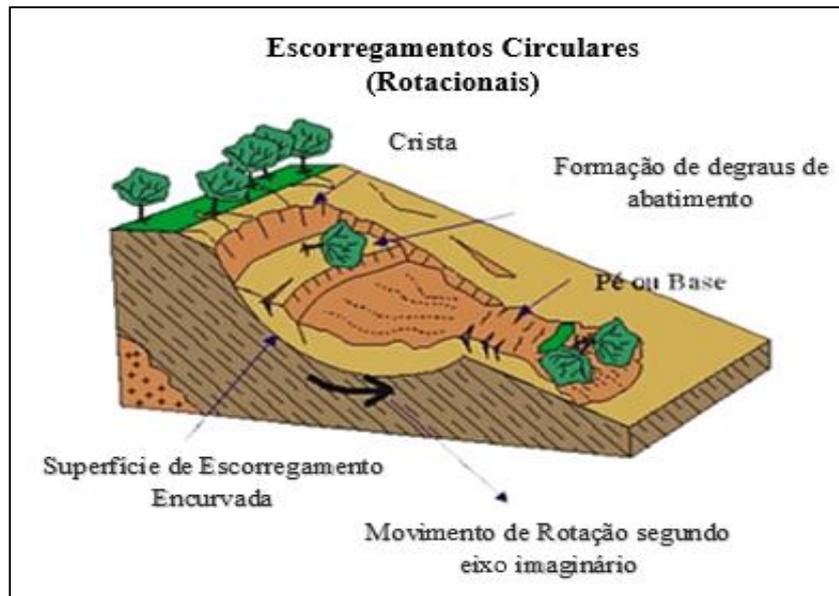


Figura 4. Movimento de escorregamento rotacional ou circular. Fonte: WIGGERS, 2013 (modificado de INFANTI JR. & FORNASARI FILHO, 1998).

Em relação aos deslizamentos translacionais, eles são o tipo mais comum de escorregamento nas encostas brasileiras, sendo verificados geralmente durante períodos de chuvas intensas. Possuem um plano de ruptura abrupto, com superfície relativamente plana, como exposto na Figura 5, e tendem a ocorrer em solos poucos espessos e solos e rochas com um plano de fraqueza.

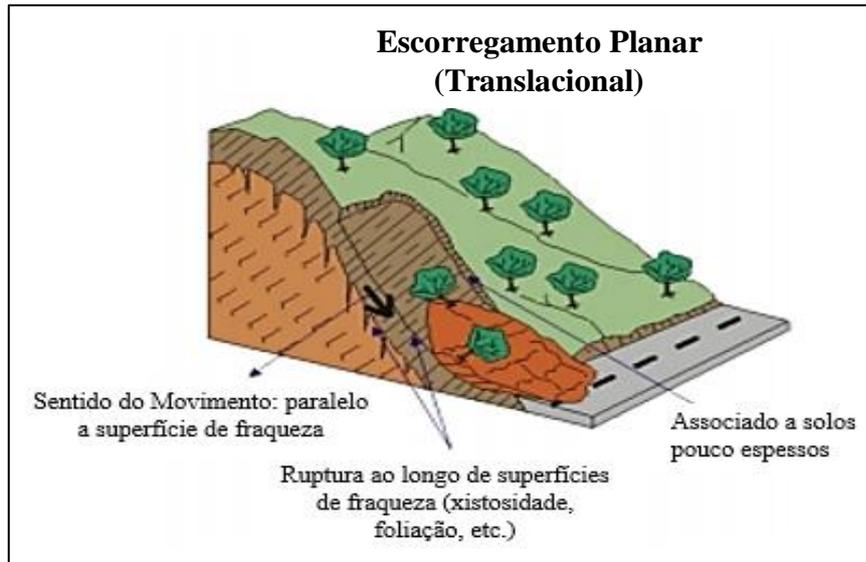


Figura 5. Movimento de escorregamento translacional ou planar. Fonte: WIGGERS, 2013 (modificado de INFANTI JR. & FORNASARI FILHO, 1998).

Os escorregamentos classificados em cunha são condicionados por duas superfícies de ruptura planares, desfavoráveis à estabilidade, que geram o deslocamento de um prisma ao longo do eixo de intersecção destes planos, conforme mostra a Figura 6. Trata-se de um processo comum em taludes de corte ou encostas que passaram por algum tipo de alteração, natural ou humana.

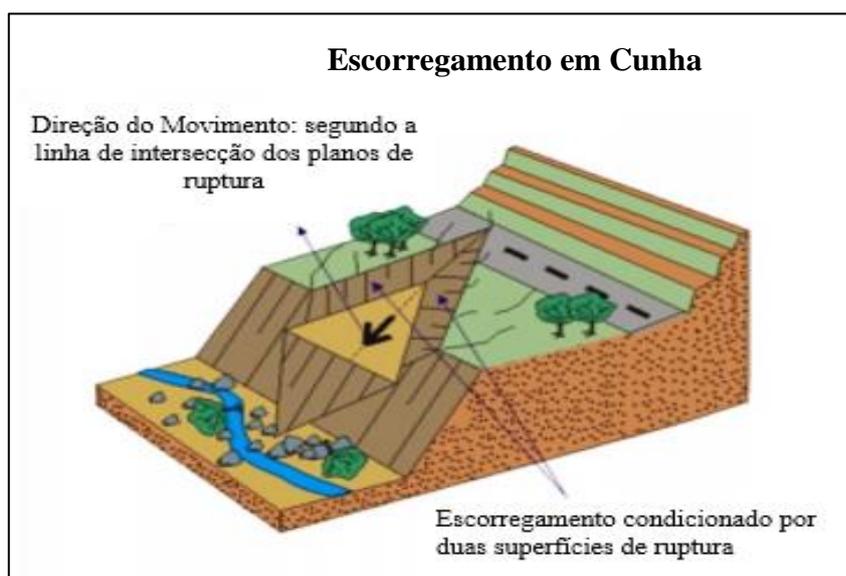


Figura 6. Movimento de escorregamento em cunha. Fonte: WIGGERS, 2013 (modificado de INFANTI JR. & FORNASARI FILHO, 1998).

- Quedas (Falls)

As quedas são movimentos extremamente rápidos, da ordem de metros por segundo, caracterizados pelo destacamento de lascas, placas ou blocos de material rochoso em movimento de queda livre ou plano inclinado. Podem ter a ocorrência relacionada ao intemperismo causado pela água de rios e córregos, ciclo de congelamento e descongelamento, além de atividades antrópicas, tais como escavações, tremores de terra e outras vibrações intensas.

Conforme a classificação de AUGUSTO FILHO (1992), podem ainda ser identificados mais dois tipos de movimentos de blocos: os tombamentos e os rolamentos de blocos ou matacões, como verifica-se na Figura 7. Os tombamentos são movimentos mais lentos que as quedas e ocorrem principalmente em taludes de corte, onde a mudança da geometria acaba desconfinando as discontinuidades e ocasionando o desprendimento de material rochoso. Já os rolamentos ocorrem naturalmente quando processos erosivos removem o apoio de sua base, condicionando um deslocamento de bloco ao longo de encostas inclinadas.

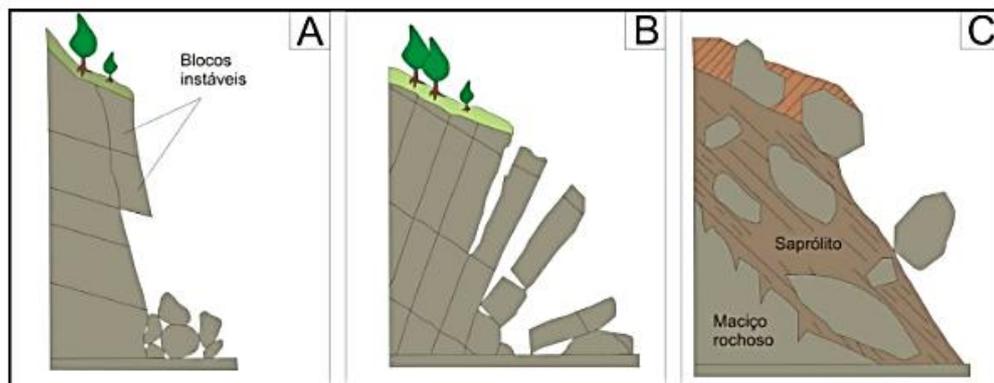


Figura 7. Movimentos de massa: (A) Quedas; (B) Tombamentos; (C) Rolamentos. Fonte: WIGGERS, 2017 (modificado de INFANTI JR. & FORNASARI FILHO, 1998).

- Corridas (Flows)

As corridas são movimentos de massa rápidos e de alta energia, nos quais materiais como lama, rochas e árvores escoam encosta abaixo, em virtude da grande concentração de água superficial, conforme o esquema da Figura 8. Possuem elevado raio de alcance e grande poder destrutivo, sendo mais comuns em taludes com presença de ravinas.

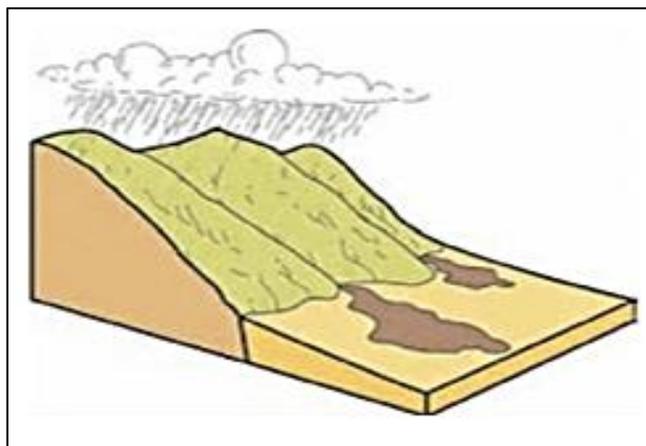


Figura 8. Esquema de uma corrida. Fonte: LOPES, 2006.

### 2.2.2 Mecanismos condicionantes e causas

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 previsão da suscetibilidade (MORAIS, 2017).

Os condicionantes naturais podem ser agrupados em duas classes: agentes predisponentes e agentes efetivos. Os agentes predisponentes estão relacionados às características específicas do meio físico natural (complexo geológico-geomorfológico, complexo climático-hidrológico, tipo de vegetação original). Os agentes efetivos diferenciam-se em preparatórios, que modificam contínua e progressivamente as condições de equilíbrio inicial existente, aumentando a suscetibilidade dos materiais aos deslizamentos (pluviosidade, erosão, congelamento e degelo, variação de temperatura e umidade, oscilação do nível de lagos e marés e do lençol freático, ação de animais) e imediatos, que determinam a deflagração dos mecanismos de rompimento (chuva intensa, vibrações, fusão do gelo e neves, erosão, terremotos, ondas, vento, entre outros).

Com relação aos condicionantes antrópicos, pode-se citar como principais agentes deflagração de deslizamentos a remoção da cobertura vegetal, lançamento e concentração de águas pluviais e/ou servidas, vazamento na rede de água e esgoto, presença de fossas, execução de cortes com alturas e inclinações acima de limites tecnicamente seguros, execução deficiente de aterros (compactação, geometria, fundação), execução de patamares (“aterros lançados”)

com o próprio material de escavação dos cortes, o qual é simplesmente lançado sobre o terreno natural, lançamento de lixo nas encostas/taludes, retirada do solo superficial expondo horizontes mais suscetíveis, deflagrando processos erosivos, bem como elevando o fluxo de água na massa do solo (BRASIL, 2007).

Ressalta-se que as intervenções antrópicas podem aumentar a incidência e a intensidade dos escorregamentos, principalmente nos períodos chuvosos, através da ocupação desordenada de áreas geotecnicamente favoráveis ao processo, causando impactos que vão além dos custos das perdas humanas e da reconstrução de bens públicos e privados.

Dificilmente um deslizamento pode ser associado a um único e determinante mecanismo condicionante, devendo ser observado como resultado de uma cadeia de causas e efeitos que ocasionam sua deflagração. Segundo MORAIS (2017), 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 da resistência cisalhante do solo, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Fatores deflagradores dos movimentos de massa. Fonte: GUIDICINI & NIEBLE, 1984.

<b>AÇÃO</b>	<b>FATORES</b>	<b>FENÔMENOS</b>
<b>AUMENTO DAS SOLICITAÇÕES</b>	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.;
<b>REDUÇÃO DA RESISTÊNCIA</b>	Características inerentes ao material (textura, estrutura, etc.)	- Características geomecânicas do material, estado de tensões iniciais;
	Mudanças 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.

Apesar de inúmeros fatores atuarem no desencadeamento dos movimentos de massa, as águas provenientes da chuva e de subsuperfície representam o principal elemento condicionante de instabilização do talude, sendo a precipitação responsável pelo maior fluxo de água a atuar na desestabilização das encostas, ocasionando numerosas ocorrências de deslizamentos.

## 2.3 PLUVIOSIDADE

A pluviosidade é o volume ou quantidade de chuva que ocorre numa determinada área em um determinado período de tempo. A seguir serão apresentados alguns conceitos correlatos a esse tema, abordando também a influência da precipitação na ocorrência dos movimentos de massa.

### 2.3.1 Termos Relacionados

**Precipitação:** Toda e qualquer forma de água proveniente do meio atmosférico depositada na superfície terrestre sob a forma de chuva, granizo, neblina, neve, orvalho ou geadas, sendo classificada em convectiva (grande intensidade, pequena duração e restrita a pequenas áreas); orográfica (pequena intensidade, grande duração cobrindo pequenas áreas) e ciclônica (grande duração, atingindo grandes áreas com intensidade média).

**Pluviometria:** Estuda a distribuição das chuvas, utilizando grandezas estabelecidas para caracterizá-las, como altura, duração e intensidade, as quais são medidas nas estações pluviométricas, equipadas com pluviômetros e pluviógrafos.

**Altura pluviométrica:** É a medida vertical da lâmina de água precipitada em um recipiente cilíndrico, registrada em milímetros, definida como a quantidade de precipitação correspondente ao volume de um litro por metro quadrado de superfície.

**Pluviômetro:** É um instrumento que mede a quantidade da chuva, consistindo normalmente em um reservatório cilíndrico para coleta de água, dotado de funil com anel receptor e também de uma proveta graduada em milímetros para a leitura direta da lâmina de água.

**Pluviógrafo:** Instrumento que registra em um diagrama a quantidade e intensidade da chuva, determinando a hora de início e fim da precipitação. A unidade de medida é em milímetros.

**Duração:** Período de tempo durante o qual a precipitação ocorreu, medido em minutos, horas ou dias.

**Intensidade da Precipitação:** É a relação dada pela lâmina de água precipitada e o tempo de duração de precipitação, expressa em mm/h ou mm/min.

**Índice Pluviométrico:** É a quantidade de chuva por metro quadrado num determinado local durante um período de tempo estabelecido.

**Tempo de recorrência:** É o intervalo estimado de tempo no qual se espera que a precipitação analisada seja igualada ou superada.

**Chuva acumulada:** Valor acumulado de precipitação em mais de um período.

### 2.3.2 Precipitação como agente deflagrador

A precipitação é considerada o elemento climático de maior importância no desencadeamento dos movimentos de massa em encostas. A intensidade e frequência das precipitações interferem de maneira significativa na instabilidade das encostas. Os altos índices de umidade característicos de regiões de clima tropical favorecem o encharcamento do solo e, conseqüentemente, os movimentos de massa (KORMANN et al., 2013).

No Brasil, em períodos de índice pluviométrico elevado, a grande pluviosidade age sobre vertentes íngremes, provocando a saturação dos solos ou rochas e ocasionando diretamente a deflagração dos deslizamentos. As principais formas de atuação das águas provenientes de precipitação no desencadeamento dos movimentos de massa são:

- Alteração da resistência do solo devido à diminuição da coesão aparente, eliminação das tensões capilares e dissolução da cimentação;
- Diminuição da resistência ao cisalhamento dos materiais devido ao aumento da pressão hidrostática;
- Aumento das solicitações externas devido ao aumento do peso específico dos materiais que formam a encosta;
- Avanço da frente de saturação no maciço, provocando o desenvolvimento de poropressões positivas nos solos, subpressões nas discontinuidades rochosas e forças de percolação;
- Alteração do perfil da encosta por erosão de materiais, entre outros fatores.

Segundo SILVA (2016), em encostas que possuem fendas ou fissuras, as águas pluviais podem infiltrar-se, diminuindo a resistência da encosta, o que pode ocasionar a ruptura de cortes e aterros e, por conseguinte, movimentos de massa. Os índices pluviométricos críticos para ocorrência dos movimentos de massa variam conforme o regime de infiltração no solo; a dinâmica das águas subterrâneas no maciço e o tipo de instabilização. Do exposto, é possível asseverar que: os escorregamentos em rocha tendem a ser mais suscetíveis a chuvas concentradas; os processos em solo dependem também dos índices pluviométricos acumulados nos dias anteriores; processos tipo corridas estão associados a índices pluviométricos muito intensos; as rupturas em áreas modificadas pelo homem com desmatamentos, cortes, aterros, etc., chamados de escorregamentos induzidos, podem ocorrer com valores de precipitações considerados normais.

DELMONACO et al. (1995) *apud* RAMOS FILHO (2014), afirmam que de forma geral, os movimentos de massa profundos estão relacionados a chuvas antecedentes acumuladas de vários dias, enquanto que movimentos de massa superficiais são mais dependentes da intensidade e duração da chuva em períodos mais curtos. Para solos com baixa permeabilidade, a chuva antecedente acumulada apresenta grande importância, por outro lado, para solos com alta permeabilidade as chuvas que apresentam maior importância são as chuvas de curta duração e grande intensidade.

Observa-se assim, que a quantidade e a intensidade da precipitação são fatores importantes na deflagração dos processos, influenciando a forma como a água se infiltra no solo. Além disso, o volume e a distribuição das chuvas em dias anteriores às rupturas são responsáveis pela preparação do terreno para a ocorrência dos escorregamentos, em virtude do aumento da umidade e do avanço das linhas de saturação.

#### **2.4 CORRELAÇÃO ENTRE PLUVIOSIDADE E MOVIMENTOS DE MASSA: HISTÓRICO DE PESQUISAS**

Como afirmam MOLINA et al. (2015), a influência do clima tem sido definida como um dos principais deflagradores do processo de deslizamento de solos em encostas em países tropicais devido ao volume de água infiltrado. Diante desse fato, inúmeros são os estudos em diferentes locais do mundo buscando correlacionar a pluviosidade e os eventos de deslizamento, a fim de encontrar valores-limites para o início da deflagração dos movimentos e criar sistemas de alerta para informar a população.

