



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESASTRES NATURAIS

MATHEOS ABNER SILVA

**CORRELAÇÃO DE CHUVAS E DESLIZAMENTOS PARA O MUNICÍPIO DE
IBIRAMA - SC**

FLORIANÓPOLIS

2022

Matheos Abner Silva

**CORRELAÇÃO DE CHUVAS E DESLIZAMENTOS PARA O MUNICÍPIO DE
IBIRAMA - SC**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação
em Desastres Naturais da Universidade Federal de Santa
Catarina para a obtenção do título em mestre em
Desastres Naturais
Orientador: Prof. Wendell Rondinelli Gomes Farias, Dr.
Coorientador: Tulus Dias Nery, Dr.

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Silva, Matheos Abner

Correlação de chuvas e deslizamentos para o município de
Ibirama / Matheos Abner Silva ; orientador, Wendell
Rondinelli Gomes Farias, coorientador, Tulus Dias Nery,
2022.

150 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, , Programa de Pós-Graduação em , Florianópolis,
2022.

Inclui referências.

1. . 2. Precipitações. 3. Deslizamentos. 4. Limiares
críticos de chuva-deslizamentos. I. Gomes Farias, Wendell
Rondinelli. II. Dias Nery, Tulus. III. Universidade
Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em .
IV. Título.

Matheos Abner Silva

**CORRELAÇÃO DE CHUVAS E DESLIZAMENTOS PARA O MUNICÍPIO DE
IBIRAMA - SC**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca
examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Márcio Roberto Magalhães, Dr.
Instituição CEMADEN

Prof. Rafael Higashi, Dr.
UFSC

Prof. Renato Ramos da Silva, Dr.
UFSC

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi
julgado adequado para obtenção do título de [mestre / doutor] em [nome do título obtido pelo
Programa].

Dr. Harrysson Luiz da Silva
Coordenador do Programa de Pós-Graduação

Prof. Dr. Wendell Rondinelli Gomes Farias
Orientador(a)

Florianópolis, 2022.

Este trabalho é dedicado aos meus colegas de classe e aos meus queridos pais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Joel da Silva e Rosani Cruz pelo incentivo de nunca parar de buscar conhecimento e por minha formação de pessoa.

Agradeço também ao professor Wendell Farias, meu orientador, pelo exemplo como profissional, pelo seu conhecimento e disponibilidade, o qual tenho orgulho de falar que sempre esteve presente. Agradecer também meu Coorientador Tullius Dias Nery, por toda sua paciência e sua didática onde pude agregar muito conhecimento e sabedoria.

A Coordenadoria Municipal da Defesa Civil de Ibirama, toda sua equipe, Fernando Jost, Daniele e Juliana. Por me ajudarem na troca de conhecimento e pelo auxílio e suporte na coleta de dados, sem eles essa pesquisa não teria dado o ponta pé inicial. Quero agradecer ao pessoal do CEMADEN, por serem receptivos e atenciosos, por serem outra peça fundamental nessa pesquisa, por todo conhecimento transmitido a mim, em especial Márcio Andrade e Klaifer Garcia. Por último, não menos importante agradeço à equipe Centro de Operação do Sistema de Alerta, CEOPS-FURB, em especial ao servidor Adilson, por fornecer dados pluviométricos indispensáveis à execução deste trabalho.

Agradeço a Universidade Federal de Santa Catarina, ao Programa de Pós Graduação em Desastres Naturais, em especial os professores Rafael Higashi, Roberto Fabris, Renato Ramos e Janete Josina de Abreu. Suas aulas serviram de base para a confecção desse estudo.

Por fim agradeço a amizade dos colegas da turma de Desastres Naturais, muitas das quais levarei para a vida e não citarei nomes para não ser injusto com a parceria de todos.

RESUMO

A chuva tem sido a principal causa deflagradora de deslizamentos no Brasil. A cidade de Ibirama, localizada na região do Vale do Itajaí em Santa Catarina, apresenta atributos físicos, que associados a eventos meteorológicos de precipitações intensas, contribuem para a deflagração de deslizamentos. Dessa forma o presente trabalho tem por objetivo estudar os limiares pluviométricos que induzem os deslizamentos no município de Ibirama, bem como os fatores da distribuição espacial dos deslizamentos como a distribuição temporal da precipitação. Em vista que no período de estudo o município contava apenas com um pluviômetro horário, buscou-se também avaliar se as estimativas disponíveis pela missão de satélites GPM são viáveis para serem usadas na ausência, ou em conjunto com o pluviômetro. As informações de deslizamentos foram obtidas do banco de dados da Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil para o período relativo entre os anos de 2013 e 2019. Com isso os dados puderam ser depurados, juntamente com os dados pluviométricos e cartográficos. Buscou-se o total precipitado acumulado de até 96h para cada evento. Em relação aos deslizamentos, eles foram divididos em dois grupos: “Sem decreto”, os quais se referem a deslizamentos pontuais e de pequeno porte e “Com decreto”, que conforme leis federais atenderam aos critérios para a decretação de estado de emergência. Para o período de estudo foram testados 06 pares pluviométricos, 01hx72h, 01hx96h, 06hx72h, 06hx96h, 24hx72h e 24hx96h. Como resultados da distribuição temporal dos deslizamentos com as precipitações, foram avaliadas as combinações dos eventos de deslizamentos com o total de pluviometria registrado por ano e por mês, ainda foi realizada uma classificação sinótica para a determinação de um padrão meteorológico que possa deflagrar tais eventos. Acerca da distribuição espacial dos deslizamentos, foram avaliados os elementos como densidade de deslizamentos, unidades geotécnicas e declividade. Usou-se também métricas estatísticas para a avaliação da medição estimada pelo algoritmo IMERG da missão GPM. A correlação chuvas-deslizamentos permitiu o estabelecimento de limiares críticos de precipitação e a avaliação de qual par pluviométrico apresentou os melhores resultados para a cidade de Ibirama.

Palavras-chave: Precipitações. Deslizamentos. Limiares críticos de chuva-deslizamentos.

ABSTRACT

Rain has been the main triggering cause of landslides in Brazil. The city of Ibirama, located in the Vale do Itajaí region in Santa Catarina, has physical attributes, which associated with meteorological events of intense precipitation, contribute to the triggering of landslides. In this way the present work aims to study the rainfall thresholds that induce landslides in the municipality of Ibirama, as well as the factors of spatial distribution of landslides as the temporal distribution of precipitation. In view of the fact that in the study period the municipality had only one hourly rain gauge, we also sought to evaluate whether the estimates available from the GPM satellite mission are feasible to be used in the absence of, or in conjunction with, the rain gauge. The landslide information was obtained from the database of the Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil for the relative period between the years 2013 and 2019. With this the data could be purified, along with the rainfall and cartographic data. The total accumulated precipitation of up to 96h for each event was sought. In relation to landslides, they were divided into two groups: "Without decree", which refer to punctual and small-sized landslides and "With decree", which according to federal laws met the criteria for the decree of a state of emergency. For the study period 06 pluviometric pairs were tested, 01hx72h, 01hx96h, 06hx72h, 06hx96h, 24hx72h and 24hx96h. As a result of the temporal distribution of landslides with precipitation, the combinations of landslide events with the total rainfall recorded per year and per month were evaluated, and a synoptic classification was performed to determine a meteorological pattern that can trigger such events. About the spatial distribution of landslides, elements such as landslide density, geotechnical units and slope were evaluated. Statistical metrics were also used for the evaluation of the measurement estimated by the IMERG algorithm of the GPM mission. The rainfall-slide correlation allowed the establishment of critical precipitation thresholds and the evaluation of which rainfall pair presented the best results for the city of Ibirama.