LUMB (1975) verificou através de gráficos uma correlação da precipitação acumulada de 15 dias e a precipitação do dia do escorregamento em Hong Kong, realizando uma análise entre os anos de 1950 e 1973. O autor determinou faixas de intensidade para as ocorrências de deslizamento, divididas em: eventos isolados, pequeno porte, severo e desastroso, conforme apresenta a Figura 9, concluindo que a principal causa dos escorregamentos observados é a perda da coesão devido à saturação do solo.

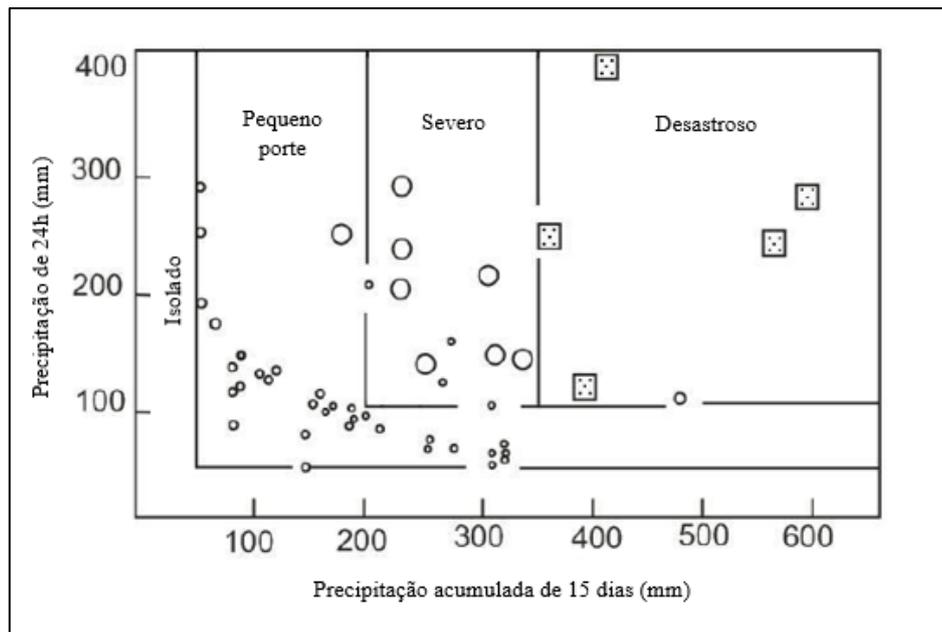


Figura 9. Gráfico de Correlação da Precipitação Acumulada de 15 dias x Precipitação do dia para Hong Kong.  
Fonte: LUMB, 1975 (modificado pela Autora).

FUKUOKA (1980) analisou a relação numérica da chuva antecedente e a intensidade horária da precipitação no Japão, elaborando um diagrama de probabilidade de ocorrência de escorregamentos (Figura 10), que é dividido em 4 regiões, indicando o potencial de frequência de deflagração do processo. Nesse diagrama, os resultados devem ser aplicados para áreas de 1 a 2 km<sup>2</sup>, pois os aspectos geológicos e climáticos podem variar significativamente, conforme a área de estudo aumenta.

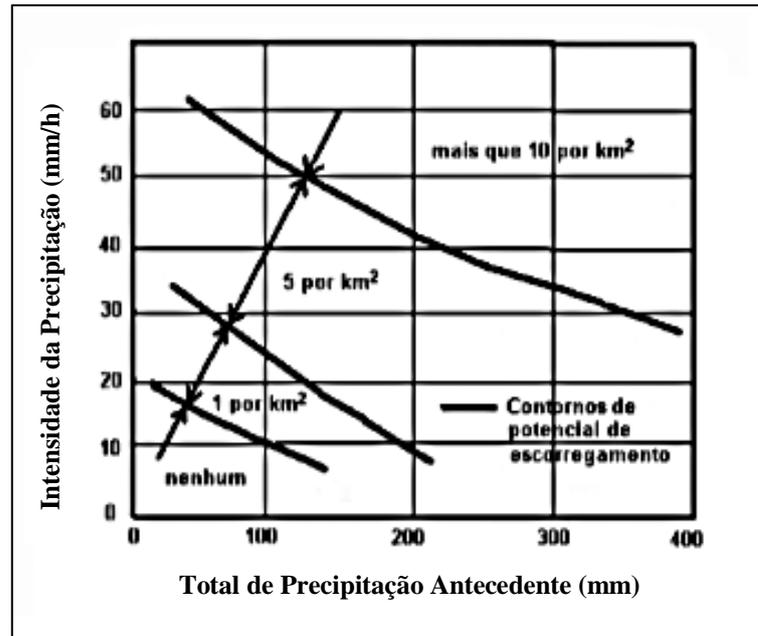


Figura 10. Gráfico do potencial de ocorrência de escorregamentos. Fonte: IDE, 2005 (modificado de FUKUOKA, 1980).

BRAND et al. (1984), estudaram a região de Hong Kong, já examinada por LUMB (1975), constatando que a chuva de curta duração, dentro de uma hora, era um fator relevante para a ocorrência de escorregamentos.

Realizando uma abordagem alternativa ao método de LUMB (1975), KAY & CHEN (1995) consideraram todas as ocorrências de precipitação diária acima de 50 mm, incluindo aquelas nas quais não houve escorregamento, de acordo com o gráfico da Figura 11.

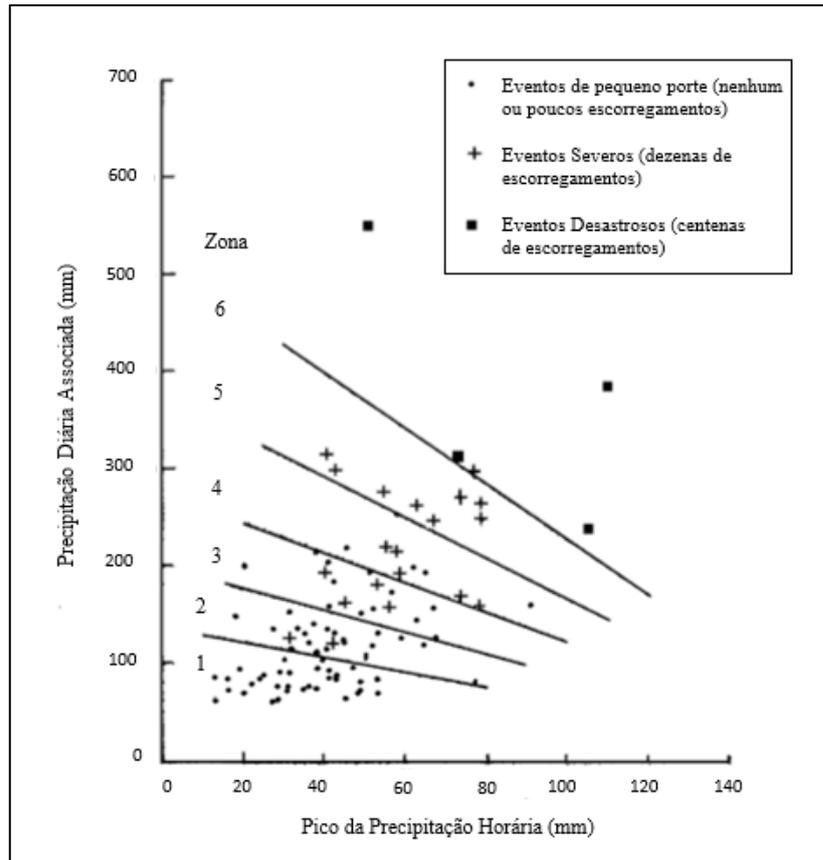


Figura 11. Correlação entre o Pico da Precipitação Horária x Precipitação Diária para Hong Kong. Fonte: KAY & CHEN, 1995 (modificada pela Autora).

A partir do resultado deste gráfico, os autores estabeleceram zonas nas quais foi possível calcular a probabilidade de ocorrência de escorregamentos, conforme mostra a Tabela 3.

Tabela 3. Probabilidade de escorregamento por zonas de precipitação. Fonte: KAY & CHEN, 1995.

Zona	Probabilidade de ocorrência de escorregamentos
1	Desprezível para ocorrências severas de escorregamento
2	5 – 25% para ocorrências severas de escorregamento
3	25 – 45% para ocorrências severas de escorregamento
4	45 – 75% para ocorrências severas de escorregamento
5	75 – 95% para ocorrências severas de escorregamento
6	70 – 90% para ocorrências desastrosas de escorregamento

Análises estatísticas e hidrológicas realizadas por BOZZANO et al. (1998) apontaram que a chuva acumulada dos 30 dias antecedentes tinha relação com a ocorrência de deslizamentos rasos no sul da Itália. De acordo com os autores, as chuvas intensas se mostraram efetivas no processo de instabilização imediata das encostas, mas não foi possível a determinação de valor crítico de intensidade da precipitação.

ZÊRERE et al. (2003) realizaram estudos empíricos da série de precipitação de Lisboa (Portugal), resultando em relações diferenciadas:

- Intensidades moderadas de precipitação (220 mm em 15 dias) são responsáveis por escorregamentos de pequeno porte;
- Episódios de elevada precipitação (130 a 160 mm em 1 dia) deflagram enchentes relâmpago e numerosos escorregamentos;
- Períodos prolongados de chuva (459 mm em 40 dias a 690 mm em 75 dias) são responsáveis pela elevação do nível de água no solo, pelo aumento da pressão da água nos poros e escorregamentos de solo mais profundos.

Percebe-se, pelas diferentes pesquisas e constatações, que a busca da relação físico-matemática entre chuva e escorregamento necessita não apenas considerar as características geológicas, geomorfológicas e climáticas da localidade, com também as características de uso e ocupação do solo. Estudos em regiões de condições geológicas e meteorológicas distintas vêm apresentando resultados diversos.

No Brasil, o primeiro ensaio de correlação entre a precipitação e os escorregamentos data de 1957 com PICHLER (1957). Uma pesquisa mais completa foi desenvolvida por GUIDICINI & IWASA (1976), os quais analisaram nove regiões brasileiras se baseando em precipitações acumuladas de 3, 7, 15, 30, 60, 90 e 120 dias anteriores ao evento de precipitação intensa, mostrando a importância da chuva anterior na deflagração dos movimentos de massa. Os autores indicaram que índices pluviométricos acima de 250 mm a 300 mm diários são suficientes para que haja ocorrência sistemática de movimentos. Além disso, episódios de chuva superiores a 20% deste valor, tendem a ser catastróficos.

TATIZANA et al. (1987a) estudaram a relação numérica entre a pluviosidade e os escorregamentos na Serra do Mar, município de Cubatão, analisando a chuva acumulada de 4 dias e a intensidade da precipitação, baseados na observação de eventos chuvosos de 100 mm

em 1 dia, 150 mm em 2 dias e 200 mm em 3 dias. A relação encontrada, denominada envoltória de escoresamento, que separa eventos chuvosos com registro de deslizamento, daqueles sem registro, é dada pela função:  $I = 2603 \times AC^{-0.933}$ , sendo  $I$  a intensidade horária (mm/h) e  $AC$  a acumulada de chuvas em 4 dias anteriores (mm). Com base nesta envoltória, pode-se notar que, ao aumentar a saturação do solo, a intensidade da precipitação suficiente para deflagrar os escoresamentos diminui, como mostra o gráfico da Figura 12.

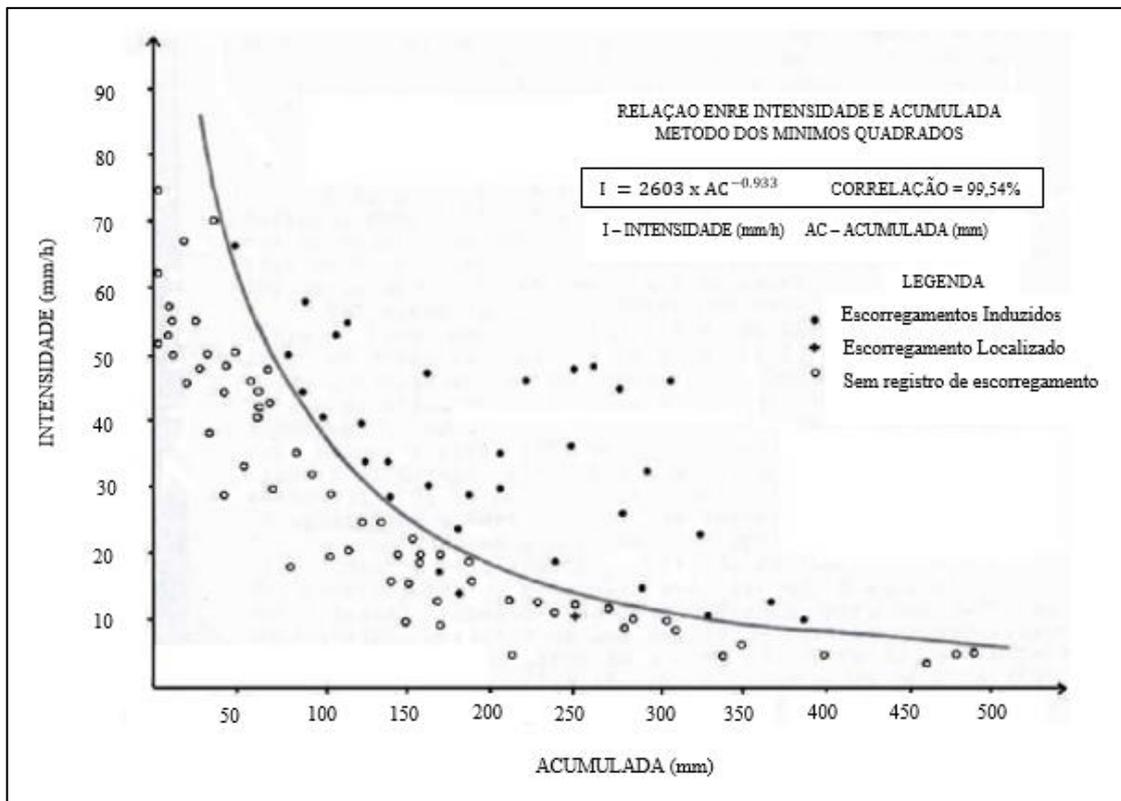


Figura 12. Gráfico da Envoltória de Escoresamentos Induzidos na Serra do Mar. Fonte: CASTRO, 2006 (modificado de TATIZANA et al., 1987).

GUSMÃO FILHO et al. (1987) desenvolveram um método inovador para a investigação da relação entre a precipitação e a instabilidade de encostas nos morros de Olinda, realizando um monitoramento no período de 1985 e 1986, estabelecendo o seguinte parâmetro para definir esta relação:  $R = Pac.I_i$ , onde:

R = Relação entre os níveis piezométricos e a precipitação ( $\text{mm}^2$ );

Pac = Precipitação acumulada desde o início da estação chuvosa (mm);

Ii = Intensidade da chuva em 24 horas (mm).

A partir da análise do valor de R e dos níveis piezométricos para diversas ocorrências de escorregamentos, encontrou-se o valor-limite para R correspondente a  $60.000 \text{ mm}^2$ , que representa o nível d'água máximo suportado, em condições de estabilidade. Vale salientar, que o acompanhamento dos níveis piezométricos pode onerar os custos deste método, tornando-o impraticável em certas localidades.

Para a cidade de Salvador, ELBACHÁ et al. (1992) desenvolveram um estudo semelhante ao de TATIZANA et al. (1987a). A correlação entre precipitação e escorregamento foi realizada em duas etapas, a primeira relacionando precipitação diária e escorregamentos e a segunda relacionando os escorregamentos à precipitação horária. Os autores constataram que não foi possível definir um valor-limite para precipitação que provoca uma deflagração dos deslizamentos, entretanto a faixa de ocorrência é entre 0 a 150 mm e o número de dias de chuvas que apresenta influência nos escorregamentos é de 4 dias acumulados.

XAVIER (1996), fez uma análise temporal dos escorregamentos em Belo Horizonte (MG), no período de 1990 a 1995, mostrando que existe um comportamento sazonal dos escorregamentos, concentrados nos meses de maior pluviometria da área em questão (outubro a março). Foi verificado também que a suscetibilidade aumenta na região de Belo Horizonte (MG) quando volumes de precipitação superam 30 mm em 24 horas e torna-se ainda maior quando chove 50 mm em 48 horas, demonstrando que períodos prolongados de chuva constituem as situações mais críticas.

FEIJÓ et al. (2001), relacionaram a duração e a intensidade da precipitação com os tipos de processos no município do Rio de Janeiro (RJ), destacando as médias de 30 mm de chuva por hora, 70 mm de chuva por dia e 100 mm de chuva em 4 dias como sendo agentes deflagradores de movimentos de massa.

A relação entre escorregamentos, meteorologia e precipitação na região de Campinas (SP), foi abordada por IDE (2005), apresentando uma nova metodologia para investigações dos aspectos mais favoráveis à deflagração dos movimentos de massa e da correlação chuva-escorregamento.

Os procedimentos para o desenvolvimento da investigação dos fatores meteorológicos associados aos escorregamentos foram divididos em 8 etapas, interdependentes entre si, como consta na Tabela 4.

Tabela 4. Etapas da metodologia proposta por IDE (2005). Fonte: CASTRO, 2006.

<b>Etapa</b>	<b>Procedimento</b>	<b>Descrição</b>
1	Planejamento	Definição da área de estudo e coleta de dados preliminares;
2	Levantamento de informações de escorregamento	Período da coleta, pré-filtragem, informações na Coordenadoria Municipal de Defesa Civil (COMDEC) e/ou mídia;
3	Levantamento de informações meteorológicas	Período de coleta coincidente com os dados de escorregamentos, verificar a confiabilidade dos dados;
4	Filtragem	Eliminação dos casos não ligados à precipitação;
5	Diagnóstico meteorológico	Identificação do sistema meteorológico vigente;
6	Caracterização Atmosférica	Caracterização do tipo de regime pluviométrico e do processo de instabilização da massa;
7	Circulação Atmosférica	Caracterização dos cenários meteorológicos mais favoráveis ao processo na região;
8	Relação entre a precipitação e os escorregamentos	Correlação numérica da precipitação com os escorregamentos.

O roteiro proposto anteriormente foi aplicado por IDE (2005) em Campinas / SP, utilizando dados de 1997 a 2004. A correlação entre a precipitação e os escorregamentos foi realizada com os dados diários devido à ausência de dados de intensidade pluviométrica. O valor obtido para os dias de chuva antecedente foi de 50 mm em 7 dias. Entretanto, de acordo com a autora, os resultados não foram satisfatórios. Visando melhorar os resultados, os dados foram separados segundo a litologia local. Os novos resultados foram mais satisfatórios, apresentando novamente o melhor resultado para 7 dias de chuva acumulada com 78 mm de precipitação.

CASTRO (2006) estudou as encostas de Ouro Preto, chegando à conclusão que os deslizamentos que provocam maiores danos à cidade e que ocorrem com maior regularidade

são aqueles em que são registrados mais de um acidente em diferentes locais no mesmo dia. A autora destaca a precipitação acumulada de 5 dias como maior influência na origem de movimentos de massa, constatando que chuvas acima de 22 mm/5 dias podem originar deslizamentos e que, acima de 128 mm/5 dias, os eventos devem ser mais severos.

Tomando como base os estudos desenvolvidos por IDE (2005) e CASTRO (2006), a correlação entre os movimentos de massa e a pluviosidade nas encostas de João Pessoa foi analisada por SOARES & RAMOS FILHO (2014), que traçaram curvas de dispersão para valores acumulados de precipitação de 1 a 10 dias, utilizando 19 datas distintas de ocorrências de escorregamentos deflagrados pela chuva, obtidos a partir da média e compreendidos no período de 2008 a 2013. Foi verificado que os casos de eventos isolados (apenas um escorregamento por dia) ocorriam para precipitações diárias a partir de 151,6 mm e acumulada de 7 dias a partir de 40,9 mm, ou ainda, a partir de uma chuva diária de 53,4 mm e acumulada de 7 dias a partir de 131,8 mm. Já para os eventos de escorregamentos generalizados (mais de um escorregamento por dia) a deflagração ocorria a partir de chuvas diárias de 165 mm e acumulada de 7 dias de 47,6 mm ou ainda a partir de chuva diárias de 72 mm e acumulada de 7 dias de 174,2 mm. A relação numérica entre precipitação acumulada (PA) de sete dias e a precipitação diária (PD), encontrada pelos autores foi a seguinte:  $PD = 3161,6 x (PA)^{-0,9804}$ . A Figura 13 apresenta a respectiva curva de correlação desenvolvida.

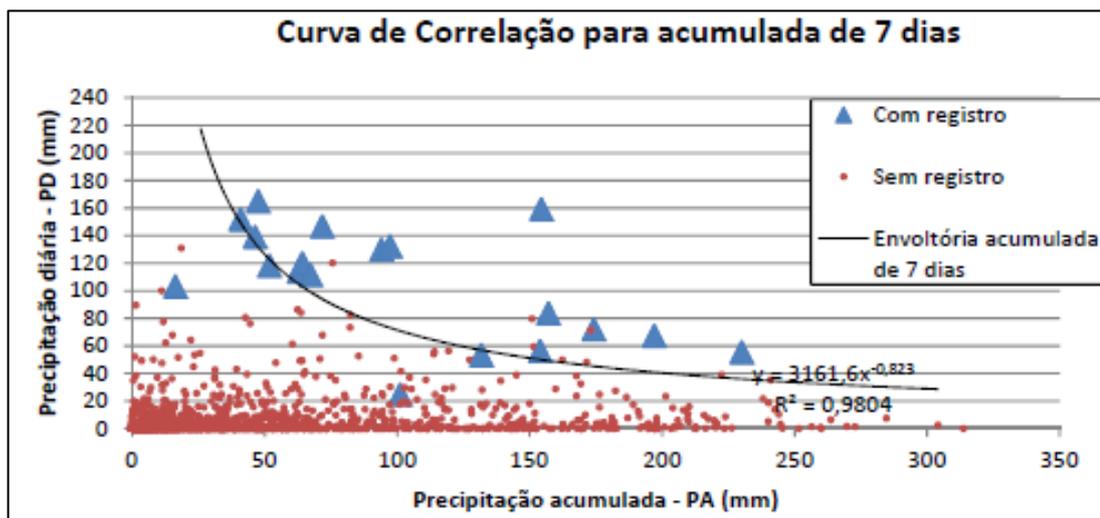


Figura 13. Curva de correlação entre precipitação diária e acumulada para 7 dias. Fonte: SOARES & RAMOS FILHO, 2014.

### **3 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA**

SOARES & RAMOS FILHO (2014), observaram que um limiar próximo a 50 mm de chuva acumulada para 7 dias era uma boa referência para indicar a possibilidade de escorregamentos em João Pessoa (PB). Entretanto, os autores relataram a necessidade de intensificar e estender o estudo no decorrer dos anos, buscando aumentar os registros de escorregamentos e dados dos pluviômetros, verificando a confiabilidade da curva por eles estabelecida e visando fornecer subsídios para um melhor controle e previsão destes tipos de acidente na cidade.

#### **3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

##### **3.1.1 Aspectos Gerais**

João Pessoa é a capital, maior centro econômico e financeiro, e o município mais populoso do Estado da Paraíba. Além disso, a capital paraibana guarda o título de terceira cidade mais antiga do Brasil, fundada em 1585, e é considerada uma das cidades mais arborizadas do planeta, pois apesar de ter sido bastante devastada, ainda conta com importantes resquícios da Mata Atlântica original preservados.

A cidade se localiza na porção mais oriental das Américas, com latitude sul de  $07^{\circ}06'54''$  e longitude oeste de  $34^{\circ}51'47''$ , como mostra a Figura 14. Limita-se ao norte com o Município de Cabedelo; ao sul com o município do Conde; a leste com o Oceano Atlântico; e a oeste com os municípios de Bayeux e Santa Rita, respectivamente. Com uma população de 811 598 pessoas, de acordo com estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para o ano de 2017, o Município de João Pessoa tem uma área total de 211, 5 km<sup>2</sup>, possuindo atualmente 65 bairros.

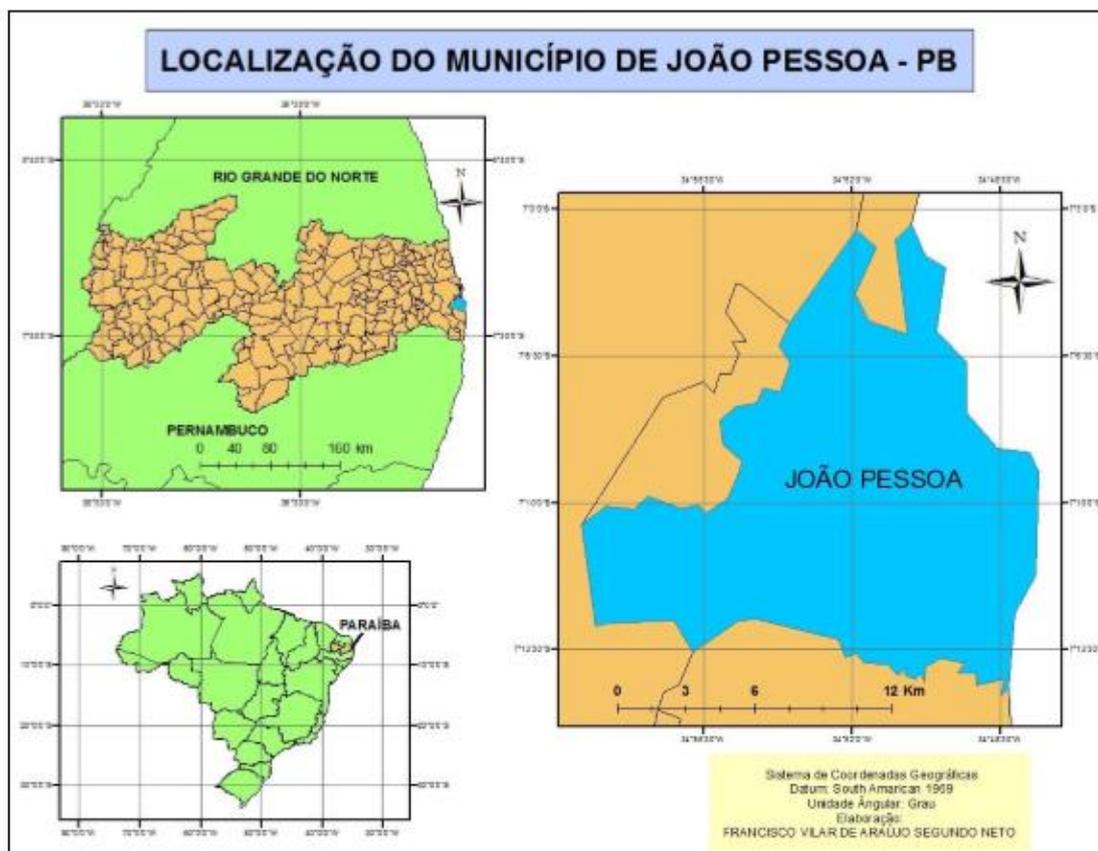


Figura 14. Localização da cidade de João Pessoa – Paraíba. Fonte: ARAÚJO SEGUNDO NETO, 2014.

A cidade de João Pessoa teve um lento crescimento urbano, o qual se intensificou a partir da década de 1960, ocasionando o processo de uso e ocupação do litoral. Contudo esse crescimento, assim como na maioria das grandes cidades brasileiras, proporcionou a estruturação, apenas, das áreas mais favorecidas em detrimento das menos favorecidas. Em paralelo ao progresso que acometia os grandes bairros residenciais e comerciais da orla marítima, as encostas e vales de rios, ocupadas pela população de baixa renda, sofriam com o empobrecimento urbano. Problema urbano decorrente da falta de planejamento, responsável pela degradação social e ambiental da cidade (PEREIRA, 2017).

Desde a década de 70, a cidade possui Plano Diretor, mecanismo legal que visa orientar a ocupação do solo urbano, entretanto a quantidade de áreas de risco acompanhou de forma ascendente o crescimento da população ao longo dos últimos anos. De acordo com SILVA (2016), estas áreas apresentam característica de vulnerabilidade social e ambiental, constituídas por famílias de baixa renda em áreas com probabilidade de inundações, alagamentos, deslizamentos e moradias precárias suscetíveis a desabamentos, devido às suas instalações nas margens dos rios, como também no topo e sopé das encostas das áreas críticas e a situação se

agrava notadamente nos períodos das chuvas.

Conforme dados fornecidos pela Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil de João Pessoa (COMPDEC-JP), órgão que realiza constantemente o monitoramento dessas áreas a fim de identificar as moradias comprometidas e interditá-las, atualmente há 27 áreas de risco na cidade. A Tabela 5 apresenta um levantamento das comunidades que se encontram em áreas de risco e o tipo de risco que enfrentam.

Tabela 5. Comunidades em Área de Risco na cidade de João Pessoa. Fonte: COMPDEC-JP, 2018.

DESCRIÇÕES / IDENTIFICAÇÃO					Número de domicílios afetados pelo tipo de risco		
Nº	Comunidade	Bairro	População	Domicílios	Desmoronamento	Deslizamento	Alagamento/ Inundação
1.	Saturnino de Brito	Trincheiras	2.100	500	150	325	****
2.	Santa Clara	Castelo Branco II	1.750	350	105	210	35
3.	São Rafael	Castelo Branco/ R. Tabajara	1.800	345	52	86	173
4.	Tito Silva	Miramar	1.900	380	57	95	190
5.	São José	São José	2.000	402	60	101	201
6.	São Judas tadeu	Alto do Mateus	1.030	206	41	72	****
7.	Boa Esperança	Cristo	5.200	1.050	210	368	105
8.	Maria de Nazaré	Funcionarios II	2.250	500	125	175	****
9.	Riacho/Riachinho	13 de Maio	950	210	53	74	21
10.	Chatuba	Manaira	1.900	361	108	****	253
11.	Sta Emilia de Rodath	Ilha do Bispo	1.700	400	120	****	240
12.	Porto do Capim	Varadouro	550	130	52	****	78
13.	Felipéia	Tambíá	205	41	16	25	****
14.	Beira da Linha	Alto do Mateus	1.400	280	28	84	168
15.	Barreira /Cabo Branco	Cabo Branco / Rua José Eduardo de Holanda	450	90	****	63	****
16.	Comunidade "S"	Roger	930	193	58	19	77
17.	Sta. Bárbara	Valentina	1.500	300	60	90	***** *
18.	Nova República	Geisel	2.200	480	96	****	192
19.	Arame	Grotão	450	100	20	40	****
20.	Bananeiras	Grotão	1.100	240	60	96	
21.	Porto de João Tota	Mandacaru	2.500	600	60	****	240
22.	Jardim Coqueiral	Mandacaru	3.300	760	152	****	266
23.	Rua Ari Barroso	Alto do Mateus	180	45	9	36	****
24.	São Geraldo	Rua: São Geraldo N° 101/110 (Pt° de referencia).	100	25	8	****	10
25.	KM-19/ BR-230	Castelo Branco - II	340	85	17	68	****
26.	Padre Hildom	Torre	1.320	330	66	****	132
27.	Renascer - I Distrito Mecânico/Varadouro	Distrito Mecânico / Varadouro	360	90	18	72	****
<b>TOTAL</b>			<b>39.465</b>	<b>8.493</b>	<b>1801</b>	<b>2098</b>	<b>2380</b>

Entre 2010 e 2015, 13 comunidades, antes consideradas áreas de risco, foram erradicadas pelo município com a realocação das famílias que residiam em pontos vulneráveis para moradias dignas, e/ou revitalizadas com infraestrutura, como mostra a Tabela 6.

Tabela 6. Comunidades erradicadas na cidade de João Pessoa entre os anos de 2010 e 2015. Fonte: COMPDEC-JP, 2018.

<b>DESCRIÇÕES / IDENTIFICAÇÃO</b>				
<b>Nº</b>	<b>Comunidade</b>	<b>Bairro</b>	<b>População</b>	<b>Domicílios</b>
<b>1.</b>	Timbó	Bancarios	4.600	900
<b>2.</b>	Paulo Afonso	Jaguaribe	1.400	260
<b>3.</b>	Asa Branca	Roger	2.250	500
<b>4.</b>	Monte das Oliveiras	Cristo	370	92
<b>5.</b>	Citex	Geisel	420	95
<b>6.</b>	Jard. Mangueira	Mandacaru	2.060	512
<b>7.</b>	Tanque	Ilha do Bispo	780	156
<b>8.</b>	Mangue Sêco	Ilha do Bispo	230	52
<b>9.</b>	Esperança /Gadanhó	Padre Zé (Condominio Esperança)	360	90
<b>10.</b>	Terra do Nunca	Terra do Nunca / Roger	198	45
<b>11.</b>	Maribondo	Nova Mangabeira/ Valentina	80	20
<b>12.</b>	Novo Horizonte	Cristo	1.900	360
<b>13.</b>	Trapiche	Varadouro	159	32
<b>TOTAL</b>			<b>14.807</b>	<b>3.114</b>

A implantação do projeto “João Pessoa em Ação - Força Municipal de Gestão de Riscos e Administração de Desastres” pela Prefeitura Municipal de João Pessoa, no ano de 2013, teve grande influência na diminuição da quantidade de áreas de risco através da realização de medidas como desassoreamento de rios, loneamento de taludes, demolição de residências, poda de árvores e assistência social. Os dados fornecidos pela COMPDEC-JP demonstram que hoje quase 40 mil pessoas ainda habitam áreas de risco, onde cerca de 20 mil pessoas continuam convivendo com alto risco de deslizamento, número considerável. Entretanto, como consequência da implantação do projeto supracitado, observou-se a redução do número de ocorrências de escorregamentos nos últimos anos, de acordo com o exposto na Figura 15.

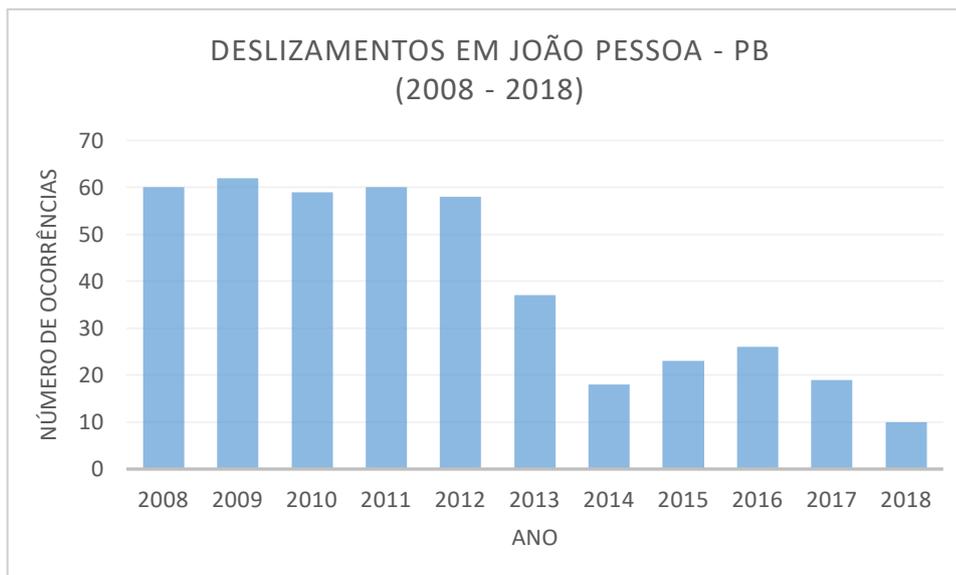


Figura 15. Deslizamentos em João Pessoa – PB (2008 – 2018). Fonte: Elaborada pela Autora, segundo dados da COMPDEC-JP.

### 3.1.2 Clima

João Pessoa possui clima tropical úmido, apresentando dois regimes climáticos. Segundo PEREIRA (2014), o primeiro regime é o período chuvoso, correspondendo à parte do verão, o outono e início do inverno, totalizando um conjunto de sete meses com os maiores totais pluviais, sendo os meses de abril à julho os mais representativos. Já o segundo regime, é o período seco, que apresenta baixos índices pluviométricos, equivalente ao final do inverno, abarcando todo o período da primavera e início do verão (setembro à janeiro).

A temperatura média anual é 25,2 °C e a pluviosidade média anual é de 1888 mm. Novembro é o mês mais seco e junho é o mês de maior precipitação. Além disso, janeiro é o mês mais quente e agosto o mês com a mais baixa temperatura. A Figura 16 mostra a precipitação média mensal da cidade de João Pessoa, no período de 2014 a 2017, de acordo com informações da estação 82798 do INMET.