Keywords: Precipitation. Landslides. Critical rainfall-slide thresholds.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -Fluxograma resumo COBRADE Desastres Naturais	19
Figura 2- Aumento de registros de ocorrências entre as décadas de 1990 e 2000	20
Figura 3- Escala de velocidades para a caracterização dos movimentos de massa.....	22
Figura 4 (a) (b)- Deslizamentos translacional (a) e rotacional (b)	23
Figura 5 (a) (b)- Deslizamento translacional que atingiu residências em Ibirama- SC no ano de 2011 e estradas em 2017.....	23
Figura 6 (a) (b)- Ilustração de deslizamento em cunha e deslizamento em cunha ocorrido em Ibirama em 2017.....	23
Figura 7 (a) (b)- Ilustração de corridas e deslizamento seguido de fluxo de detritos ocorrido em Ibirama em 2020.	25
Figura 8- Mapa de Santa Catarina	38
Figura 9- Ilustração do satélite demonstrando os dois instrumentos: GPM Microwave Images e DPR.....	41
Figura 10- Mapa do município de Ibirama - SC.....	45
Figura 11 - Folhelho na cidade de Ibirama.....	48
Figura 12 - Argissolo Vermelho-amarelo derivado de gnaisse na cidade de Ibirama.....	50
Figura 13 (a) (b) - deslizamentos ocorridos em 2013.....	51
Figura 14 (a) (b) - deslizamentos ocorridos em 2014.....	52
Figura 15 (a) (b)- Deslizamentos ocorridos em 2015.....	52
Figura 16 - Deslizamentos ocorridos em 2016.....	53
Figura 17- Deslizamentos ocorridos em 2016.....	54
Figura 18- Gráfico de Acumulado x intensidade horária de Tatizana.....	56
Figura 19- Gráfico da envoltória de deslizamentos induzidos. Posto Pluviométrico da Onça (E3-153 R) - Setor Refinaria.	56
Figura 20- Imagem Ortoretificada de Ibirama com a localização dos dois pluviômetros sendo o da ANA (vermelho) nas Coordenadas UTM: 647119.7766m E e 7006767.0412m S e do CEOPS (azul) nas Coordenadas UTM: 647123.9409m E e 7006767.1780m S	60
Figura 21- Extração quantitativa do valor do pixel correspondente ao pluviômetro analisado.	61
Figura 22- Página de edição do código fonte do <i>Google Earth Engine</i>	62
Figura 23- Sink (depressão) e Peak (pico).....	63

Figura 24- Fluxograma demonstrando a fase da coleta de dados com a obtenção dos respectivos resultados.....	69
Figura 25- Ocorrências x Acumulados anuais.....	70
Figura 26- Ocorrências x Acumulados mensais.....	71
Figura 27- Ocorrências x acumulado em 2013.....	72
Figura 28- Ocorrências x acumulado em 2014.....	72
Figura 29- Ocorrências x acumulado em 2015.....	73
Figura 30- Ocorrências x acumulado em 2016.....	74
Figura 31- Ocorrências x acumulado em 2017.....	74
Figura 32- Ocorrências x acumulado em 2018.....	75
Figura 33- Ocorrências x acumulado em 2019.....	76
Figura 34- (a) Carta sinótica ao nível da superfície para o dia 21/09/2013 às 12Z; (b) Carta sinótica ao nível da superfície para o dia 21/09/2013 às 18Z; (c) - Carta sinótica ao nível da superfície para o dia 22/09/2013 às 00Z; (d) - Carta sinótica ao nível da superfície para o dia 22/09/2013 às 06Z.	77
Figura 35 - (a) Imagem do satélite GOES-13 no Infravermelho realçado para o dia 20/09/2013 às 11:00 UTC; (b) Imagem do satélite GOES-13 no Infravermelho realçado para o dia 22/09/2013 às 10:30 UTC.	78
Figura 36- (a) Precipitação Observada (mm) para o dia 20/09/2013; (b) Precipitação Observada (mm) para o dia 21/09/2013; (c) Precipitação Observada (mm) para o dia 22/09/2013; (d) Precipitação Observada (mm) para o dia 23/09/2013.	79
Figura 37- Mapa de densidade de deslizamentos.....	82
Figura 38- Residências no bairro areado com contenção para proteção de ocupação de áreas com declividade acentuada.....	83
Figura 39- Unidades Geotécnicas de Ibirama – SC.....	85
Figura 40- Número de ocorrências x Unidades Geotécnicas.....	86
Figura 41 - Classes de declividade em área.....	87
Figura 42- Ocorrências por classe de declividade.....	88
Figura 43- Mapa de declividades.....	89
Figura 44- Mapa de rugosidade topográfica conforme EMBRAPA.....	91
Figura 45- Gráfico de correlação entre mm/h e mm/72h.....	93
Figura 46- Gráfico de correlação entre mm/h e mm/96h.....	93
Figura 47- Gráfico de correlação entre mm/06h e mm/72h.....	94
Figura 48- Gráfico de correlação entre mm/06h e mm/96h.....	94

Figura 49 – Gráfico de correlação entre mm/24h e mm/72h.....	95
Figura 50– gráfico de correlação entre mm/24h e mm/96h.....	95
Figura 51– Picos de chuva no acumulado das 06h.....	98
Figura 52– Chuvas distribuídas nas 24h.....	98
Figura 53- Gráfico de correlação entre 06mm/h e mm/72h	100
Figura 54- Gráfico de correlação entre 24mm/h e mm/72h	101
Figura 55- Gráfico de precipitação observada (pluviômetro) e a precipitação estimada (GPM)	103
Figura 56- Gráfico de dispersão dados pluviômetro e GPM.....	105

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Classificação dos principais tipos de movimentos de massa em encostas brasileiras	21
Quadro 2- Agentes preparatórios aos movimentos de massa.	26
Quadro 3- Desastres que geraram decretos pela COMPDEC e desastres cadastrados no S2ID	51
Quadro 4- Exemplo de banco de dados de ocorrências.....	65
Quadro 5- Exemplo de banco de dados de chuvas	66
Quadro 6 – Precipitação no Vale do Itajaí, em Santa Catarina para SETEMBRO/2013.	80
Quadro 7- Classes com Declividade em porcentagem e em graus.....	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Níveis de alerta para deslizamentos do sistema Alerta Rio.....	35
Tabela 2- Declividade/relevo conforme EMBRAPA.....	64
Tabela 3- Pares pluviométricos com suas respectivas equações e R^2	96
Tabela 4- Valores desencadeadores de deslizamentos	99
Tabela 5- Métricas estatísticas de comparação do IMERG.....	104

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABI	Advanced Baseline Imager
ANA	Agência Nacional de Águas
CASAN	Companhia Catarinense de Águas e Saneamento
CBVI	Corpo de Bombeiros Voluntário de Ibirama
CCMs	Complexos Convectivos de Mesoescala
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
CENAD	Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres
CEOPS	Centro de Operação do Sistema de Alerta FURB
CIASC	Centro de Informática e Automação do Estado de Santa Catarina
COBRADE	Classificação e Codificação Brasileira de Desastres
COMPDEC	Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil
CPC	Coeficiente de Precipitação Crítica
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo
DCM	Defesa Civil Municipal
DPR	Radar de Precipitação de Dupla Frequência
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EM-DAT	The International Disaster Database
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
FIDE	Formulário de Informações de Desastre
FOD	Floresta Ombrófila Densa
GIDES	Projeto de Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada de Riscos em Desastres Naturais
GEE	Google Earth Engine
GOES	Geostationary Operational Environmental Satellite
GPM	Global Precipitation Measurement
GSD	Ground Sample Distance
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMERG	Integrated Multisatellite Retrievals for the Global Precipitation Measurement
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto de Pesquisas Espaciais
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

JAXA Japan Aerospace Exploration Agency

MDE Modelo Digital de Elevação

MDEHC Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente consistente

NASA National Aeronautics and Space Administration

NOAA National Oceanic and Atmospheric Administration

S2ID Sistema Integrado de Informações sobre Desastres

SAAPI Sistema Aerotransportado de Aquisição e Pós-processamento de Imagens Digitais

SDS Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável

SIG Sistemas de Informações Geográficas

TRMM Tropical Rainfall Measuring Mission

UNISDR United Nations International Strategy for Disaster Reduction

USGS United States Geological Survey

UTM Universal Transversa de Mercator

ZCAS Zona de Convergência do Atlântico Sul

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS	17
1.1.1	Objetivo Geral.....	17
1.1.2	Objetivos Específicos	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1	DESASTRES NATURAIS.....	18
2.2	MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA.....	20
2.2.1	Tipologias dos movimentos de massa.....	20
2.2.1.1	<i>Deslizamentos.....</i>	22
2.2.1.2	<i>Corridas.....</i>	24
2.3	DESENCADEAMENTO DE MOVIMENTOS DE MASSA: CAUSAS E AGENTES.....	25
2.4	LIMIARES DE CORRELAÇÃO ENTRE CHUVAS E MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA.....	29
2.4.1	Experiências no exterior.....	29
2.4.2	Experiências brasileiras	33
2.4.3	Correlação de Chuvas e Escorregamentos de Tatizana <i>et al.</i>	37
2.5	SISTEMAS METEOROLÓGICOS E PRECIPITAÇÕES EM SANTA CATARINA	38
2.6	GPM (Global precipitation measurement).....	40
3	CARACTERIZAÇÃO DA CIDADE DE IBIRAMA – SC	44
3.1	Área de estudo	44
3.1.1	Aspectos Ambientais.....	45
3.1.1.1	<i>Hidrografia.....</i>	45
3.1.1.2	<i>Clima</i>	46
3.1.1.3	<i>Vegetação</i>	46
3.1.1.4	<i>Geologia</i>	47

3.1.1.5	<i>Geomorfologia</i>	48
3.1.1.6	<i>Pedologia</i>	49
3.2	Caracterização das ocorrências.....	50
4	METODOLOGIA	55
4.1	Proposta de Tatizana <i>et al.</i> (1987).....	55
4.2	MÉTODO DE COMPARAÇÃO IMERG-PLUVIÔMETRO.....	57
4.3	Dados.....	58
4.3.1	Dados de deslizamentos	58
4.3.2	Dados pluviométricos	59
4.3.3	Dados do IMERG	60
4.3.4	Dados Cartográficos	62
4.3.5	Construção de limiares críticos	65
5	RESULTADOS	68
5.1	Distribuição temporal dos movimentos de massa.....	69
5.1.1	Ocorrências dos anos de 2013 a 2019	69
5.1.2	Determinação dos Sistemas Meteorológicos Associados aos Deslizamentos ..	76
5.2	Distribuição espacial dos movimentos de massa.....	80
5.2.1	Densidade x Deslizamentos	80
5.2.2	Unidades Geotécnicas x Deslizamentos	84
5.2.3	Declividade x Deslizamentos	87
5.3	CORRELAÇÃO DE CHUVAS E DESLIZAMENTOS EM IBIRAMA- SC.....	92
5.4	COMPARAÇÃO DO IMERG COM DADOS DO PLUVIÔMETRO.....	102
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	106
	REFERÊNCIAS	109
	APÊNDICE A- CÓDIGO COMPLETO PARA A EXTRAÇÃO DO VALOR DO PIXEL EM MM/DIA	119

APÊNDICE B- TABELA DE REGISTRO DE OCORRÊNCIAS DE DESLIZAMENTOS	120
APÊNDICE C- ACUMULADOS DE PRECIPITAÇÃO.....	126
APENDICE D- DISTRIBUIÇÃO DE CHUVAS EM ACUMULADOS DE 24H.....	128
APENDICE E- DEMAIS PARES PLUVIOMÉTRICOS DE CORRELAÇÃO	134
ANEXO 01- CARTAS SINÓTICAS DOS DIAS DAS OCORRÊNCIAS	136

1 INTRODUÇÃO

Ibirama está localizado na microrregião do Alto Vale do Itajaí sendo pertencente à Bacia hidrográfica do Rio Itajaí. A cidade conta com uma extensa e abundante rede de drenagem, sendo que dois importantes cursos d'água do estado de Santa Catarina passam pelo município, o Rio Itajaí-Açu e um de seus afluentes, o Rio Itajaí do Norte.

Atrelado a isso, a história da cidade começou em 1897 com a chegada da primeira leva dos imigrantes alemães. Como em outros locais, a gênese da malha urbana colonizada pelo povo germânico é característica da ocupação ao longo dos eixos paralelos aos cursos d'água, resultando em uma maior concentração urbana disposta adjacente aos rios. Todavia os desastres naturais relacionados às inundações, enchentes e enxurradas na cidade, são a minoria. A maior parte dos eventos registrados são relacionados a movimentos de massa, fruto, segundo Flores *et al.* (2009), das condicionantes geológica, pedológica e geomorfológica da região do Vale do Itajaí, mas também às mudanças antrópicas impostas nos terrenos, como terraplenagens mal executadas, extrativismo vegetal, construções de estradas, entre outros. Diante desse conjunto de fatores, somado ao clima, às características do material constituinte do solo e aos eventos meteorológicos, o cenário tornou-se favorável a desastres recorrentes. Dias *et al* (2018) citam que no Brasil, nos últimos 20 anos o número de desastres aumentou, e que além dos processos hidro meteorológicos, geodinâmicos e climáticos, esse acréscimo é resultado também da expansão da população que vive em área de risco.

Conforme Brasil (2016), em seu Relatório de Reconhecimento de Áreas de Risco, realizado pelo CPRM, foram levantadas 21 áreas em Ibirama, sendo 15 relacionadas a deslizamentos, 5 a inundações e 1 a erosão fluvial. Entretanto a Coordenadoria de Proteção e Defesa Civil de Ibirama (COMPDEC) Brasil (2019), demonstra por meio de suas fichas de ocorrências que no ínterim do ano de 2015 (data do levantamento do CPRM) e do ano de 2019, algumas outras áreas que antes não eram classificadas como de risco, hoje são, devido a dinâmica antrópica e do meio ambiente.

Almeida (2015), comenta que a repercussão e comoção dos eventos do Vale do Itajaí em 2008 e da região serrana no Rio de Janeiro em 2011, impulsionaram a instituição mais recente da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) Lei 12.608/2012. Baseado na contextualização interdisciplinar da lei com outras legislações como de ordenamento territorial e meio ambiente, os órgãos públicos do município de Ibirama visam a expansão

urbana de modo seguro, procurando conter o aumento da vulnerabilidade social frente aos desastres, ainda que, algumas construções, já estejam consolidadas em áreas de risco.

Diante disso Kobiyama *et al* (2006) fala que para reduzir as perdas associadas aos desastres naturais, é fundamental a compreensão dos mecanismos que causam estes fenômenos. Acerca de movimentos de massa, Tominaga *et al* (2009) ressalta que, adotando medidas preventivas, os danos causados por deslizamentos podem ser minimizados e até evitados.

Movimentos de massa são desencadeados por diversos fatores, porém, em um país tropical como o Brasil, o fator mais preponderante é a chuva. Guidicini & Nieble (1984) classificam as chuvas como agentes efetivos, preparatórios e imediatos ao evento de deslizamentos. Para a previsibilidade desses eventos é fundamental uma rede de pluviômetros a fim de se representar com acurácia os eventos de precipitação, porém em um país como o Brasil, com grande extensão territorial, fica inviável a cobertura completa do território. No período de estudos deste trabalho, Ibirama – SC contava apenas com 01 pluviômetro de dados armazenados em tempo real, a cada 15 minutos. Skofronick-Jackson *et al* (2017) citam que dados de satélites tem se mostrado uma alternativa para a estimativa de precipitação. A Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) foi uma missão precursora de destaque para medições de chuva por sensoriamento remoto, tendo seu lançamento em 1997 e finalizado em 2015. Em fevereiro de 2014 foi lançada a missão para as estimativas de precipitação global que merece destaque, a GPM (*Global Precipitation Measurement -*), sucessora da TRMM e contendo dados mais refinados de precipitação. O produto IMERG (*Integrated Multisatellite Retrievals for the Global Precipitation Measurement*) da missão GPM possui uma resolução espacial de 0,1° (11 km aproximadamente) e uma resolução temporal de 30 minutos. A constelação apresenta-se com um satélite central que partilha dados com outros satélites. Destacando ainda que pertencem às principais agências espaciais do mundo, a NASA – Agência Nacional de Aeronáutica e do Espaço – Estados Unidos) e JAXA (Agência Espacial Japonesa).