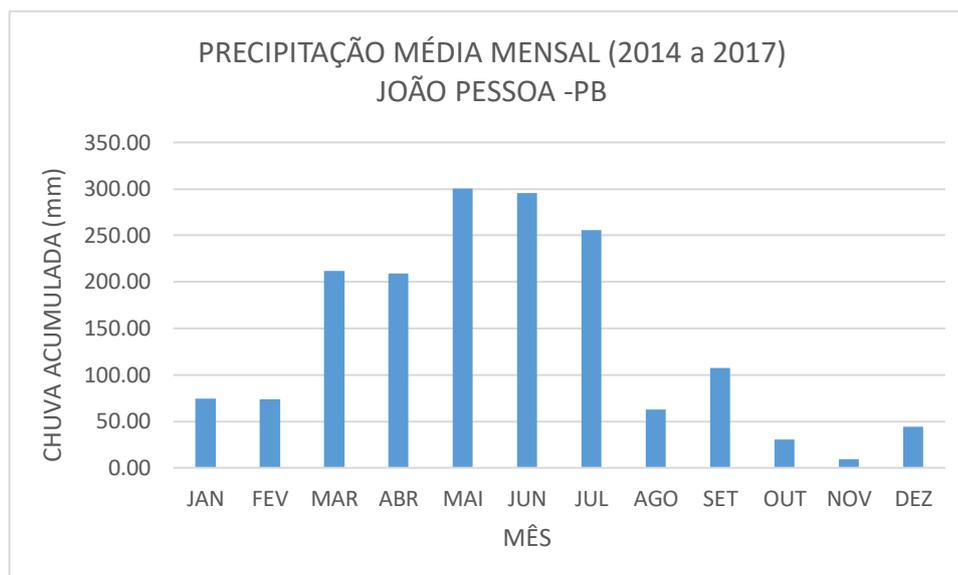


Figura 16. Pluviosidade Média Mensal em João Pessoa, no período de 2014 a 2017. Fonte: Elaborada pela Autora, segundo dados da estação 82798 do INMET.

Um fator importante relacionado às chuvas de João Pessoa diz respeito aos chamados “eventos de chuvas diárias extremas”, que são valores e intensidade de precipitação bem superiores ao esperado em um curto espaço de tempo. Esses eventos constituem uma preocupação constante para a população e a defesa civil, pois são a causa de inundações, destruição e deslizamentos em encostas. Por isso, não pode-se ter a certeza de que não ocorrerá movimento de massa em um mês que não é considerada no período de chuva.

### 3.1.3 Solo

Sobre os aspectos pedológicos, a partir da análise do Mapa Pedológico do Estado da Paraíba (2004), apresentado na Figura 17, observou-se que a superfície sólida da cidade de João Pessoa é composta principalmente pelos solos Podzólico Vermelho-Amarelo, Areias Quartzosas Marinhas, Solos Aluviais, Solos Indiscriminados de Mangue, Latosol Vermelho-Amarelo, Podzol Hidromórfico e Solos Gley. Sendo os três primeiros solos citados os de maior ocorrência, correspondendo respectivamente a solos argilosos, arenosos e aluviais, geralmente encontrados ao decorrer dos taludes ou nas margens dos rios que os rodeiam.

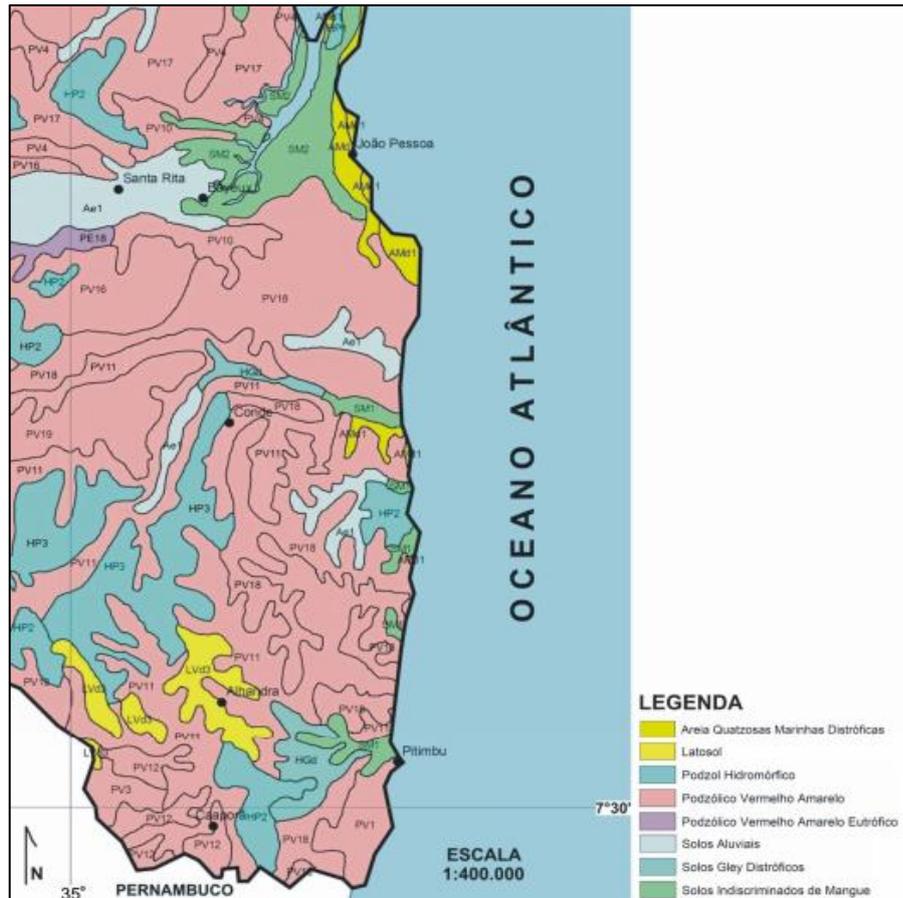


Figura 17. Mapa Pedológico da área de estudo e adjacências. Fonte: FURRIER, 2007 (modificado de PARAÍBA, 2004).

Verifica-se que apesar de apresentarem composições distintas, solos arenosos e argilosos possuem condições em suas características físicas que os tornam vulneráveis a ocorrência de movimentos de massas. Os solos arenosos são bastante permeáveis e erodíveis, justificando assim, os elevados volumes de material geralmente removidos desse tipo de solo. Enquanto isso, os solos argilosos apresentam baixa permeabilidade e alta capacidade de retenção de água, provocando a rápida saturação do solo e por consequência, o aumento do peso específico dos seus componentes, o que pode contribuir para a instabilização do maciço.

Os solos aluviais são resultado do transporte de materiais através da ação de agentes naturais como a água e o vento, em geral encontrados próximo a rios. Possuem muito silte em sua composição e devido às suas propriedades físicas podem favorecer o risco de inundação.

### **3.1.4 Geologia e Geomorfologia**

No tocante à geologia, a Formação Barreiras é a unidade geológica de maior exposição na extensão geográfica do município. Trata-se de sedimentos clásticos, correspondente a arenitos, siltitos, argilitos e conglomerados, frequentemente lenticulares, em cores vivas e variadas, formando falésias, em grandes trechos e aflorando ao longo da costa, ocorrendo principalmente no litoral do Nordeste.

Com relação à geomorfologia, João Pessoa apresenta um relevo com predominância dos Baixos Planaltos Costeiros, superfícies tabulares planas com a presença de ondulações moderadas ou fortes, de curta a média extensão, que recobrem cerca de 97% do território pessoense. Os outros 21% da área em estudo são recobertos pelas Planícies Fluviais, formadas pela ação da água ou do vento nas proximidades de rios.

Ressalta-se que a ação humana, devido ao desenvolvimento e ocupação urbanística, interferiu na geomorfologia da cidade, provocando alterações na Formação Barreiras e contribuindo para o surgimento de encostas induzidas, criando um ambiente favorável a desastres.

## **3.2 COLETA DE DADOS**

### **3.2.1 Movimentos de massa**

O levantamento das ocorrências de escorregamentos foi realizado junto a Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil de João Pessoa (COMPDEC-JP), a qual mantém um banco de registros de desastres. Por meio do uso de fichas impressas os técnicos lançam inicialmente os dados da pessoa que comunicou a ocorrência, o local, a data e uma breve descrição do fato, e posteriormente cadastram essas informações em planilhas do excel. Após a vistoria da área pelos profissionais encarregados e tomada das providências cabíveis são elaborados relatórios técnicos com diagnósticos e considerações sobre os eventos ocorridos. Ressalta-se que os relatórios de vistoria técnica do período de estudo não foram disponibilizados, obteve-se acesso apenas às fichas em formato impresso ou em arquivo digital.

Com base no banco de ocorrências da COMPDEC-JP foram selecionados os eventos de deslizamentos de janeiro de 2014 à abril de 2018, identificando-se 88 casos cujas descrições continham os seguintes termos: barreira ameaça moradia, barreira ameaça muro, barreira ameaça condomínio, desabamento em canteiro de obras, barreira atingiu casa, deslizamento de

barreira, barreira deslizando e barreira. A distribuição espacial dos movimentos de massa registrados, por bairros de João Pessoa, é apresentada na Figura 18 abaixo.



Figura 18. Ocorrências de deslizamentos por bairro, em João Pessoa, no período de 2014 a 2018. Fonte: Elaborada pela Autora, segundo dados da COMPDEC-JP.

Os bairros mais afetados no intervalo de tempo analisado, em ordem decrescente de número de desastres, foram Roger, Alto do Mateus, Miramar, São José e Valentina, concentrando juntos 47 episódios de deslizamentos, pouco mais que a metade do total de ocorrências.

Verificou-se também que cerca de 82% dos fenômenos ocorridos (correspondente a 64 dos 88 eventos) se deram entre os meses de março a julho, meses caracterizados por elevados índices pluviométricos. Os meses de outubro e novembro, meses mais secos do ano, não apresentaram registros de ocorrências. A Figura 19 apresenta a distribuição temporal dos escorregamentos compreendidos entre 2014 e 2017.

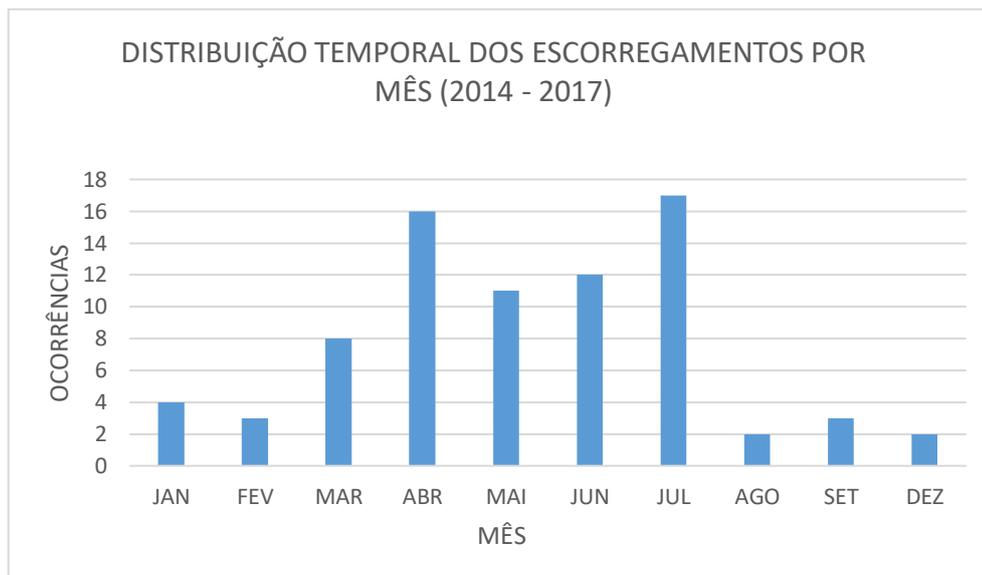


Figura 19. Ocorrências de deslizamentos por mês no período de 2014 a 2017, na cidade de João Pessoa. Fonte: Elaborada pela Autora, segundo dados da COMPDEC-JP.

Como várias causas podem estar relacionadas aos escorregamentos, para fins de realização deste estudo, efetuou-se a filtragem das informações, eliminando-se os casos que não estavam associados à precipitação. A análise das datas de ocorrência e dos respectivos dados pluviométricos foi um critério utilizado, descartando-se 23 eventos nos quais não houve registro de precipitação no dia do deslizamento ou no dia seguinte. Outro critério utilizado foi a pesquisa na mídia, buscando saber o que foi reportado sobre os demais movimentos de massa e suas possíveis causas. Sob essa ótica, descartou-se mais duas ocorrências, que foram desencadeadas por vazamentos de água.

Para os demais casos restantes, os quais não apresentaram registros na mídia, procedeu-se da seguinte maneira: eliminou-se os eventos isolados com precipitação diária menor que 50 mm e precipitação acumulada de 7 dias menor que 100 mm, concomitantemente, uma vez que ocorrências deflagradas para valores de chuva abaixo desses limites adotados tendem a estar mais associadas à ação antrópica, sendo a precipitação um agente preparatório. Ao final, a amostra a ser analisada contava com 31 eventos de escorregamentos, distribuídos em 18 datas distintas, possivelmente deflagrados pela ação da chuva.

Uma observação a ser feita é que um mesmo evento pode originar várias fichas de registro, pois mais de um cidadão pode ter a iniciativa de informar o órgão sobre a ocorrência. Além disso, a verificação de várias ocorrências em localidades distintas, em um mesmo dia,

pode ser um indicativo de processos ocasionados pela precipitação, por isso todos os eventos generalizados foram considerados.

A Tabela 7 mostra os escorregamentos que serão analisados neste trabalho e o local de ocorrência dos mesmos. As fichas de registros fornecidas pela COMPDEC-JP, com todas as ocorrências cadastradas no período de estudo, seguem no Anexo 1.

Tabela 7. Data e localização dos movimentos de massa possivelmente ocasionados pela chuva em João Pessoa.  
Fonte: Elaborada pela Autora, segundo dados da COMPDEC-JP.

<b>DATA</b>	<b>LOGRADOURO</b>	<b>BAIRRO</b>
14/05/2014	R. Maria Alice da Conceição	Tambiá
24/03/2015	R. Silva Mariz	Cruz das Armas
01/07/2015	R. da Barreira	São José
	R. Manoel Guerra	Oitizeiro
23/07/2015	R. Manuel Guedes da Silva	Cruz das Armas
27/07/2015	R. Carteiro Dorgival Lopes da Silva	Alto do Mateus
28/07/2015	R. Dr. Vital Brasil	Valentina
29/12/2015	R. Oswaldo Lemos	Rangel
16/04/2016	R. Trav. Ia Iá Amorim Coutinho	Miramar
	R. Marta da Luz	B. dos Novais
	R. Ari Barroso	Alto do Mateus
	R. Oswaldo Lemos	Rangel
	R. Fotógrafo Ernani Augusto	Roger
	R. Salvador de Albuquerque	Roger
18/04/2016	R. Saturnino de Brito	Trincheiras
	Conjunto Maria Sales	Ilha do Bispo
13/04/2017	R. Padre Ibiapino	Varadouro
	R. São Judas Tadeu	Alto do Mateus
09/05/2017	R. José Eduardo de Holanda	Cabo Branco
29/05/2017	R. São Judas Tadeu	Alto do Mateus
	R. São Vicente	Miramar
	BR 230 KM 19	Castelo Branco
29/06/2017	R. do Tambor	Cruz das Armas
	BR 230 KM 19	Castelo Branco
30/06/2017	R. Carteiro Dorgival Lopes da Silva	Alto do Mateus
21/07/2017	R. Leonardo Silva Pereira	Roger
28/07/2017	Av. Beira Rio	Miramar
	R. Monsenhor Coutinho	Roger
29/07/2017	R. Carteiro Dorgival Lopes da Silva	Alto do Mateus
13/04/2018	R. Pedro Ulisses	Roger
	R. Edmundo Filho	São José

Os escorregamentos isolados ocorreram em maioria, correspondendo a 61,11% dos deslizamentos cadastrados. Já os escorregamentos generalizados representaram 38,89%.

### 3.2.2 Pluviosidade

Inicialmente foram verificados os registros pluviométricos referentes às datas dos 88 casos de escorregamentos. As informações foram coletadas nos bancos de dados digitais da Agência Executiva de Gestão das Águas da Paraíba (AESA), do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), disponibilizadas via internet. A Tabela 8 apresenta a relação dos pluviômetros acessados e suas respectivas localizações, bem como o órgão responsável pelo monitoramento.

Tabela 8. Pluviômetros acessados da Grande João Pessoa: localização e órgão responsável. Fonte: Elaborada pela Autora.

Nome	Latitude	Longitude	Órgão
João Pessoa/INMET (82798)	-7,141	-34,851	INMET
João Pessoa/CEDRES	-7,217	-34,950	AESA
João Pessoa/DFAARA	-7,083	-34,830	AESA
João Pessoa/Mangabeira	-7,197	-34,813	AESA
João Pessoa/Marés	-7,156	-34,909	AESA
Bayeux/Bayeux	-7,130	-34,940	AESA
Cabedelo/Emater	-7,080	-34,850	AESA
João Pessoa/Cristo	-7,166	-34,882	CEMADEN
João Pessoa/Cuíá	-7,184	-34,859	CEMADEN
João Pessoa/Grotão	-7,185	-34,880	CEMADEN
João Pessoa/Altiplano	-7,148	-34,798	CEMADEN
João Pessoa/Tambauzinho	-7,124	-34,847	CEMADEN
João Pessoa/Manáira	-7,109	-34,837	CEMADEN
João Pessoa/Centro	-7,119	-34,886	CEMADEN

A princípio, a existência de 14 postos pluviométricos na Grande João Pessoa, permitiria uma regionalização espacial da análise da chuva, de acordo com a proximidade entre os postos e os locais de escorregamento. Entretanto, dentre as estações pluviométricas acima mencionadas, a estação 82798 do INMET foi considerada a mais representativa para a corrente pesquisa, devido à existência de dados para todo o período de interesse (2014 a 2018).

A partir das medidas de chuva acumulada, que são realizadas diariamente às 12:00h, calculou-se a precipitação acumulada de 7 dias para todas as datas de ocorrência e também dos dias em que não houve registros, a fim de inserir esses pontos na curva de correlação elaborada

por SOARES & RAMOS FILHO (2014). Na Tabela 9, estão dispostos os números adquiridos para os eventos selecionados após a filtragem das informações.

Tabela 9. Precipitação Diária e Acumulada de 7 dias para as datas com ocorrência. Fonte: Elaborada pela Autora, segundo dados da estação 82798 do INMET.