Ao contrário de outros fenômenos, os deslizamentos são complexos e de difícil previsão, diante disso, esse trabalho tem por a finalidade da análise espacial e temporal dos deslizamentos e também, a construção de limiares críticos de precipitação que tendem a causar esse fenômeno na cidade de Ibirama – SC, além da análise do produto IMERG, comparando-o com resultados obtidos no pluviômetro, visando a possibilidade da emissão de alertas mais precisos pela operação.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Com o intuito de compreender os fenômenos geo-hidrológicos, o presente trabalho propõe a correlação de precipitação com movimentos gravitacionais de massa no município de Ibirama, por meio da análise de dados entre os anos de 2013 e 2019, e ainda, analisar se o produto IMERG da missão espacial GPM é viável para o uso da estimativa da precipitação no município.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Análise dos dados relativos à distribuição espacial e temporal dos deslizamentos, associados a precipitação e aos atributos geológicos e geomorfológicos.
- Criação de limiares de precipitação e a correlação delas com os movimentos de massa para Ibirama.
- Avaliar se as estimativas disponíveis pelo IMERG são viáveis para serem usadas na ausência, ou em conjunto com o pluviômetro de Ibirama - SC.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 DESASTRES NATURAIS

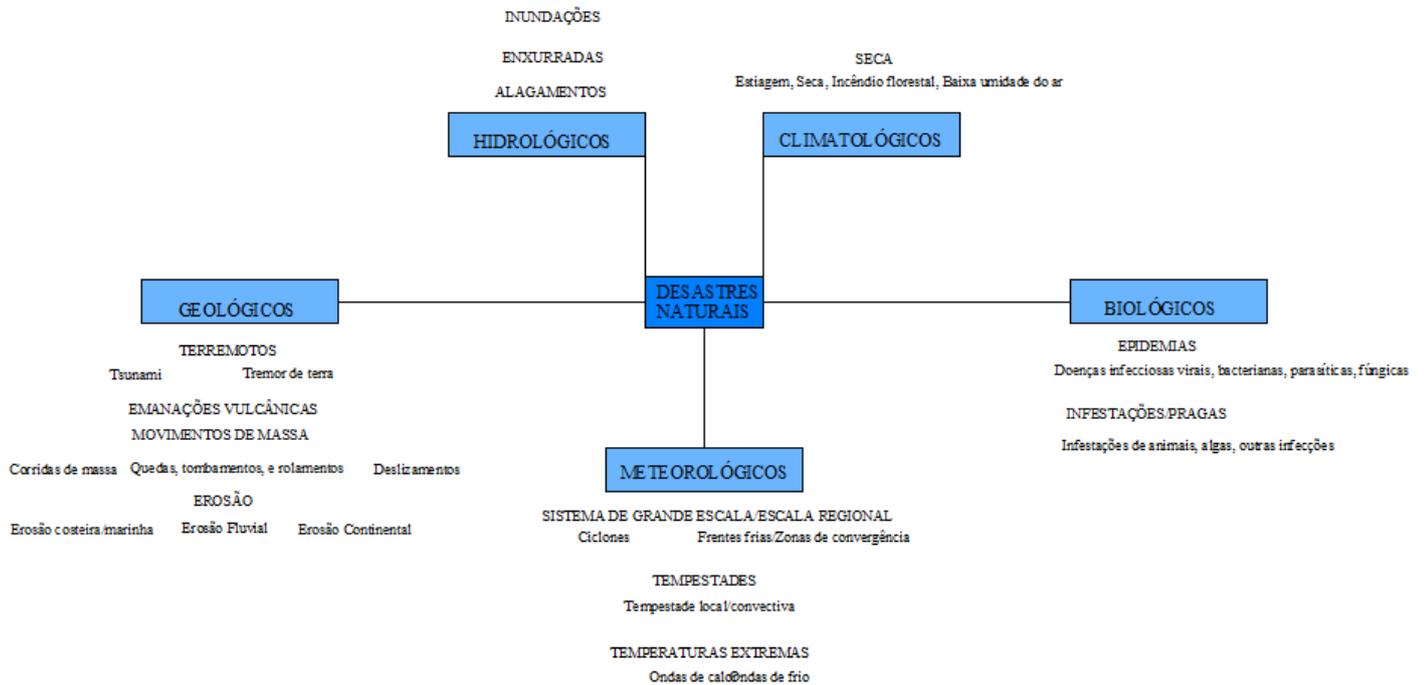
A definição de Desastre segundo a Estratégia Internacional das Nações Unidas para a Redução de Desastres (UNISDR 2017) é: Uma séria interrupção do funcionamento de uma comunidade ou de uma sociedade em qualquer escala devido a eventos perigosos que interagem com condições de exposição, vulnerabilidade e capacidade, levando a uma ou mais das seguintes condições: perdas e impactos humanos, materiais, econômicos e ambientais.

Quando os deslizamentos atingem áreas antropizadas causando danos e prejuízos econômicos e sociais, então são chamados de desastres naturais. Um grande número de variáveis geofísicas aliados às variáveis humanas são o resultado dos processos que desencadeiam os desastres naturais.

O Glossário da Defesa Civil Nacional nos traz que desastre é “resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema (vulnerável), causando danos humanos, materiais e/ou ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais. A intensidade de um desastre depende da interação entre a magnitude do evento adverso e o grau de vulnerabilidade do sistema receptor afetado” (CASTRO, 1998).

Ainda a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE), que teve como base a classificação empregada pelo EM-DAT *The International Disaster Database*, divide os desastres em duas categorias, os naturais e os tecnológicos.

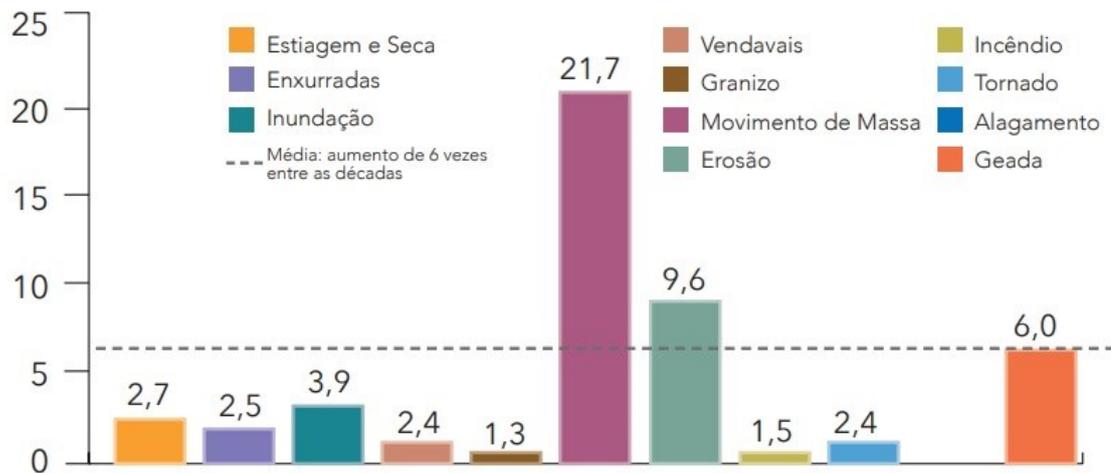
Figura 1 -Fluxograma resumo COBRADE Desastres Naturais



Fonte: Adaptado de COBRADE (2022).

Analisando o fluxograma resumo (Figura 1) da Classificação Brasileira de Desastres, esta pesquisa irá perscrutar-se no grupo geológico, no subgrupo movimentos de massa. Ainda far-se-á o nexos com o grupo Meteorológico, correlacionando com as chuvas intensas. De modo há demonstrar a importância dos desastres naturais do tipo movimentos de massa, analisa-se o *Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: volume Brasil* (CEPED UFSC, 2012) concluindo que movimentos de massa é o grupo dos desastres que teve a maior variação (Figura 2), aumentando seu número de ocorrência consideravelmente entre a década de 1990 e 2000.

Figura 2- Aumento de registros de ocorrências entre as décadas de 1990 e 2000



Fonte: CEPED UFSC, (2012).