<b>Dias com Ocorrência</b>		
<b>Data</b>	<b>Precipitação (mm)</b>	
	<b>Diária</b>	<b>7 dias</b>
14/05/2014	75,5	25
24/03/2015	65,2	133,8
01/07/2015	24,2	157,4
23/07/2015	32,4	120
27/07/2015	59	96,2
28/07/2015	23,8	150,6
29/12/2015	87,4	58,6
16/04/2016	147,4	15,3
18/04/2016	41,4	276,1
13/04/2017	71	55,5
09/05/2017	50,8	137,6
29/05/2017	135	27,2
29/06/2017	60,4	115,4
30/06/2017	45,7	174,5
21/07/2017	96,4	32,9
28/07/2017	119,8	118,8
29/07/2017	48,8	142,2
13/04/2018	33,8	109,9

### **3.3 ESPACIALIZAÇÃO DOS MOVIMENTOS DE MASSA E DOS PLUVIÔMETROS**

Por meio da utilização do Google Maps, serviço de pesquisa e visualização de mapas e imagens de satélite da Terra, foi possível mapear os pluviômetros com um elevado grau de precisão a partir do conhecimento das coordenadas (latitude e longitude). A localização dos movimentos de massa, por sua vez, não teve a mesma exatidão que os pluviômetros, pois algumas fichas de registro não especificaram o ponto exato do acontecimento, apenas a rua. O Apêndice A, traz o posicionamento das estações pluviométricas analisadas e dos eventos de deslizamento selecionados para o estudo, no mapa da Grande João Pessoa.

### 3.4 ANÁLISE DE DADOS

Foram lançados na curva de correlação para precipitação acumulada de 7 dias, desenvolvida por SOARES & RAMOS FILHO (2014), todos os casos selecionados de ocorrência e os casos de não ocorrência de deslizamentos durante o período de janeiro de 2014 à abril de 2018, como mostra a Figura 20. As 18 novas datas com registro correspondem aos asteriscos em vermelho, enquanto os losangos em verde equivalem aos novos dias sem registro. Já os triângulos azuis e os pontos amarelos representam, respectivamente, os casos de ocorrência e os casos de não ocorrência compreendidos entre 2008 e 2013, cadastrados pelos autores acima citados.

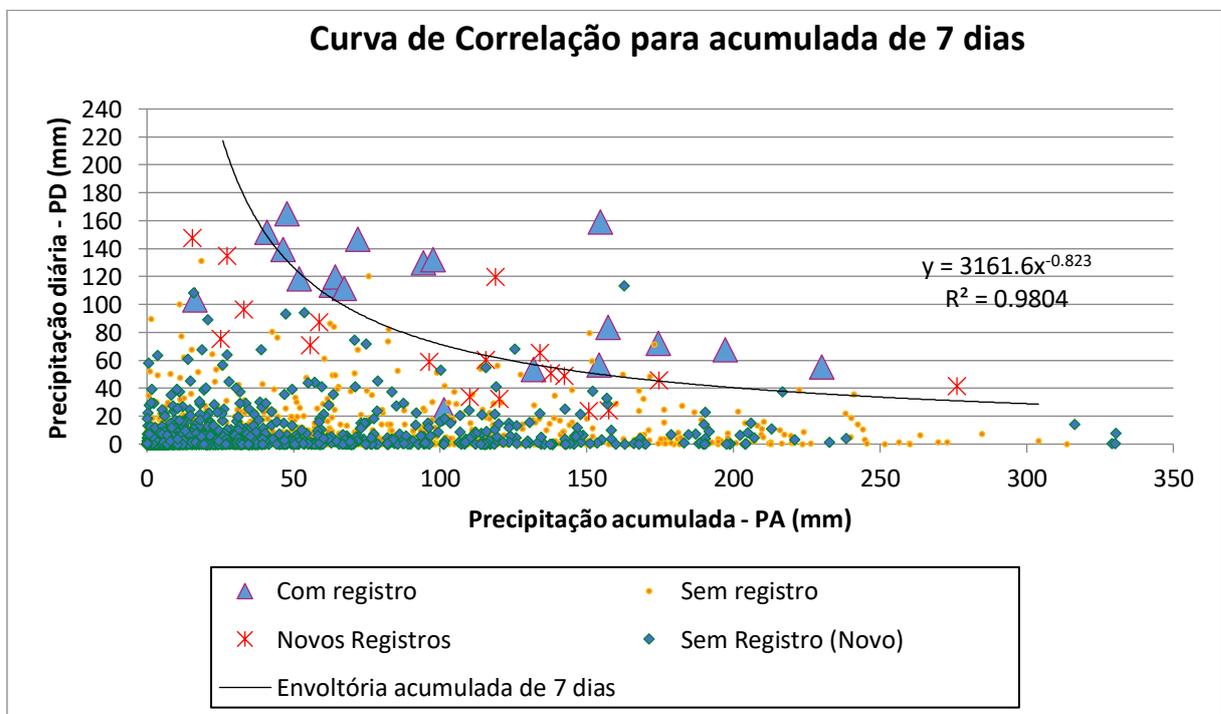


Figura 20. Curva de correlação para acumulada de 7 dias desenvolvida por SOARES & RAMOS FILHO (2014) acrescida dos novos casos de ocorrência e não ocorrência de deslizamentos. Fonte: SOARES & RAMOS FILHO, 2014 (modificada pela Autora).

Analisando o resultado obtido, verificou-se que até um limiar de 100 mm de precipitação acumulada de 7 dias houve uma maior dispersão dos novos registros inseridos e os mesmos apresentaram-se abaixo da curva. Acima do valor de 100 mm de chuva acumulada, observou-se uma maior proximidade dos pontos em relação à linha de tendência, registrando-se eventos que obedeceram à correlação estabelecida pelos autores.

De um modo geral, foi possível observar que enquanto 10% das ocorrências entre 2008 e 2013 estão abaixo da curva, cerca de 62% dos novos registros encontram-se na parte inferior do gráfico. Entre as possíveis causas para essa quantidade de novas ocorrências fora da curva, podemos elencar:

- a) A precipitação foi a causa do movimento de massa, mas devido a um possível erro de leitura, não foi devidamente observada na estação selecionada para o estudo;
- b) A precipitação teve um efeito preparatório, mas a instabilidade do terreno foi induzida por causas antrópicas, uma vez que os eventos cadastrados ocorreram exclusivamente em áreas ocupadas;
- c) A precipitação pode ter sido a verdadeira causa do escorregamento, mas houve uma defasagem entre a deflagração do processo e à comunicação à COMPDEC-JP, de modo que a data em que foi realizado o registro e a data do escorregamento não coincidem, ocasionando uma associação errônea entre os dados dos deslizamentos e da precipitação;
- d) A necessidade de elaboração de uma nova curva que englobe todas as ocorrências a partir de 2008, uma vez que a suscetibilidade a escorregamentos em algumas áreas do município pode ter aumentado, alterando a quantidade de precipitação acumulada de 7 dias e de chuva diária requerida para desencadear movimentos de massa.

Apesar de um número elevado de novas ocorrências ter sido observado abaixo da curva, os casos que obedeceram a equação de correlação desenvolvida por SOARES & RAMOS FILHO (2014) demonstram que poderiam ser previstos caso a Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil de João Pessoa (COMPDEC-JP) utilizasse a curva dos autores mencionados para o monitoramento de risco de acidentes.

O evento ocorrido no dia 24/03/2015, em Cruz das Armas, é um exemplo que confirma que se houvesse esse gerenciamento, o acompanhamento da precipitação acumulada de 7 dias nos dias anteriores ao desastre, permitiria quantificar a chuva necessária para provocar os escorregamentos, sendo uma forma de alerta para a população local. As Figuras de 21 a 28 mostram, na curva de correlação para acumulada de 7 dias, o comportamento pluviométrico desde sete dias antes da deflagração efetiva até o dia da ocorrência.

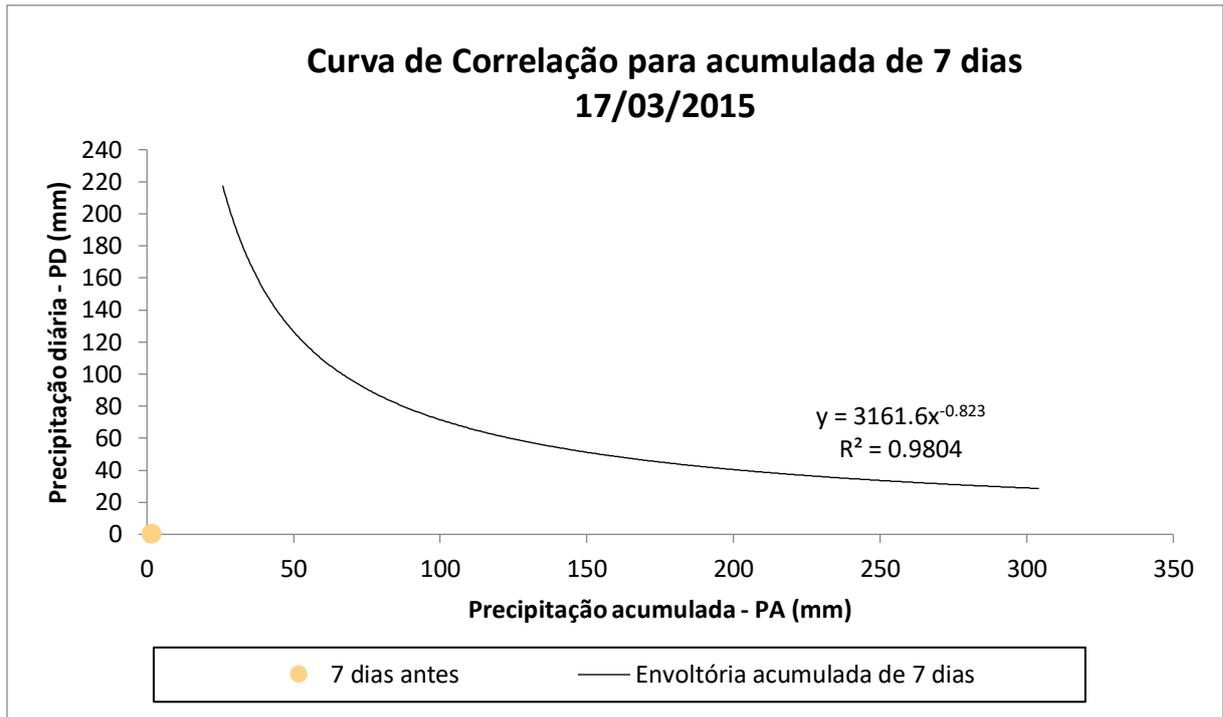


Figura 21. Comportamento da precipitação acumulada de 7 dias e da precipitação diária sete dias antes da ocorrência de 24/03/2015, em Cruz das Armas. Fonte: SOARES & RAMOS FILHO, 2014 (modificada pela Autora).

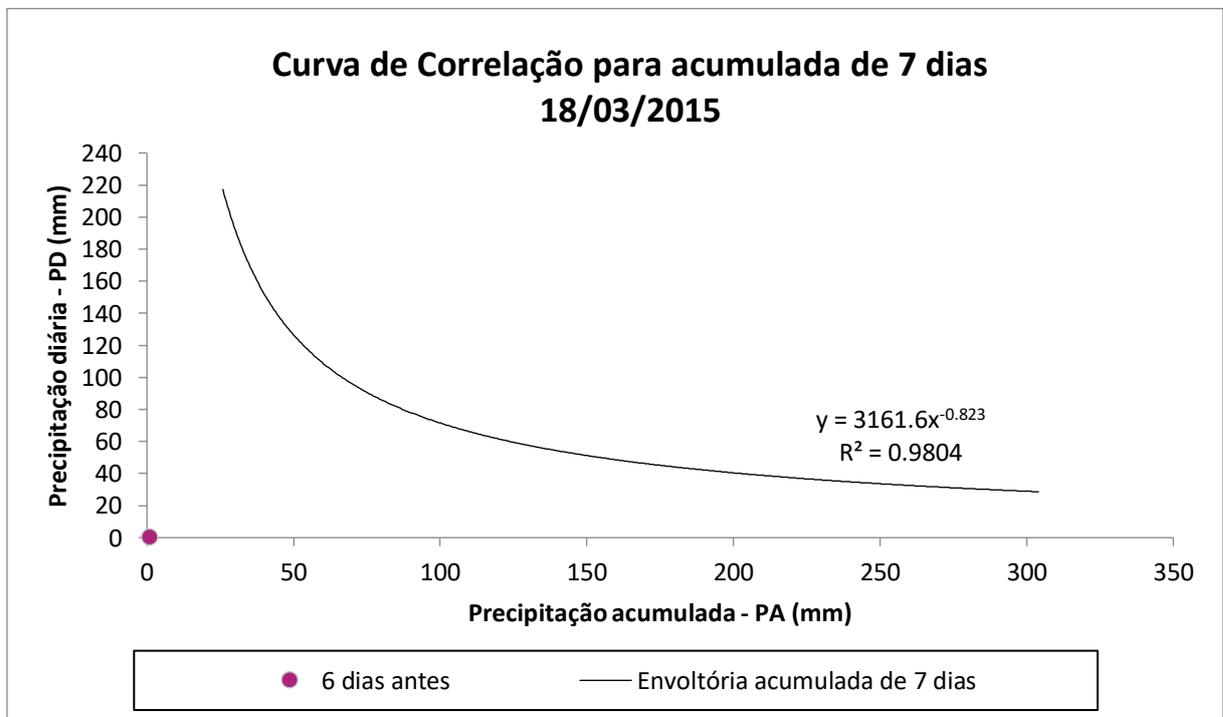


Figura 22. Comportamento da precipitação acumulada de 7 dias e da precipitação diária seis dias antes da ocorrência de 24/03/2015, em Cruz das Armas. Fonte: SOARES & RAMOS FILHO, 2014 (modificada pela Autora).

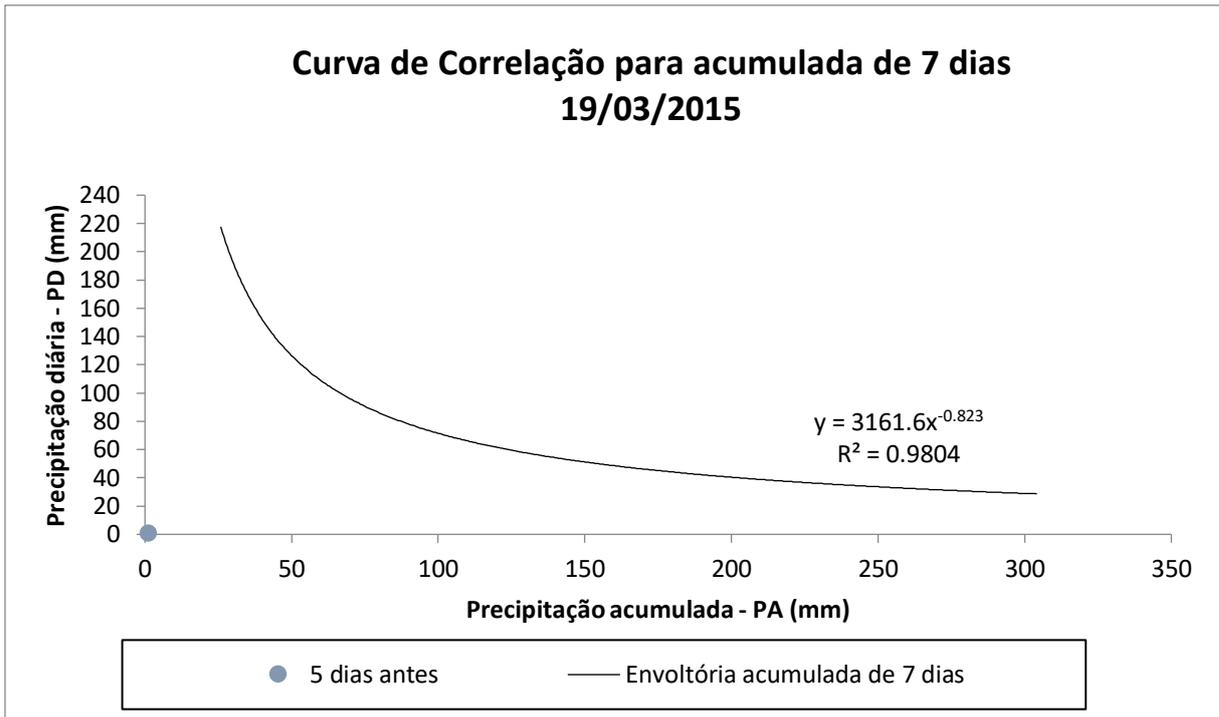


Figura 23. Comportamento da precipitação acumulada de 7 dias e da precipitação diária cinco dias antes da ocorrência de 24/03/2015, em Cruz das Armas. Fonte: SOARES & RAMOS FILHO, 2014 (modificada pela Autora).

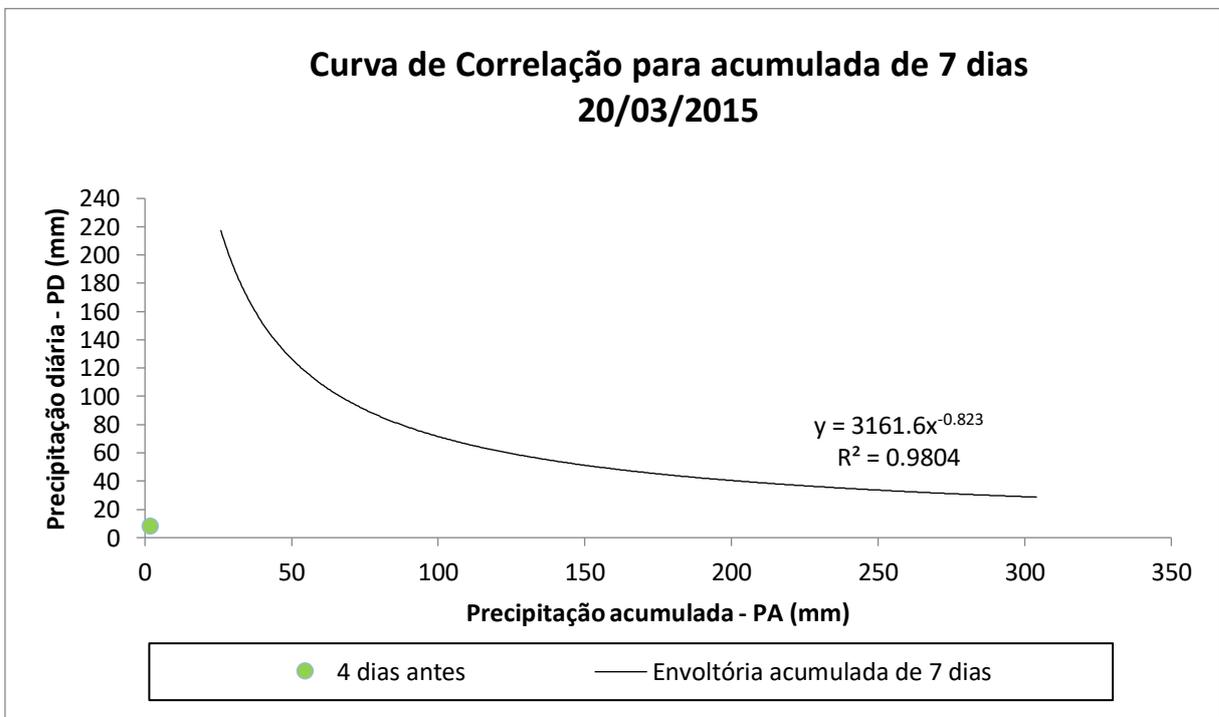


Figura 24. Comportamento da precipitação acumulada de 7 dias e da precipitação diária quatro dias antes da ocorrência de 24/03/2015, em Cruz das Armas. Fonte: SOARES & RAMOS FILHO, 2014 (modificada pela Autora).