2.2 MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA

Segundo Cruz (1990), movimentos gravitacionais de massa, são modeladores naturais do relevo, principalmente em locais onde há uma grande declividade. Também Wolle (1988) fala que movimentos de massa correspondem a um dos processos mais importantes na modelagem do relevo. Contudo Tominaga *et al.* (2007) fala que a ocupação indiscriminada em áreas de risco, onde não há o planejamento territorial adequado nem o uso de técnicas corretas de estabilização de solo, contribuem para a ocorrência de eventos de movimentos de massa que muitas vezes atingem dimensões de desastres.

2.2.1 Tipologias dos movimentos de massa

Existem diversos tipos de movimentos de massa, considerando a literatura internacional há 32 tipos diferentes de movimentos de massa. porém devido à complexidade dos processos envolvidos bem como a ocorrência em diversos ambientes, não se tem um único modelo de classificação aceito a nível mundial. Salienta-se que ainda na natureza é muito comum encontrar processos associados, ou seja, movimentos de massa complexos por misturarem características. As classificações dos movimentos de massa se dão especialmente com base no material, geometria e movimento (velocidade e geologia). Porém uma das classificações mais usadas mundialmente é a de Varnes (1978) devido a sua simplicidade e por dar ênfase ao tipo de movimento de massa e de material envolvido no processo. No Brasil Augusto Filho (1992) com seus estudos realizados na Serra do Mar propôs uma classificação

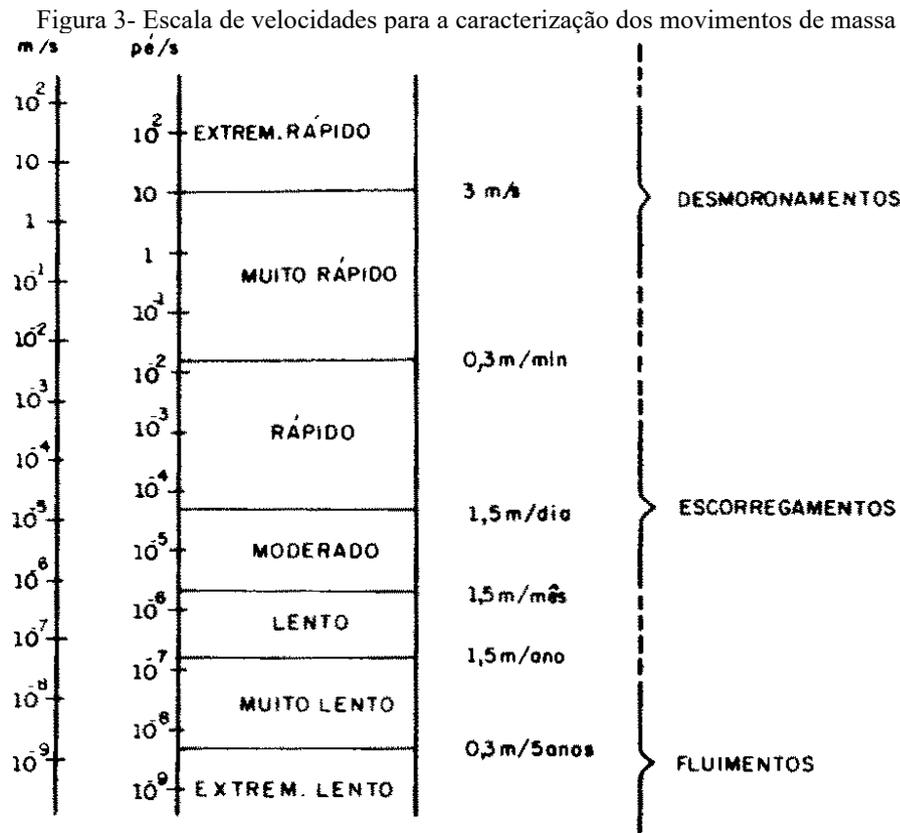
que também é amplamente usada e segue no Quadro 01 onde ele relaciona o tipo do processo com a dinâmica, geometria e o material envolvidos no processo.

Quadro 1- Classificação dos principais tipos de movimentos de massa em encostas brasileiras

Processos	Dinâmica/Geometria/Material
Rastejos	• vários planos de deslocamento (internos)
	• velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade
	• movimentos constantes, sazonais ou intermitentes
	• solo, depósitos, rocha alterada/fraturada
	• geometria indefinida
Deslizamentos	• poucos planos de deslocamento (externos)
	• velocidades médias (m/h) a altas (m/s)
	• pequenos a grandes volumes de material
	• geometria e materiais variáveis:
	Planares – solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza;
	Circulares – solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas
	Em cunha – solos e rochas com dois planos de fraqueza
Quedas	• sem planos de deslocamento
	• movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado
	• velocidades muito altas (vários m/s)
	• material rochoso
	• pequenos a médios volumes
	• geometria variável: lascas, placas, blocos, etc.
	Rolamento de matacão
	Tombamento
Corridas	• muitas superfícies de deslocamento
	• movimento semelhante ao de um líquido viscoso
	• desenvolvimento ao longo das drenagens
	• velocidades médias a altas
	• mobilização de solo, rocha, detritos e água
	• grandes volumes de material
	• extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas

Fonte: Augusto Filho (1992).

Oliveira (2004) também classifica os movimentos de massa devido a sua velocidade, sendo uma característica muito importante dos mesmos, sua classificação segue na Figura 03 que demonstra a escala proposta. Entretanto em sua classificação não foi inserido os fluxos de detritos.



Varnes (1978) modificado por Oliveira (2004).

De modo que os tipos de movimentos gravitacionais de massa mais ocorridos no Brasil e também objeto do presente estudo são do tipo deslizamentos e corridas, os mesmos serão abordados a seguir.

2.2.1.1 Deslizamentos

Os deslizamentos podem ser dos tipos planares (ou translacionais), circulares (ou rotacionais) (Figura 04 e 05) e ainda em cunha (Figura 06). De forma geral Guidicini & Nieble (1984) definem deslizamentos quando a razão entre a resistência ao cisalhamento do material e a tensão de cisalhamento na superfície potencial de movimentação decresce até atingir uma unidade, no momento do deslizamento.

Figura 4 (a) (b)- Deslizamentos translacional (a) e rotacional (b)

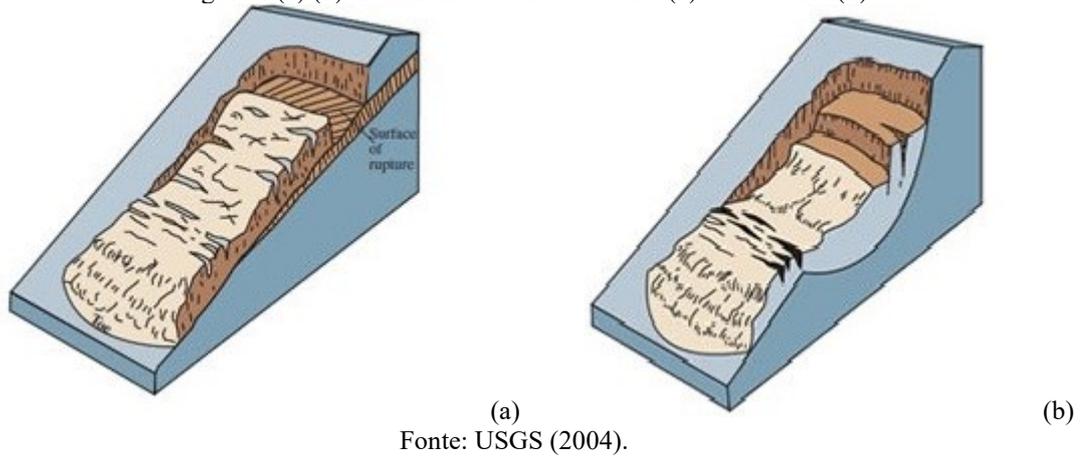


Figura 5 (a) (b)- Deslizamento translacional que atingiu residências em Ibirama- SC no ano de 2011 e estradas em 2017.



Fonte: COMPDEC (2019).

Figura 6 (a) (b)- Ilustração de deslizamento em cunha e deslizamento em cunha ocorrido em Ibirama em 2017.