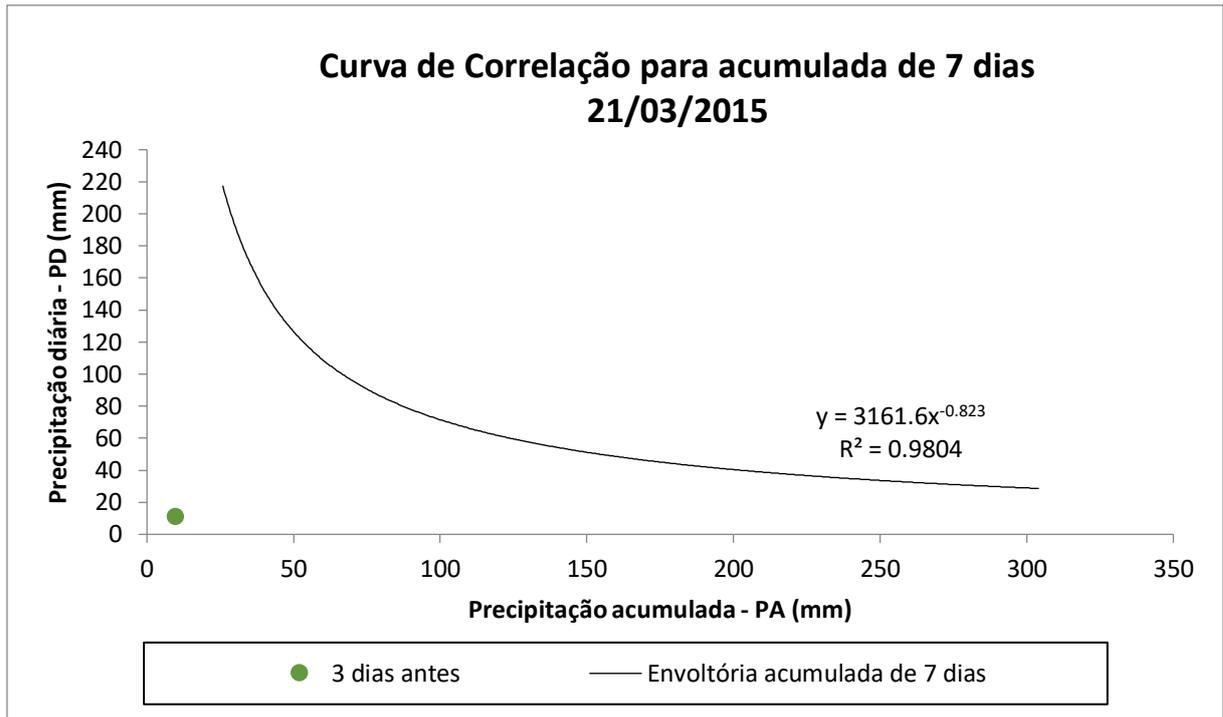


Figura 25. Comportamento da precipitação acumulada de 7 dias e da precipitação diária três dias antes da ocorrência de 24/03/2015, em Cruz das Armas. Fonte: SOARES & RAMOS FILHO, 2014 (modificada pela Autora).

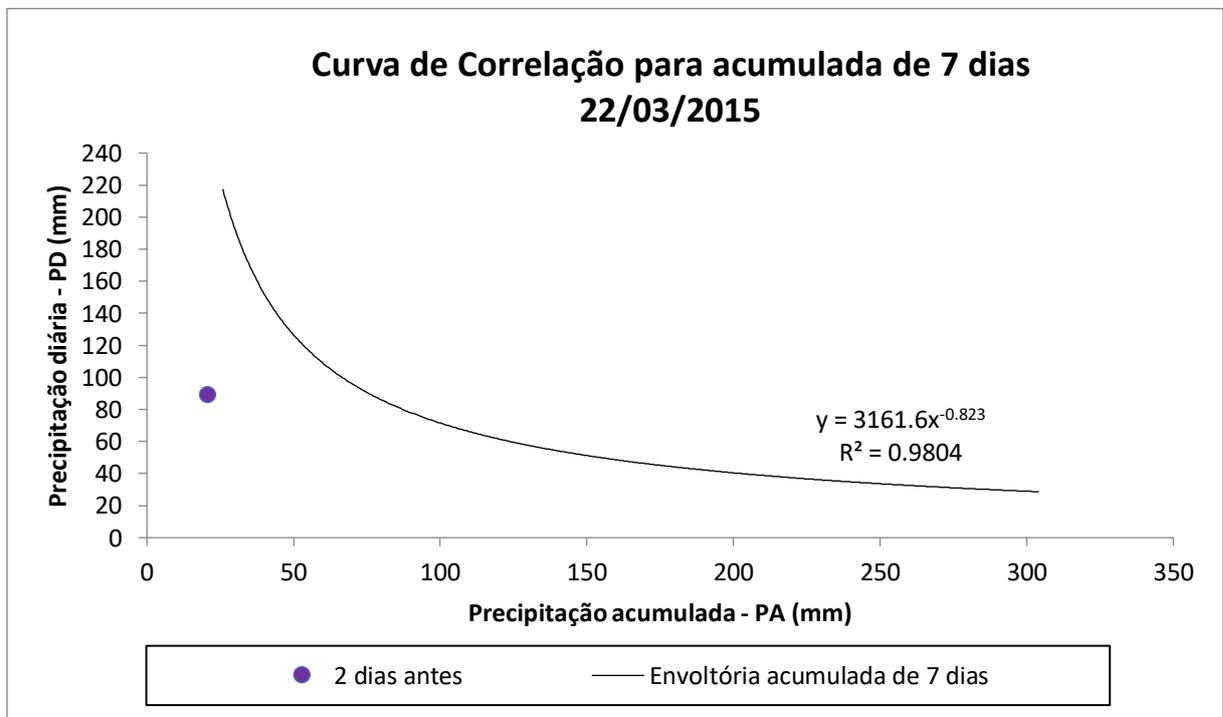


Figura 26. Comportamento da precipitação acumulada de 7 dias e da precipitação diária dois dias antes da ocorrência de 24/03/2015, em Cruz das Armas. Fonte: SOARES & RAMOS FILHO, 2014 (modificada pela Autora).

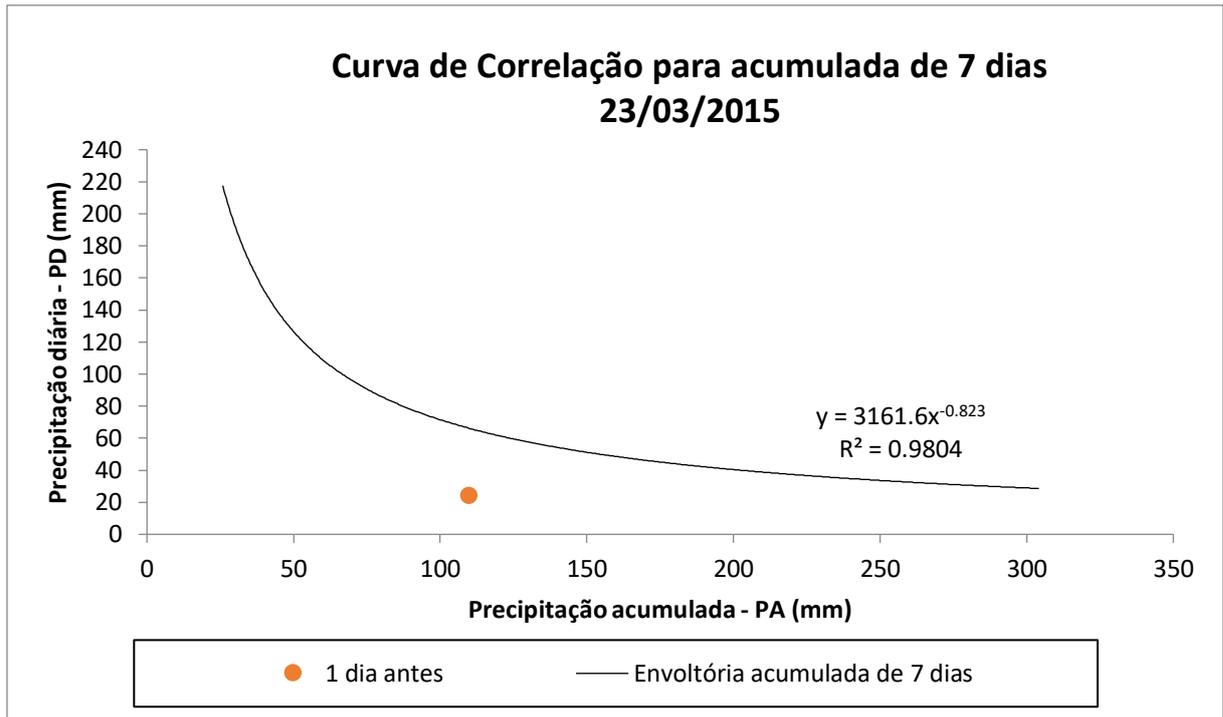


Figura 27. Comportamento da precipitação acumulada de 7 dias e da precipitação diária um dia antes da ocorrência de 24/03/2015, em Cruz das Armas. Fonte: SOARES & RAMOS FILHO, 2014 (modificada pela Autora).

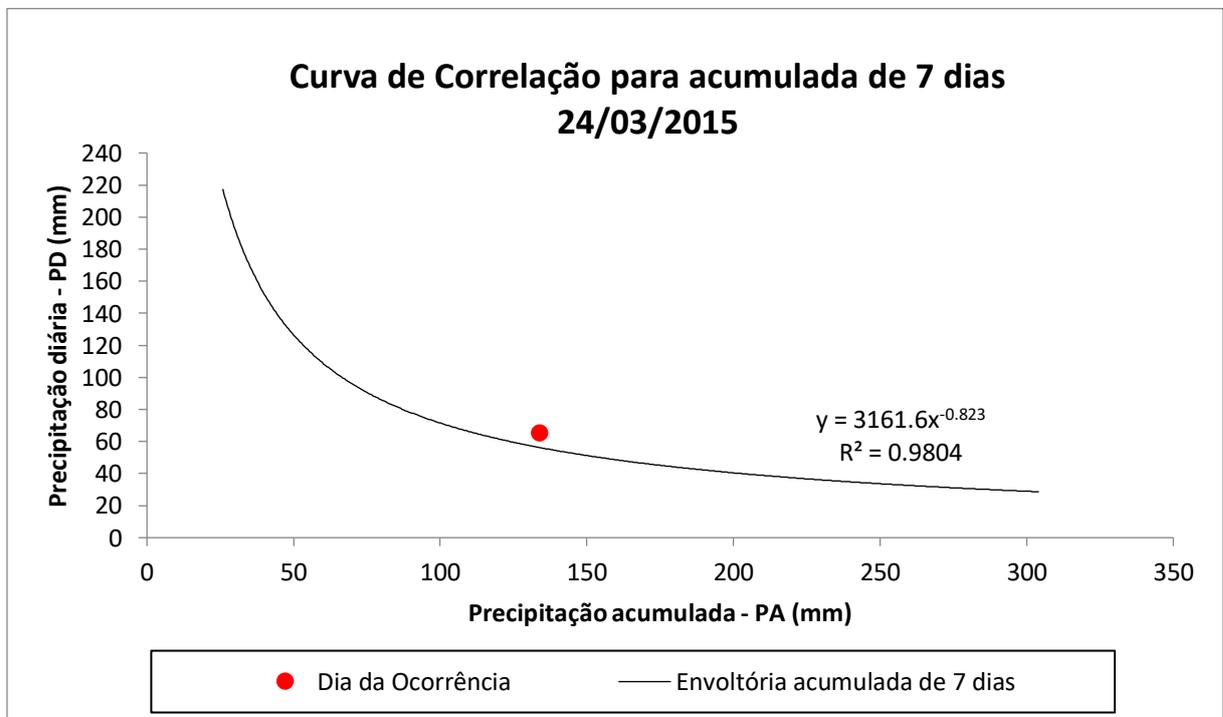


Figura 28. Comportamento da precipitação acumulada de 7 dias e da precipitação diária no dia da ocorrência (24/03/2015), em Cruz das Armas. Fonte: SOARES & RAMOS FILHO, 2014 (modificada pela Autora).

Analisando os gráficos acima, verifica-se que dos sete aos três dias antecedentes ao evento, os valores de precipitação acumulada de 7 dias e de precipitação diária foram muito baixos e os pontos apresentaram-se bem distantes da linha de tendência, demonstrando que ainda não havia indicativo de um possível episódio de movimento de massa.

De acordo com a equação de correlação de SOARES & RAMOS FILHO (2014), dois dias antes do desastre, em 22/03/2015, já seria possível observar que para uma precipitação acumulada de 7 dias de 20,7 mm, uma chuva diária de 261,13 mm desencadearia o evento, criando uma situação de alerta. Um dia antes do deslizamento, em 23/03/2015, para uma precipitação acumulada de 7 dias de 109,7 mm, uma chuva mínima de 66,19 mm ocasionaria o processo de deslizamento.

No dia exato da ocorrência (24/03/2015), havia uma precipitação acumulada de 7 dias de 133,80 mm, sendo necessária apenas uma chuva diária de 56,21 mm para que a deflagração ocorresse. Nesse mesmo dia, o registro pluviométrico foi de 65,20 mm, o que justifica o acidente. A Figura 29 apresenta a trajetória evolutiva da precipitação nos sete últimos dias antes do escorregamento mencionado e também na data do acontecido, evidenciando que com o decorrer dos dias os pares de precipitação acumulada de 7 dias e de precipitação diária se aproximaram cada vez mais da curva.

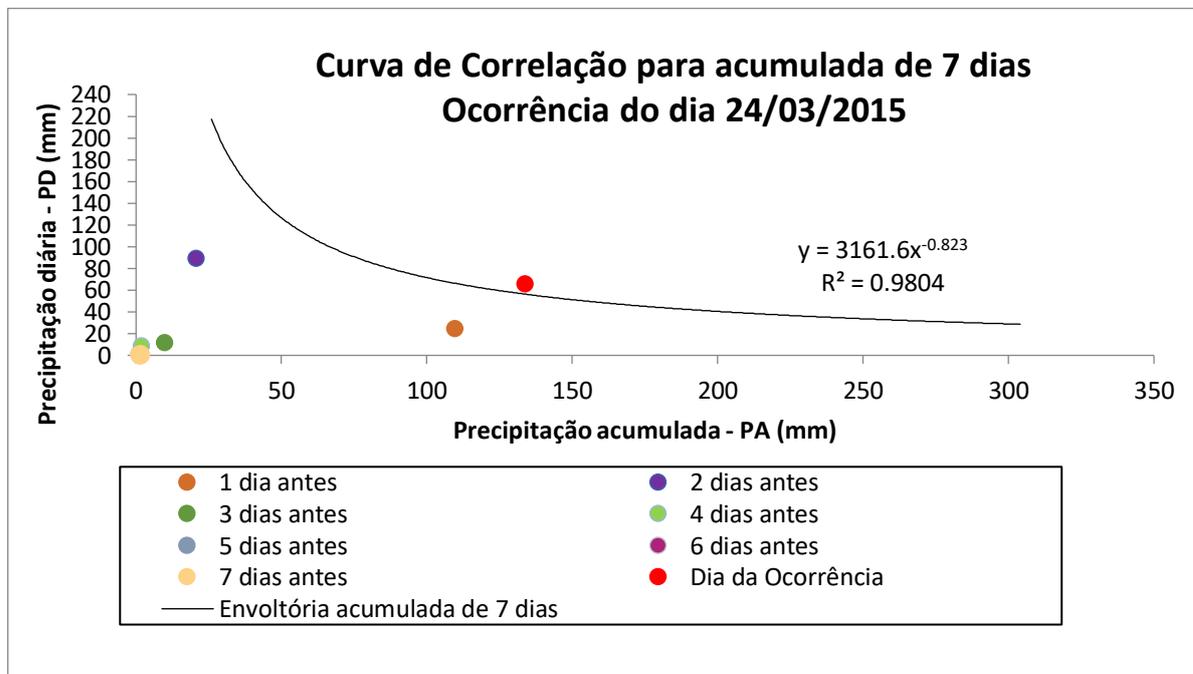


Figura 29. Trajetória evolutiva da precipitação dos sete últimos dias antes do escorregamento até o dia da ocorrência (24/03/2015), em Cruz das Armas. Fonte: SOARES & RAMOS FILHO, 2014 (modificada pela Autora).

Na Tabela 10 pode-se observar a precipitação acumulada de 7 dias e a quantidade de chuva diária requerida para o acontecimento de deslizamentos, segundo a equação de correlação de SOARES & RAMOS FILHO (2014), nas datas anteriores ao evento do dia 24/03/2015, em Cruz das Armas, e no próprio dia da ocorrência.

Tabela 10. Precipitação Acumulada de 7 dias e quantidade de chuva diária requerida para o acontecimento de deslizamentos no dia 24/03/2015 e nos sete dias anteriores, em Cruz das Armas. Fonte: Elaborada pela Autora, segundo a equação de correlação de SOARES & RAMOS FILHO (2014).

DATA	PRECIPITAÇÃO ACUMULADA DE 7 DIAS (mm)	CHUVA DIÁRIA REQUERIDA (mm)
17/03/2015	1,50	2264,56
18/03/2015	0,90	3447,98
19/03/2015	1,30	2547,60
20/03/2015	1,80	1949,03
21/03/2015	9,80	483,20
22/03/2015	20,70	261,13
23/03/2015	109,70	66,19
24/03/2015	133,80	56,21

É válido salientar que os escorregamentos cadastrados por SOARES & RAMOS FILHO (2014) foram obtidos a partir da mídia, devido à ausência de informações na COMPDEC-JP na época, e por isso podem existir escorregamentos ocorridos no período de estudo destes autores que não foram cadastrados, o que talvez tenha interferido no traçado da linha de tendência. Além disso, os valores de chuva acumulada que influenciam no processo de instabilização dos taludes, podem variar ao decorrer dos anos. Daí vem a necessidade de ampliar a amostra de dados e elaborar uma curva mais representativa e confiável, que englobe todas as ocorrências a partir de 2008. A Figura 30 traz uma nova envoltória para acumulada de 7 dias, com os dados de deslizamento de janeiro de 2008 à abril de 2018.