Fonte: Infanti Jr. & Fornasari Filho, (1998) e COMPDEC (2019).

Os deslizamentos planares são o tipo de movimentos de massa mais comum na região de Ibirama. Segundo Prieto (2018) são deslizamentos não muito profundos, que pode variar

de um a quatro metros, podendo abranger grandes extensões de área e se caracterizam por resultar em um plano abrupto com ruptura bem definida. Este plano de ruptura ocorre em superfícies de fraqueza, como em discontinuidades geológicas e pedológicas (falhas, estratificações ou no contato entre solo e rocha), uma vez que há diferença de densidade e permeabilidade entre os materiais (SELBY, 1993). Ocorrem em encostas tanto de alta como de baixa declividade e podem atingir centenas ou até milhares de metros (FERNANDES & AMARAL, 1996; GUIDICINI & NIEBLE, 1984). Pode haver diferentes tipos de materiais envolvidos, como solo e rocha, os autores Guidicini e Nieble (1984) realizaram uma subdivisão para os deslizamentos planares, os dividindo em função do conteúdo da massa deslocada, do tipo de solo e de rocha.

Para Augusto Filho (1992) os deslizamentos em cunha estão relacionados a solos e rochas que apresentam dois planos de fraquezas. Os deslizamentos em cunha geralmente ocorrem em regiões onde o relevo é controlado por estruturas geológicas. Decorrem em encostas ou taludes que sofreram desconfinamento, podendo por ação antrópica ou de forma natural (Tominaga *et al* 2009).

Em relação aos deslizamentos rotacionais, onde se tem a linha de ruptura, nota-se a curva ao longo da qual, se dá o movimento rotacional da massa do solo. Os deslizamentos de geometria circular geralmente apresentam profundidades elevadas com material homogêneo e por vezes rochas fraturadas. Fernandes & Amaral (1996) afirmam que muitas vezes esse tipo de deslizamento está associado a cortes na base desses materiais, para a construção de edificações, terraplenagens e também na construção de estradas.

2.2.1.2 *Corridas*

As corridas ou fluxos de detritos (Figura 07) são movimentos de massa com uma alta velocidade e uma mistura de materiais saturados em água, ocorrendo em um canal de drenagem (Hungar *et al.* 2001). Quando há muita presença de água no solo, ocorre a perda de atrito de suas partículas em virtude da destruição de sua estrutura interna. Quando há um grande aporte de materiais como rochas, solo, e árvores, e estes se movem ao longo das drenagens das encostas e combinados com um dado volume de água, acabam formando uma massa que se comporta como um fluido altamente viscoso, então se tem as corridas ou fluxo de detritos (Gramani, 2001; Amaral, 2003).

Figura 7 (a) (b)- Ilustração de corridas e deslizamento seguido de fluxo de detritos ocorrido em Ibirama em 2020.



Fonte: USGS (2004) e o Autor (2022).

A maioria das mortes causadas por movimentos de massa no mundo são causadas por corridas. A massa deslocada pode atingir grandes distâncias com extrema rapidez, mesmo em áreas pouco inclinadas, com consequências destrutivas muito maiores que os deslizamentos, podendo ser causado por fortes chuva em curtos períodos de tempo ou por precipitações leves em períodos de tempos prolongados. (Guidicini & Nieble, 1984; Fernandes & Amaral, 1996; Lopes, 2006; Silva 2016).

Imaizumi *et al* (2005) cita que é importante o conhecimento de fatores hidrológicos, a dinâmica sedimentar e mudanças em leitos de canais para otimizar o ordenamento territorial, bem como o planejamento de medida mitigadoras como os sistemas de alertas contra os fluxos de detritos.

2.3 DESENCADEAMENTO DE MOVIMENTOS DE MASSA: CAUSAS E AGENTES

Conforme Selby (1993) vários fatores podem ser atribuídos à ocorrência de movimentos de massa, sendo que em um deslizamento é raro apenas um fator ser a causa definitiva, embora seja possível identificar um efeito principal ou desencadeador. Os processos de movimentos de massa têm causas variadas. UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY - USGS (2008) diz que as causas primárias são de ordem natural e humana, sendo que as causas naturais têm como fator imediato à ação da água, atividade sísmica e atividade vulcânica. Thanh & De Smedt (2013), discorrem que a base de metodologias voltadas para a avaliação da estabilidade de taludes está associada à identificação das causas dos movimentos de massa.

Países tropicais como o Brasil, têm como agente causador de movimentos de massa, a chuva, conforme descreve (CENAD, 2012), e que podem ser agravados por atividades humanas. Ainda outros fatores que contribuem para os movimentos de massa são a geologia, a geomorfologia, a vegetação e o uso do solo.

Entre os fatores climáticos, a precipitação é um dos fatores principais para o desencadeamento dos movimentos de massa no Brasil. Sua distribuição espacial e temporal, sua recarga de água nos solos e o seu potencial para o escoamento superficial, seus movimentos lateral e vertical da água na rocha alterada, bem como a evapotranspiração e a interceptação pela vegetação (SIDLE E OCHIAI, 2006), são fatores que contribuem na dinâmica desses processos geodinâmicos. Guidicini & Nieble (1984) explicam que geralmente as estações chuvosas são no verão, e que no Círculo Polar Antártico são formadas as frentes frias que encontram as massas de ar quente tropicais ao longo da costa sudeste brasileira, provocando fortes chuvas e tempestades, e essas chuvas deflagram deslizamentos que muitas vezes se tornam catastróficos. De acordo com Rahardjo *et al.* (2007), a redução do fator de segurança de um talude está ligada diretamente à grandeza e à intensidade da chuva, esses fatores conjuntamente com as propriedades do solo são os principais elementos que influenciam a instabilidade de encostas, de modo que quanto mais intensa a chuva, o fator de segurança irá diminuir mais rápido.

Quadro 2- Agentes preparatórios aos movimentos de massa.

	Agentes	Características	
Agentes Deflagradores	Agentes predisponentes	Geológico	Características da rocha e intemperismo Estruturas geológicas Tectonismo
		Pedológico	Propriedades mecânicas dos solos Propriedades químicas, mineralógicas e texturais dos solos
		Geomorfológico	Declividade Amplitude Forma das encostas (retilínea, convexa e côncava) Relação entre a declividade e a espessura do solo

		Hidrológico	Densidade de drenagem Presença de vegetação - Influência no ciclo hidrológico - Comportamento das raízes	
		Agentes	Preparatórios	Imediatos
Agentes efetivos		Meteorológico	Precipitação acumulada	Intensidade da precipitação instantânea
		Hidrológico	Infiltração Fluxos subsuperficiais Poro-pressão da água	Escoamento superficial
		Antrópico	Uso e ocupação Retirada da vegetação Intervenções nas encostas – corte, aterro, concentração de águas servidas e de drenagem pluvial	

Fonte: Guidicini e Nieble (1976), modificado por Prieto (2018).

Conforme Terlien (1998) o desencadeamento por chuvas é um dos principais mecanismos naturais de iniciação de deslizamentos. Esse início do deslizamento pode ser definido como uma diminuição na resistência ao cisalhamento devido a um aumento na pressão da água nos poros, e esse aumento da pressão da água nos poros está diretamente relacionado a infiltração de chuva e a percolação (saturação de cima) ou ainda, pode também, ser o resultado do acúmulo de lençol freático (saturação por baixo). Nessa mesma linha os autores Wang & Sassa (2003) e Crosta & Frattini (2003) citam que precipitações intensas causam o incremento rápido da pressão nos poros propiciando a perda da componente relativa à coesão aparente, desencadeando os movimentos. A pressão dos poros e a diminuição da coesão decorrem da redução da sucção causadas pela infiltração em solos não saturados Li et al. (2005).

Outra propriedade de suma importância na análise dos movimentos de massa está associada a duração das chuvas. Os autores Toll et al. (2001) verificaram que o acumulado de chuva interfere significativamente na relação às respostas das medidas de poropressão e desencadeamento de deslizamento durante um evento chuvoso. Rahardjo et al. (2001)

constatarem que chuvas diárias e acumuladas influenciam no processo de movimentos de massa, sendo que elas devem ser analisadas conjuntamente, uma vez que a permeabilidade do solo aumenta com o incremento da chuva antecedente, dando oportunidade para chuvas posteriores deflagrarem os deslizamentos.

Dessa maneira a permeabilidade é uma propriedade importante do solo para o início do processo de deslizamentos, Wang & Shibata (2007) verificaram que a permeabilidade do solo tem uma grande influência na iniciação desses fenômenos estudando a sua influência nos deslizamentos envolvendo chuva em testes de laboratório, concluindo em alguns testes que há uma permeabilidade ótima quando a chuva é mantida constante, significando que deve haver um equilíbrio entre a pressão dos poros e a dissipação que existe nos processos de deslizamentos.

Quanto a questão topográfica das áreas Krynine & Judd (1957) Silva (2006) Azevedo (2011) trazem que em um talude, a principal força de natureza instável que exerce influência é a gravidade, a qual usualmente se desenvolve pela combinação entre o peso próprio do talude e o peso relativo de um carregamento aplicado sobre ele. Wiczorek (1987) descobriu que chuvas intensas durante períodos de menos de 6 horas desencadearam fluxos de detritos em encostas planares em preferência a locais mais côncavos, enquanto períodos mais longos de chuvas menos intensas desencadearam fluxos de detritos mais preferencialmente em locais côncavos. Wiczorek (2000) também cita que a instabilidade em encostas côncavas pode ser resultado de acumulações colúviais mais profundas do que em outras encostas, e com isso durante precipitações intensas há uma maior instabilidade, além de que, há a canalização da chuva com o escoamento superficial ficando mais propensas aos deslizamentos.

Visto os agentes e as causas que atuam na deflagração desse fenômeno, é importante citar que como ferramentas para gestão de riscos aos fatores que podem levar aos seus acontecimentos dos movimentos gravitacionais de massa, Terlien (1998) descreve que os mapas de riscos são usados no planejamento urbano, porém esses mapas só indicam onde o deslizamento pode ocorrer, e não sob qual circunstância, como por exemplo a quantidade de chuva, dessa forma, eles não podem ser usados para alertas. Para tomar tal decisão, os mecanismos desencadeadores de deslizamentos de terra devem ser conhecidos e inseridos nos mapas.

2.4 LIMIARES DE CORRELAÇÃO ENTRE CHUVAS E MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA

2.4.1 Experiências no exterior

Lumb (1975), analisando os fatores que contribuem para a instabilidade de encostas em Hong Kong no período de 1950 a 1973, verificou que a infiltração de água da chuva em zonas superficiais de encostas, diminuindo a coesão do solo, é a principal causa de movimentos gravitacionais de massa. O autor associou a precipitação do evento chuvoso referente às 24h do dia do evento e a precipitação acumulada de 15 dias anteriores ao evento, e assim, elaborou uma classificação para a previsibilidade dos movimentos gravitacionais de massa, os classificando em: deslizamentos isolados, menores ou secundários, severos e desastrosos. Para estes atribuiu valores de (<200mm) para secundários; (>200mm e <350mm) para severos e (>350mm) para desastrosos.

Ainda o autor correlacionando a precipitação e a espessura frente de saturação nos solos residuais e aterros, conclui que para solos vulcânicos a espessura é de até 9 metros, já para solos graníticos, chegou-se a valores de 4 metros.

Para contribuir nos estudos de correlação entre chuvas e deslizamentos Wieczorek (1987) examinou as intensidades e durações de chuvas e seus efeitos nos fluxos de detritos na região das Montanhas de Santa Cruz na Califórnia – EUA. Foram examinadas 10 tempestades entre 1975 e 1984 a quais resultaram em 110 fluxos de detritos. O autor relata que as chuvas antecedentes são importantes no que tange à umidade do solo, e, além disso, as chuvas antecedentes são importantes em um período de 7 dias até talvez 2 meses. Contudo para a área foi determinado que as chuvas antecedentes de 7 a 30 dias já podem desencadear fluxo de detritos, no entanto, é necessário um valor mínimo 280mm. O autor conclui citando que intensidade e duração de chuva, aliadas a declividade e topografia da encosta, espessura do solo e uma barreira impermeável são importantes na determinação de onde o fluxo ocorrerá. Tempestades de longa duração e intensidade moderada causam fluxo de detritos em solos espessos e encostas íngremes e côncavas onde o fluxo de água subterrâneo converge, já tempestades de curta duração a alta intensidade pode desencadear fluxo de detritos em encostas planares íngremes onde o leito da rocha é pouco profundo e conseqüentemente o solo é mais fino servindo como barreira de permeabilidade efetiva para a rápida infiltração a acumulação da água causando poropressão.

O trabalho proposto por Brand *et al.* (1984), relacionando chuvas e deslizamentos em Hong Kong, mostrou que chuvas de curta duração e com elevadas intensidades já podem ser um fator desencadeante de deslizamentos. Ainda os autores concluíram que as chuvas acumuladas de poucos dias, tem papel fundamental em deslizamentos secundários que ocorrem em eventos de chuvas curtas e poucas intensidades. Em relação a quantificação dos valores o autor aponta para intensidades de chuvas de 70mm/h o valor em que deslizamentos já ocorrem, e também que chuvas com menos de 100mm em um dia é pouco provável que cause grandes eventos de deslizamentos.

Finlay *et al* (1997) estudando a relação da probabilidade de ocorrências de deslizamentos e chuvas também na ilha de Hong Kong, utilizaram dados individuais de pluviômetros de intervalos de 5 minutos ao longo de 10 anos. Entre os objetivos de seu trabalho, estavam a revisão de estudos anteriores de chuvas e deslizamentos em Hong Kong e o estabelecimento de limiares pluviométricos que desencadeiam deslizamentos de terras. Durante a análise de dados, os autores calcularam valores de 2 a 7mm para 15 minutos, 8 a 17mm para uma hora e 70 a 90mm para 24 horas. Os autores ressaltaram a diferença para valores maiores apontados em estudos anteriores, como por exemplo 70mm para uma hora. Para explicar tal diferença, os autores citaram a magnitude dos eventos, sendo que os valores de 8 a 17mm para uma hora, foi aplicado para deslizamentos individuais. O autor conclui também que para a previsão do número de deslizamentos, a melhor acumulada de precipitação é a de 3 horas.

No estudo, Finlay *et al* (1997) mostraram que há um grande grau de incerteza nessas previsões. Visto que outras variáveis têm uma influência na incidência de deslizamentos incluindo geologia, geometria, drenagem, manutenção, idade e tipo de declive, e os mecanismos de deslizamento de terra. Eles citam que para melhorar a precisão de previsão dos limiares pluviométricos e precipitação com número de deslizamentos de terra, algumas ou todas essas variáveis precisariam ser incluído, e seria necessário obter um registro melhor do tempo de deslizamento do que estava disponível para este estudo.

De acordo com Terlien (1998) limiares de precipitação desencadeantes de deslizamentos são necessários para o desenvolvimento de sistemas de aviso prévio. Ele cita que os limites de disparo devem ser desenvolvidos para cada região separadamente, visto que, os limites são baseados em conjuntos de dados de áreas com diferentes condições geológicas, geomorfológica e climatológicas.

Gianecchini (2006) fez o estudo da relação entre chuvas e deslizamentos para o sul dos Alpes Apuanos sendo uma das regiões mais chuvosas da Itália, chegando a 3000mm/ano. Os dados foram registrados no pluviômetro principal da área entre os anos de 1975 e 2002 a fim de se correlacionar o início do deslizamento e a precipitação. Os limiares obtidos no estudo foram comparados a diversos limiares propostos por vários autores pelo mundo. Gianecchini (2006) destaca que a determinação de um limiar crítico é muito problemático devido à alta heterogeneidade das características geológicas, geomorfológicas, hidrogeológicas e geotécnicas das encostas, com isso o autor buscou uma área mais homogênea para a aplicação de seu método. Sua pesquisa se deu por meio de informações dadas das administrações locais, técnicos, artigos científicos, jornais e também em informações prestadas pela população local. Nesse contexto o autor afirma ser válida essa pesquisa histórica, caso os mapas com a ocorrência de deslizamentos não estejam disponíveis, porque, segundo o autor, as cicatrizes causadas pelos deslizamentos são ocupadas pela vegetação em 4-5 anos.