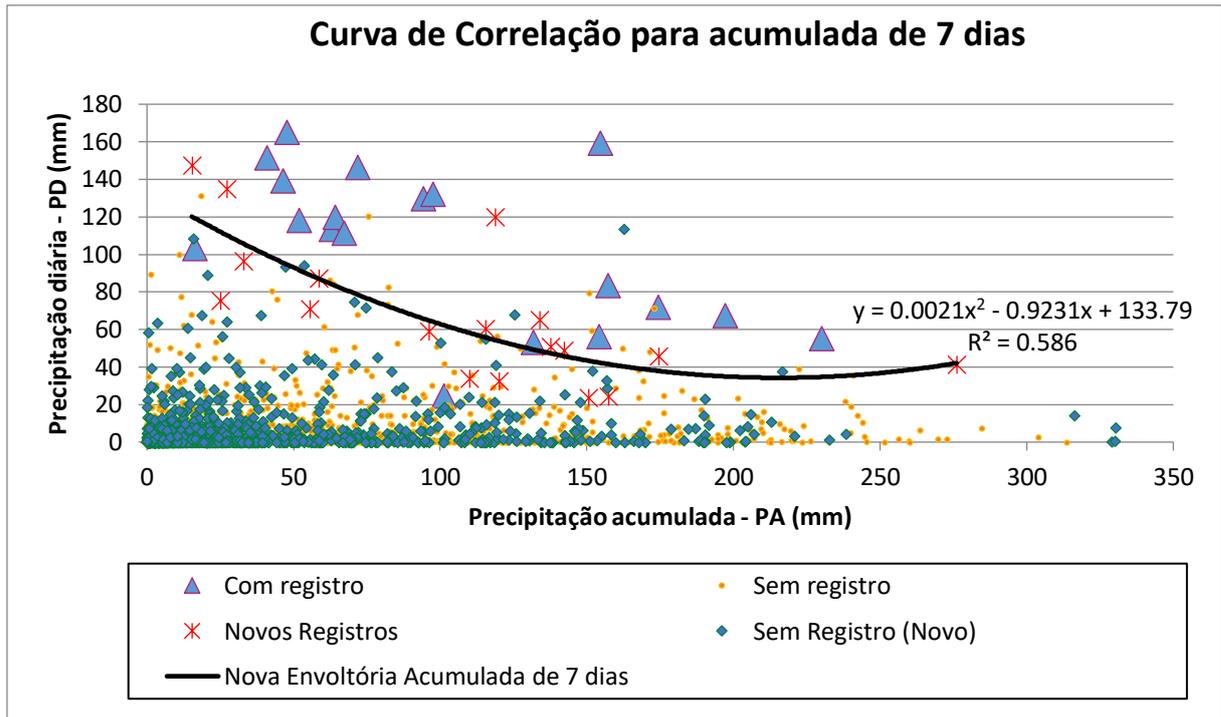


Figura 30. Nova curva de correlação para acumulada de 7 dias, englobando dados de janeiro de 2008 à abril de 2018. Fonte: Elaborada pela Autora.

A nova curva traçada é do tipo polinomial, apresentando coeficiente de correlação  $R^2 = 0,586$ ; e a relação numérica obtida foi a seguinte:  $PD = 0,0021x(PA)^2 - 0,9231x(PA) + 133,79$ , onde  $PD$  é a precipitação diária e  $PA$  é a precipitação acumulada de 7 dias.

Vizualizando o gráfico exposto na Figura 30, pode-se inferir que ainda não há uma separação nítida entre os pontos com e sem escorregamentos. Entretanto, a quantidade de novos registros que estão situados na parte inferior da linha de tendência caiu para 33,33%, número consideravelmente menor; já as ocorrências compreendidas entre 2008 e 2013 que encontram-se abaixo da curva, permanecem em 10%. Em termos gerais, 21,62% das ocorrências localizam-se abaixo da curva.

Observa-se também alguns pontos acima da curva que não estão associados aos escorregamentos. Mas, de um modo geral, a grande parte dos dados de precipitação referentes às datas sem ocorrências localiza-se abaixo da linha de tendência, representando uma área de menor suscetibilidade a escorregamentos na cidade de João Pessoa.

Nos dados de escorregamentos analisados no novo diagrama, os casos de eventos isolados ocorreram para precipitações diárias a partir de 151,6 mm e acumulada de 7 dias a partir de 40,9 mm, ou ainda, a partir de uma chuva diária de 41,4 mm e acumulada de 7 dias a

partir de 276,1 mm. Os eventos de escorregamentos generalizados ocorreram a partir de chuvas diárias de 147,4 mm e acumulada de 7 dias de 15,3 mm ou ainda a partir de chuva diárias de 60,4 mm e acumulada de 7 dias de 115,4 mm. Esses resultados demonstram que realmente houve uma certa alteração nos valores de precipitação que deflagram os movimentos de massa, ocasionando uma mudança em relação ao formato da curva original.

A Figura 31 apresenta as duas envoltórias desenvolvidas para a acumulada de 7 dias. É possível notar que as curvas não são tão semelhantes entre si: a elaborada por SOARES & RAMOS FILHO (2014) é do tipo potencial, enquanto a nova linha de tendência obedece a uma função polinomial. Consta-se que a nova envoltória aponta um resultado mais satisfatório para todo o intervalo de tempo analisado (2008 a 2018), por abarcar uma maior quantidade de pontos do espaço amostral, apesar de algumas ocorrências ainda encontrarem-se abaixo da curva.

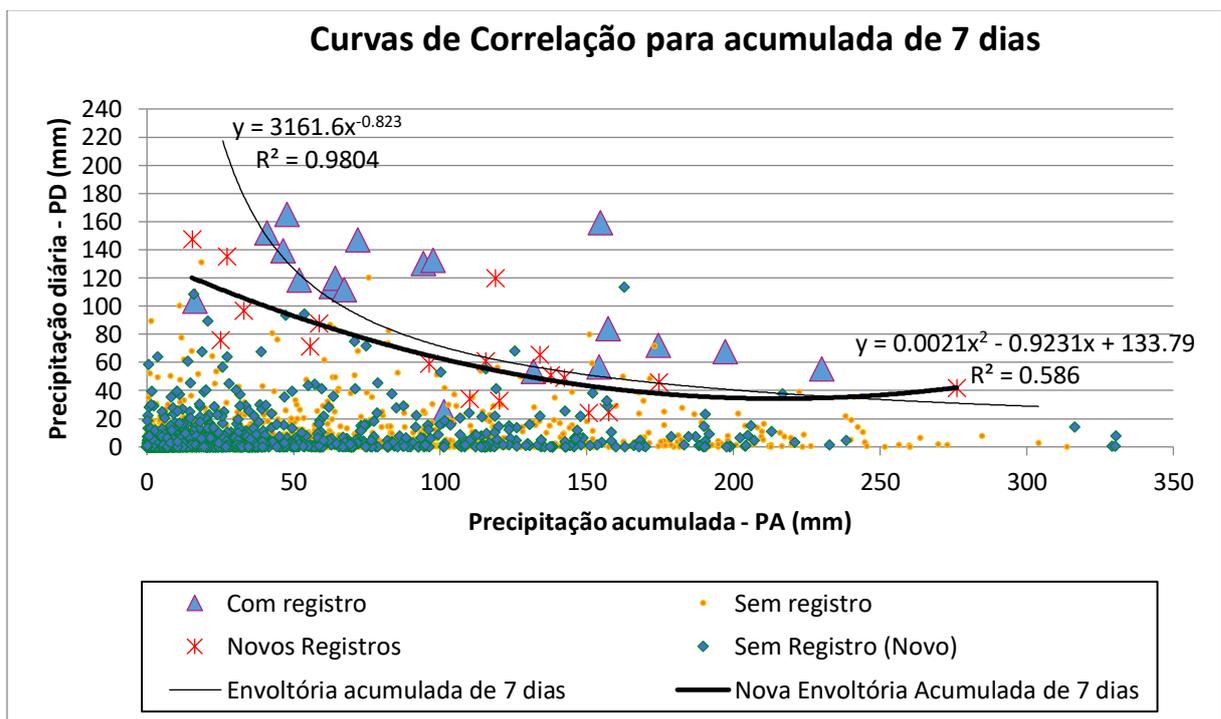


Figura 31. Curvas de Correlação para acumulada de 7 dias. Fonte: SOARES & RAMOS FILHO, 2014 (modificada pela Autora).

Assim, a nova curva estabelecida apresenta-se mais confiável para ajudar a Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil (COMPDEC-JP) no monitoramento de chuvas acumuladas de 7 dias e na realização de ações preventivas para possíveis ocorrências de movimentos de massa nas áreas consideradas de risco.

Deve-se ressaltar, entretanto, que a ocupação e o uso desordenado do solo, na cidade de João Pessoa, acabam influenciando os resultados empíricos que relacionam precipitação e escorregamentos, pois muitos eventos podem estar mais relacionados a processos induzidos do que a naturais e por isso apresentam-se como pontos fora da curva.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos objetivos iniciais traçados para este trabalho, foi possível verificar que a precipitação apresenta grande importância no desencadeamento dos episódios de deslizamento, apesar de existirem inúmeros fatores e agentes condicionantes para influenciar esses processos. Com isso, a averiguação da relação entre pluviosidade e movimentos de massa em uma determinada região fornece critérios objetivos para a avaliação de riscos, proporcionando um ganho de previsibilidade deste tipo de acidente.

Através da análise dos registros de ocorrências de deslizamentos na cidade de João Pessoa, coletados junto à Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil (COMPDEC-JP), foi possível observar que cerca de 84% dos eventos ocorridos de janeiro de 2014 à abril de 2018 se deram em meses caracterizados por elevados índices pluviométricos. A atualização do banco de dados de movimentos de massa que tem como principal agente deflagrador a chuva, também permitiu destacar que os escorregamentos isolados ocorreram em maioria, correspondendo a 61,11% dos casos selecionados para o estudo, enquanto os escorregamentos generalizados representaram 38,89%.

Os testes de correlação realizados por SOARES & RAMOS FILHO (2014) utilizando dados diários de precipitação do intervalo de tempo de 2008 a 2013, ressaltaram a importância da investigação da chuva acumulada nos sete dias anteriores ao desastre para o monitoramento e prevenção de riscos de deslizamento em João Pessoa. A ampliação da amostra inicial dos autores, com a inserção dos dados de movimento de massa e de precipitação do período compreendido entre janeiro de 2014 e abril de 2018, possibilitou a avaliação da confiabilidade da curva por eles elaborada. Assim, verificou-se que aproximadamente 62% dos novos registros situaram-se abaixo da curva, observando-se o intervalo mais confiável acima do valor de 100 mm para precipitação acumulada de 7 dias, que corresponde à área do gráfico onde as novas ocorrências inseridas apresentaram-se mais próximas e em alguns casos, acima da linha de tendência.

Desse modo, percebe-se que o diagrama de dispersão de SOARES & RAMOS FILHO (2014) poderia ser um instrumento eficaz para auxiliar a COMPDEC-JP na previsão de eventos de escorregamento ocorridos a partir de 2014, mesmo que limitado a uma determinada faixa de valores de precipitação acumulada de 7 dias. Entretanto, diante da quantidade de novos registros abaixo da linha de tendência e considerando-se que os valores de chuva acumulada que

interferem na estabilidade dos maciços pode sofrer alterações ao longo do tempo, a extensão do estudo desses autores no decorrer dos últimos anos, permitiu a elaboração de uma curva mais representativa, englobando todas as ocorrências a partir de 2008. A nova equação obtida, a qual pode ser utilizada de maneira ainda mais efetiva no monitoramento das áreas de risco da cidade, foi a seguinte:  $PD = 0,0021x(PA)^2 - 0,9231x(PA) + 133,79$ , sendo  $PD$  a precipitação diária do dia do escorregamento e  $PA$  a precipitação acumulada de 7 dias, excluindo-se a precipitação do dia do acidente.

Uma observação a ser feita é que apesar da nova envoltória apresentar um resultado mais satisfatório para todo o intervalo de tempo analisado, alguns pontos ainda localizaram-se abaixo da curva, o que pode estar relacionado à ação antrópica, caso em que a chuva atua como agente predisponente e não deflagrador. Além disso, enfatiza-se que a análise utilizando apenas a precipitação acumulada de 7 dias foi realizada para fins comparativos e avaliativos do estudo de SOARES & RAMOS FILHO (2014) e que talvez uma correlação que faça uso de mais dias de chuva acumulada apresente um melhor resultado, com uma separação mais evidente entre os dias com registro de acidente e as datas sem ocorrência.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AESA, Agência Executiva de Gestão das Águas da Paraíba. **Meteorologia – Chuvas**. Disponível em: < <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas/> >. Acesso em: 04 de maio de 2018.

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/PCRJ, 1992. v. 2, p.721.

AUGUSTO FILHO, O. **Carta de riscos de escorregamentos quantificada em ambiente de SIG como subsídio para implantação de seguro em áreas urbanas: um ensaio em Caraguatuba (SP)**. 196p. Tese de Doutorado em Geociências e Meio Ambiente – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

BOZZANO F.; FLORIS, M.; POLEMIO, M. **Rainfall as triggering factor of slope movements in Southern Italy: Montalbano Jonico case record**. In: CONGRESS OF INTERNACIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY,8.,1998, Vancouver. Proceedings...Balkema Rotterdam, 1998, p.1889-96.

BRAND, E.W.; PREMCHITT, J.; PHILLIPSON, H. B. **Relationship between rainfall and landslides in Hong Kong**. In: INTERNACIONAL SYMPOSIUM ON LANDSLIDES, 4., 1984. Proceedings...Toronto, 1984, v.1, p.377-84.

BRASIL, Ministério das Cidades. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios**. Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007.

CASTRO, J. M. G. **Pluviosidade e Movimentos de Massa nas Encostas de Ouro Preto**. 138p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2006.

CEMADEN, Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais. **Dados de Estações Pluviométricas**. Disponível em: < <http://www.cemaden.gov.br/mapainterativo/> >. Acesso em: 04 de maio de 2018.

CERRI, L. E. S. **Riscos geológicos associados a escorregamentos: uma proposta para prevenção de acidentes.** 197p. Tese de Doutorado em Geociências e Meio Ambiente – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1993.

ELBACHÁ, A. T., CAMPOS, L. E. P.; BAHIA, R. F. C. **Tentativa de correlação entre precipitação e escorregamentos na cidade de Salvador.** In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE TALUDES DE ENCOSTAS, 1, 1992, Rio de Janeiro, RJ. Anais ... Rio de Janeiro: ABMS, 1992. p.647-56.

FEIJÓ, L. F.; PAES, N. M.; D'ORSI, R. N. **Chuvvas e movimentos de massa no município do Rio de Janeiro.** In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 3., 2001, Rio de Janeiro, RJ. Anais...Rio de Janeiro: ABMS, 2002, p.223-30.

FUKUOKA, M. **Landslides associated with rainfall.** Geotechnical Engineering, Bankok, v.2, p.1-29,1980.

FURRIER, M. **Caracterização Geomorfológica e do Meio Físico da Folha de João Pessoa – 1:1000.000.** 213p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geografia Física, Departamento de Geografia - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

GUIDICINI, G; IWASA, O. Y. **Tentative correlation between rainfall and landslides in a humid tropical environment.** Bulletin International Association Engineering Geology, Krefeld, v.16, p.13-20, 1977.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação.** São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1984.

GUSMÃO FILHO, J. A.; JUCÁ, J. F. T.; JUSTINO DA SILVA, J. M. **Groundwater effects in the moving mechanisms in the hills of Olinda, Brazil.** In: EUROPEAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING , 9., 1987. Proceedings... Irlanda: ISSMFE, 1987, v.1, p. 431-434.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades, João Pessoa.** Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/joao-pessoa/panorama> >. Acesso em: 15 de abril de 2018.

IDE, F. S. **Escorregamento, Meteorologia e Precipitação: uma proposta de método de investigação para a prevenção e monitoramento de riscos, aplicados em Campinas/SP.**

2005. 154p. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Campinas, 2005.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep> >. Acesso em: 04 de maio de 2018.

IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Banco de acidentes com vítimas fatais associados a escorregamentos**. São Paulo: IPT, 2017. Disponível em: < [http://www.ipt.br/noticias\\_interna.php?id\\_noticia=1190](http://www.ipt.br/noticias_interna.php?id_noticia=1190) >. Acesso em: 10 de março de 2018.

KAY, J. N.; CHEN, T. **Rainfall-landslide relationship for Hong Kong**. Proc. IC. Geotechnical Engineering, Bangkok, v.113, p.117-18, Apr. 1995.

KORMANN, A. C. M.; SESTREM, L. P.; PRETTO, J. H. F. **Comportamento de Encostas no Estado de Santa Catarina: Revisão de Mecanismos Geológico-Geotécnicos e Estudo de Caso**. In: IX SIMPÓSIO DE PRÁTICA DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA DA REGIÃO SUL - GEO SUL, 2013, Criciúma. Disponível em: < <https://www.abms.com.br/links/bibliotecavirtual/geosul2013criciuma/2013-kormann-sestrem.pdf> >. Acesso em: 25 de abril de 2018.

LUMB, P. **Slope failures in Hong Kong**. Quarterly Journal of Engineering Geology, London, v.8, p.31-35, 1975.

MOLINA, E. A. N.; CARDOSO, A. O.; NOGUEIRA, F. R. **Relação Precipitação - Deslizamento no Município de São Bernardo do Campo**. Ciência e Natura, Santa Maria, v.37, p.46-54, 2015.

MORAIS, G. S. **Mapeamento de área em risco de deslizamento e análise de estabilidade de encosta na cidade de João Pessoa – PB**. 72p. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

PEREIRA, M. D. P. **As chuvas na cidade de João Pessoa: uma abordagem genética**. 93p. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Geociências, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.

PEREIRA, N. N. T. **Proposta de metodologia para mapeamento de risco geológico – geotécnico de escorregamentos em João Pessoa – PB**. 57p. Trabalho de Conclusão de Curso

- Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

PICHLER, E. **Aspectos Geológicos dos escorregamentos de Santos**. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 69-77, 1957.

RAMOS FILHO, G. M. **Correlação entre Movimentos de Massa e Pluviosidade nas Encostas de João Pessoa/PB**. 63p. Trabalho de Conclusão de Curso - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.

SILVA, X. A. S. **Mapeamento de Áreas de Risco na Cidade de João Pessoa: comunidades Riachinho e Santa Clara, João Pessoa, PB**. 65p. Trabalho de Conclusão de Curso - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.

SOARES, F. L.; RAMOS FILHO, G. M. **Correlação entre Movimentos de Massa e Pluviosidade nas Encostas de João Pessoa/PB**. Revista Geotecnia, Rio de Janeiro, n. 133, p.59, 2015.

TATIZANA, C. et al. **Análise de correlação entre chuvas e escorregamentos na Serra do Mar, município de Cubatão**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 5, 1987a, São Paulo, SP. Anais ... São Paulo: ABGE, 1987a. v.2, p.225-236.

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: 15 de abril de 2018.

XAVIER, H. **Percepção geográfica dos deslizamentos de encostas em áreas de risco no município de Belo Horizonte, MG**. 222p. Tese de Doutorado – Departamento de Geografia, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1996.

ZÊRERE, J. L.; RODRIGUES, M. L.; FERREIRA, A. B. **Recent landslide activity in relation to rainfall in the Lisbon region (Portugal)**. Geophysical Research Abstracts, v.5, 2003.

**ANEXO 1**  
**FICHAS DE REGISTRO DE OCORRÊNCIAS, FORNECIDAS PELA COMPDEC-JP,**  
**NO PERÍODO DE JANEIRO DE 2014 À ABRIL DE 2018.**

## OCORRÊNCIAS COMPDEC 2014

	<i>SOLICITANTE</i>	<i>LOGRADOURO</i>	<i>BAIRRO</i>	<i>FONE</i>	<i>DESCRIÇÃO</i>	<i>Dt ocor</i>
43	FLÁVIA DO CARMO DIONISIO DOS SANTO	TRAV. BOM JESUS, 401	B. DOS ESTADOS	3458-6743	BARREIRA AMEAÇA MORADIA	09/jan
56	ALEXANDRE DA SILVA FONSECA	R. CELITA LIRA PORTELA	VALENTINA	8885-9304	BARREIRA AMEAÇA MURO	11/fev
57	PATRICIA NASCIMENTO DAS NEVES	LOT. BOA ESPERANÇA Q.703 L. 230	VALENTINA	8765-1562	BARREIRA AMEAÇA MURO	11/fev
91	MAGALI PONTES SILVA-COND. ARRUDA C	R. RAUL HENRIQUE, 84	TAMBIÁ	9967-5129	BARREIRA AMEAÇA CONDOMINIO	24/fev
115	FRANCISCO LUCAS SOBRINHO	R. SATURNINO DE BRITO, 161-A	TRINCHEIRAS	3221-8421	DESLIZAMENTO DE BARREIRA	14/mar
140	VERÔNICA FELIX DE BRITO	R. SEVERINO GOMES DE ANDRADE, 115	GROTÃO	8610-3708	DESLIZAMENTO DE BARREIRA	24/mar
145	BOMBEIROS	R. CLEMENTINA LINDOLFO	ALTIPLANO	193	DESABAMENTO CANTEIRO OBRAS	25/mar
203	MARCELO JOSÉ ALENCAR	R. RAUL HENRIQUE DE SÁ, 25	TAMBIÁ	8829-1565	BARREIRA AMEAÇA MORADIA	11/mai
210	RAJMUNDO/VERA LÚCIA	R. ALICE MARIA DA CONCEIÇÃO, S/N	TAMBIÁ	8749-1011	BARREIRA AMEAÇA MORADIA	14/mai
218	CIBELE OLIVEIRA CHAVES DA SILVA	R. RONALDO FERREIRA, 27	CRISTO	8651-1581	BARREIRA AMEAÇA MORADIA	15/mai
264	EDSON FORMINO BERNARDO	R. SEVERINO FERNANDES DE ASSIS, 228	VALENTINA	8774-4642	BARREIRA AMEAÇA MORADIA	18/jun
295	MÁRIO MOREIRA DE ANDRADE	R. EDMUNDO FILHO, 53-B	SÃO JOSÉ	8665-4534	BARREIRA AMEAÇA MORADIA	08/jul
301	ERIANE MOREIRA VIEGAS	R. PROJETADA, X30	SÃO JOSÉ	8828-9443	DESLIZAMENTO DE BARREIRA	10/jul
304	ROZEANE DE OLIVIERA DA SILVA	R. 31 DE MARÇO, 17	MIRAMAR	8865-1077	DESLIZAMENTO DE BARREIRA	11/jul
305	CÍCERO RAMOS	R. LUIZ JACINTO, 108	ALTO DO MATEUS	8805-2193	DESLIZAMENTO DE BARREIRA	13/jul

## OCORRÊNCIAS COMPDEC 2015

	<b>SOLICITANTE</b>	<b>LOGRADOURO</b>	<b>BAIRRO</b>	<b>FONE</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>Dt ocor.</b>
32	FERNANDO LUIZ	R. TELEGRAFISTA JOÃO OSEAS, 310	CENTRO	98703-0652	BARREIRA DESLIZANDO	30/jan
81	DENUNCIA TV	R. EDMUNDO FILHO	SÃO JOSÉ	INFORMOU	BARREIRA DESLIZANDO	06/mar
83	DENUNCIA TV - PATRICIA	R. ANTONIO CAMILO DOS SANTOS	BANCÁRIOS	98856-9977	BARREIRA DESLIZANDO	06/mar
180	GENIVAL DA SILVA CUNHA	R. SILVA MARIZ, 818	CRUZ DAS ARMAS	98606-2722	BARREIRA DESLIZANDO	24/mar
211	MARCOS ROBERTO PEREIRA DA SILVA	R. EST. HENRIQUE JULHO DE FARIAS, 10	VALENTINA	98861-8546	BARREIRA DESLIZANDO	15/abr
219	MARTA DA SILVA	R. RIO SÃO FRANCISCO. 714	CASTELO BRANCO	3226-3691	BARREIRA DESLIZANDO	20/abr
299	IMAINA SOARTE BELARMINO	AV. BEIRA RIO, S/Nº	TORRE	98771-1203	BARREIRA DESLIZANDO	05/jun
304	CARLOS DE PAIVA FERREIRA	R. EDMUNDO FILHO, 39	SÃO JOSÉ	98805-6211	BARREIRA DESLIZANDO	09/jun
315	TEREZA CRISTINA MESQUITA DA CRUZ	R. DOM VITAL, 126	ROGER	98854-7394	BARREIRA DESLIZANDO	11/jun
329	JOSÉ DIEGO NORBERTO SILVA	R. MONS. JOSÉ COUTINHO, 115	ROGER	98774-9820	BARREIRA DESLIZANDO	25/jun
351	MARCOS JACOME - PRF	BR 230 KM 19	CASTELO BRANCO	191	BARREIRA DESLIZANDO	30/jun
355	MARIA JANEIDE MIRANDA LOPES	R. DA BARREIRA, X46B	SÃO JOSÉ	98876-3334	BARREIRA DESLIZANDO	01/jul
357	CAMILA FIGUEIREDO DA SILVA	R. MANOEL GUERRA, S/Nº	OITIZEIRO	99655-5308	BARREIRA DESLIZANDO	01/jul
370	CARMELITA DOS SANTOS	R. MANOEL DA SILVA, 59	GEISEL	99837-5890	BARREIRA DESLIZANDO	08/jul
372	SHIRLEY FRANCIS SOARES DE LIMA	COMUNIDADE CITEX	JOÃO PAULO II	99806-8081	BARREIRA DESLIZANDO	10/jul
398	CARLOS ANTONIO BELMIRO DA SILVA	R. MANUEL GUEDES DA SILVA, S/N	CRUZ DAS ARMAS	98747-8473	BARREIRA ATINGIU CASA	23/jul
404	RIZONEIDE FIDELIS DA COSTA	R. CARTEIRO DORGIVAL LOPES, 212	ALTO DO MATEUS	98155-3571	BARREIRA DESLIZANDO	27/jul
426	LUCIA DE FÁTIMA NOGUEIRA DA SILVA	R. DR. VITAL BRASIL, 221	VALENTINA	98748-7621	BARREIRA DESLIZANDO	28/jul
459	EDITE	R. MONSENHOR COUTINHO, 341	ROGER	99615-5911	BARREIRA DESLIZANDO	10/ago
460	FERNANDA SOUZA NUNES	AV. BEIRA RIO, 275	TAMBAUZINHO	98888-8983	BARREIRA DESLIZANDO	11/ago
461	EDSON NASCIMENTO LINS	R. MANOEL CANDIDO LEITE, 1791	TAMBAUZINHO	98805-6744	BARREIRA DESLIZANDO	11/ago
586	RAFAEL	BR 230 - ACESSO OESTE	ALTO DO MATEUS	98183-8001	BARREIRA DESLIZANDO	24/dez
600	MARIA DO SOCORRO MELQUIDES	R. OSWALDO LEMOS, 735	RANGEL	98834-0720	BARREIRA DESLIZANDO	29/dez

<b>OCORRÊNCIAS COMPDEC 2016</b>							
	<b>SOLICITANTE</b>	<b>LOGRADOURO</b>	<b>BAIRRO</b>	<b>FONE</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>Dt ocor</b>	<b>RVT</b>
24	MARIA DAS GRAÇAS	R. MANOEL CANDIDO LEITE, 1791	TAMBAUZINHO	99888-9404	BARREIRA	18/jan	
31	HAMILTON	R. MANOEL CANDIDO LEITE, 1795	TAMBAUZINHO	98662-8647	BARREIRA	18/jan	
35	ROSEANA DOS SANTOS	TRAV. CARMEM MIRANDA, 613	ALTO DO MATEUS	93212-6980	BARREIRA	18/jan	
92	JOSINEIDE FERREIRA LAUREANO	R. MAURILIO DE OLIVEIRA, 13	TREZE DE MAIO	98664-4232	BARREIRA	26/fev	
97	GRACILIONE DOS SANTOS	R. MOT. SEVERINO FERNANDO, S/N	VALENTINA	98129-9435	BARREIRA	02/mar	41
117	EDILEUZA ALVES DOS SANTOS	R. SANTO STANISLAU, 165	B. DOS NOVAIS	98751-5548	BARREIRA	11/mar	
146	PAULO	R. CRUZEIRO DO SUL (BURAÇÃO)	CRUZ DAS ARMAS	98770-5268	BARREIRA	01/abr	
167	SEVERINA BARBOSA	R. TRAV. IA IÁ AMORIM COUTINHO, 47-A	MIRAMAR	98848-8211	BARREIRA	16/abr	
175	EDITE MELO IDALINO	R. MARTA DA LUZ	B. DOS NOVAIS	98716-1139	BARREIRA	16/abr	
177	JOVELINA LAURENTINO	R. ARI BARROSO	ALTO DO MATEUS	98750-6212	BARREIRA	16/abr	
182	MARIA DO SOCORRO	R. OSWALDO LEMOS, 735	RANGEL	98834-0720	BARREIRA	16/abr	
208	MANUELA	R. FOTOGRAFO ERNANI AUGUSTO	ROGER	98820-2026	BARREIRA	16/abr	
209	ROSINALDO ALEXANDRE DA SILVA	R. SALVADOR DE ALBUQUERQUE, 82	ROGER	98736-3677	BARREIRA	16/abr	
230	JOSEFA JOSEMAR	R. SATURNINO DE BRITO, 337	CENTRO	98880-7630	BARREIRA	16/abr	
248	IVANISE DA SILVA SANTOS	CONJUNTO MARIA SALES	ILHA DO BISPO	98770-2585	BARREIRA	18/abr	
256	CABO MARTA(BOMBEIROS)	R. ARTUR LIDIANO DE ALBUQUERQUE, 85	MIRAMAR	98804-4021	BARREIRA	22/abr	
259	ODILIA TRF	BR 230 Km 19	CASTELO BRANCO	99136-6661	BARREIRA	25/abr	
260	BOMBERIOS	R. JOSÉ EDUARDO DE HOLANDA, 785	CABO BRANCO	98815-2711	BARREIRA	26/abr	
341	ADRIANA F. DA SILVA	R. JORGE DE BARROS BARBOSA, 210	VALENTINA	99967-0033	BARREIRA	01/jun	
342	GIANE MARTINS DE ALMEIDA	AV. BEIRA RIO, 335/504	TAMBAUZINHO	99653-0960	BARREIRA	01/jun	
382	CARMELITA DOS SANTOS	R. MANOEL LUIZ DA SILVA, 58	JOÃO PAULO II	99837-5890	BARREIRA	08/jun	
385	SAMARA LIMA DE VASCONCELOS	R. SATURNINO DE BRITO, 260	TRINCHEIRAS	98752-9129	BARREIRA	29/jun	
400	JOELSON TAVARES	R. PEDRO ULISSES, 224	ROGER	98797-2456	BARREIRA	18/jul	
441	GEISER DOS SANTOS D'ÁVILA	R. ESPIRIDIÃO ROSAS, 823	EXPEDICIONÁRIOS	98819-5568	BARREIRA	09/set	
457	CIRILO (SEINFRA)	AV. AIRTON SENNA	ROGER	98834-7785	BARREIRA	26/set	

## OCORRÊNCIAS COMPDEC 2017

	<b>SOLICITANTE</b>	<b>LOGRADOURO</b>	<b>BAIRRO</b>	<b>FONE</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>Dt ocor</b>
141	GERCINA FARIAS NASCIMENTO	R. PADRE IBIAPINO, 136	VARADOURO	98642-5747	BARREIRA	13/abr
142	FABIANO MATEUS DA SILVA	R. CENTRO COMUM. SÃO JUDAS TADEUALTO	ALTO DO MATEUS	98751-2346	BARREIRA	13/abr
164	ARIOSVALDO DAS NEVES FERREIRA	R. GÊNESIS DE ANDRADE, 215	ROGER	98847-1832	BARREIRA	01/mai
173	POLICIAL SÉRGIO	BR 230 KM 19	CASTELO BRANCO	99136-6661	BARREIRA	02/mai
222	MANOEL LIMA DOS SANTOS	R. GIÁCOMO PORTO, 47	MIRAMAR	98639-9807	BARREIRA	08/mai
228	IEDA - FILIPE	R. JOSÉ EDUARDO DE HOLANDA, 29	CABO BRANCO	98744-2090	BARREIRA	09/mai
251	IRENILDA LEITE LEONARDO	R. EDMUNDO FILHO, 39	SÃO JOSÉ	98600-1321	BARREIRA	18/mai
278	ANGÉLICA SANTOS DA SILVA	R. SÃO JUDAS TADEU, S/Nº	ALTO DO MATEUS	98751-2346	BARREIRA	29/mai
284	DENUNCIA	R. SÃO VICENTE, S/Nº	MIRAMAR	99958-6686	BARREIRA	29/mai
333	JOSUEL DA SILVA NASCIMENTO	R. DO TAMBOR, 92	CRUZ DAS ARMAS	98807-2379	BARREIRA	29/jun
336	DENUNCIA	COMUNIDADE CASTELO BRANCO	CASTELO BRANCO	98618-2203	BARREIRA	29/jun
344	FRANCISCA RAMOS	R. CARTEIRO DORGIVAL LOPES DA SILVA, 90	ALTO DO MATEUS	99163-9510	BARREIRA	30/jun
377	AMANDA MONTEIRO	R. PEDRO FORTUNATO ALVES, 470	MANDACARU	98604-2371	BARREIRA	18/jul
387	GEANIA OLIVEIRA	R. LEONARDO SILVA PEREIRA, S/Nº	ROGER	98653-2223	BARREIRA	21/jul
411	FRANCISCA LIMA TAVARES (PAULA)	AV. BRIRA RIO, 191	MIRAMAR	99843-9831	BARREIRA	28/jul
415	MARIA DO ROSÁRIO DO NASCIMENTO	R. MONSENHOR COUTINHO, 147	ROGER	98761-7284	BARREIRA	28/jul
438	DENUNCIA	AV. BEIRA RIO, 179	MIRAMAR	Ñ INFORMOU	BARREIRA	28/jul
446	MARIA CRISTINA	R. CARTEIRO DORGIVAL LOPES DA SILVA, 51	ALTO DO MATEUS	98719-6874	BARREIRA	29/jul
514	MARIA DE FÁTIMA LIMA	AV. EPITÁCIO PESSOA, 4200	MIRAMAR	98852-9664	BARREIRA	16/set

<b>OCORRÊNCIAS COMPDEC 2018</b>						
	<b>SOLICITANTE</b>	<b>LOGRADOURO</b>	<b>BAIRRO</b>	<b>FONE</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>Dt ocor</b>
95	JACKSON COSTA BEZERRA	R. PEDRO ULISSES, 224	ROGER	98815-4922	BARREIRA	13/mar
98	JOSÉ DE MELO	R. EDMUNDO FILHO, 35	SÃO JOSÉ	98674-7249	BARREIRA	21/mar
131	VALDECI SILVA PAIVA	R. CARLOS ALEXANDRE, 344	ALTO DO MATEUS	98884-2992	BARREIRA	13/abr
132	CAMILA LOPES	R. ARTUR ATHAÍDE, 48	OITIZEIRO	98802-7714	BARREIRA	13/abr
138	JOSEMAR GONÇALVES DO NASCIMENTO	R. BARTIRA, 25	RANGEL	98639-3795	BARREIRA	14/abr
152	EDNA VIEIRA DE LIMA	R. LUIZ JACINTO, 808	ALTO DO MATEUS	98612-6730	BARREIRA	22/abr
164	ALUISIA SILVA NASCIMENTO	R. 4 DE OUTUBRO, 439	CRUZ DAS ARMAS	98756-5421	BARREIRA	26/abr
169	RONALDO	R. ARTUR LIDIANO DE ALBUQUERQUE, 85	MIRAMAR	99882-6357	BARREIRA	27/abr
172	CARMELITA DOS SANTOS	R. EMANOEL LUIZ DA SILVA, 8	JOÃO PAULO II	99837-5890	BARREIRA	27/abr
176	BRUNA	R. EDVALDO BEZERRA CAVALCANTI PINHO	CABO BRANCO	99857-2370	BARREIRA	30/abr

**APÊNDICE A**  
**MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS PLUVIÔMETROS E DOS MOVIMENTOS DE**  
**MASSA OCORRIDOS NO PERÍODO DE ESTUDO, EM JOÃO PESSOA – PB.**