Sua metodologia buscou após a coleta dos dados, os subdividir em 3 grupos. A – Eventos que induziram vários deslizamentos e inundações; B- Eventos que induziram deslizamentos localizados e pequenas inundações e C- onde não houve nenhuma informação sobre eventos que produziram algum efeito na encosta. Após sua análise e modelagem foi obtido duas curvas, uma que separava os eventos de C e B e outra que separava os eventos de B e A.

Com a comparação do alto limiar em relação às outras regiões do mundo o autor explica que é devido ao fato da região ter uma alta pluviometria anual. Ainda o autor fala que devido à falta de uma rede extensa pluviométrica próxima à área do estudo, os resultados devem ser analisados com cautela. (GIANECCHINI, 2006).

Contribuindo com os estudos da correlação chuva-deslizamentos Chang e Chiang (2009) propuseram um novo método que combina um modelo determinístico de estabilidade de taludes e um modelo para prever deslizamentos induzidos por precipitações, o qual é um modelo estatístico, e engloba dados pluviométricos diretamente na modelagem e previsão de deslizamentos. O método primeiro deriva para cada unidade do terreno a precipitação crítica, que é calculada a partir de características topográficas e solos locais, o método então calcula a diferença de intensidade de chuva (RID) que é a intensidade de chuva que está acima ou abaixo da precipitação crítica, estimada por imagens de radar.

Com essa combinação de modelo estatístico e determinístico os autores desenvolveram um modelo de regressão logística, um modelo integrado que reúne

informações de propriedades topográficas e de solo e variáveis de chuva para a estimativa da probabilidade de deslizamentos. Nesse modelo foram usadas duas variáveis, o valor de RID e a duração da precipitação. O seu estudo foi desenvolvido na bacia hidrográfica de Baichi, localizado ao Norte de Taiwan. Os autores selecionaram dois grandes tufões para a validação do modelo e ainda usaram estimativa de precipitação por radar, o QPESUMS, onde o mesmo foi calibrado com as medições de 6 pluviômetros automáticos. Chang e Chiang (2009) comentam que o modelo de estabilidade pode ser influenciado por vários fatores. Profundidade do solo, a condutividade hidráulica, o ângulo de atrito frequentemente exhibe diferenças entre os valores utilizados no modelo e nos valores obtidos em campo. Os autores concluíram que a variável RID é mais importante que a duração da chuva e que apesar de o modelo não explicar como as chuvas intensas podem aumentar o número de deslizamento, o método se mostrou importante para a previsibilidade de ocorrências de deslizamentos.

Para a região de Rio Grande da Pipa em Portugal, Oliveira *et al* (2014) tiveram como objetivo qual estação meteorológica seria mais adequada para a determinação de limiares empíricos dentre 5 estações da região, (ARR, CLZ, SJT, SMA, VFX), além de reconstruir precipitações absolutas antecedentes de 19 eventos entre os anos de 1980 e 2010, entre outros objetivos. Sua metodologia para a construção dos limiares consistiu em duas abordagens, Oliveira *et al* (2014) citou Glade *et al* (2010).

(i) regressão linear da precipitação antecedente acumulada absoluta tida como responsável pelo evento, ponderada pela Precipitação Média Anual (PMA), e da sua duração; e (ii) limiares mínimo e máximo, onde o limiar mínimo define as relações quantidade/duração de precipitação a partir do qual podem ocorrer movimentos de vertente, e o limiar máximo corresponde à relação quantidade/duração de precipitação a partir do qual é expectável que não ocorram falsos positivos GLADE *et al* (2010).

Para ambas as abordagens se usou o período de 1,2,3,4,5,10,15,30,40,60,75 e 90 dias para o computo da chuva acumulada. Foi estabelecido as combinações críticas de duração e quantidade da precipitação antecedente acumulada para cada um dos 19 eventos, então por meio de regressão linear foi determinado o limiar crítico para cada estação. Os autores definem que o limiar mínimo é o limite acima do qual, são incluídos todos os verdadeiros positivos (eventos de instabilidade) e abaixo estão todos os verdadeiros negativos (precipitações que não geram instabilidades) o limiar mínimo foi determinado por uma

equação linear, enquanto que para o limiar máximo sua definição é o limite a partir do qual apenas ocorrem verdadeiros positivos, o limiar máximo demonstrou-se melhor ajustado por uma curva potencial.

Com seus trabalhos foi possível definir que a estação SJT foi a que melhor ajustou-se para a construção dos limiares, ainda se verificou também, que os locais em que os limiares são mais altos, não são necessariamente aqueles onde ocorre maiores quantitativos de precipitações.

2.4.2 Experiências brasileiras

Diversos pesquisadores têm estudado qual a correlação entre chuvas e movimentos gravitacionais de massa para diferentes regiões para tentar chegar a um valor de quanto de água precipitada é responsável por causar um movimento gravitacional de massa.

Para o município de Blumenau, Vieira (2004) descreve que os deslizamentos ocorridos de 1997 a 2001 aconteceram com precipitações pluviométricas de nulas a 98,4mm (maior acumulado registrado em 24 horas). As chuvas acumuladas de três a quatro dias foram as que mais influenciaram os cenários de deslizamentos, sendo as maiores ocorrências nos meses de março a outubro. Também a autora traz que a maior concentração de ocorrências está relacionada a um baixo acumulado de precipitação (menor que 20mm no dia). A autora conclui que valores acumulados de 50mm em 3 a 4 dias já são suficientes para desencadear eventos. Porém o autor ressalta que para uma maior correlação, eram necessários mais pluviômetros instalados pela cidade.

Ide (2005) diz que é possível estabelecer relações numéricas para os processos de deslizamentos, a partir de uma única variável que é a precipitação. A sua análise foi separada de acordo com as características geológicas dos terrenos e, os resultados foram que para áreas de rochas cristalinas a possibilidade de deslizamento é a partir de 78mm acumulados em 7 dias, sendo a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) o sistema atmosférico mais indutor a eventos de deslizamentos.

Estudando as encostas urbanas na cidade de Ouro Preto – MG e a influência da pluviosidade nos movimentos gravitacionais de massa, Castro (2006) além de demonstrar que a má ocupação urbana está ligada aos movimentos de massa concluiu também que a quantidade de chuva para provocar movimentos de massa varia de ano para ano. Contudo, a autora apontou que um total de cinco dias de chuvas acumuladas foi o que mais influenciou

na deflagração dos deslizamentos e, portanto, seria necessário apenas 22mm acumulados em cinco dias para provocar ruptura em taludes, e acidentes mais severos a partir de uma média de 128mm em cinco dias se torna maior. Quando os eventos ocorrem de forma generalizada, ou seja, movimentos de massa em diferentes pontos da cidade, os valores pluviométricos diários são na ordem de 55mm/24h e 129mm em cinco dias.

Segundo Oliveira, Ehrlich e Lacerda (2009) que correlacionaram chuvas, piezometria e movimentos de encostas dos km 87 e km 101 da BR-116/RJ, o problema da instabilidade de taludes agrava entre os meses de maior precipitação, compreendido de novembro a março para o local. Foram feitas sondagens para caracterizar o perfil do subsolo, que indicaram que a partir de 9m de profundidade tem-se a presença de paleotalus que são depósitos de blocos proveniente da parte superior da encosta, depositados ao longo de milhares de anos. Os seus resultados mostraram que a variação da poropressão acompanha o regime de chuvas e podem alcançar variações da ordem de 7m. As leituras com o piezômetro se mostraram sensíveis às chuvas acumuladas de 96h. Os picos pluviométricos com intensidade menores que 50mm em 96 horas, não foram acusados pelos piezômetros. Os autores classificaram o movimento como sendo rastejo, por apresentar deslocamento só em determinadas épocas do ano, com velocidade de 40mm/ano, porém, em épocas chuvosas a velocidade pode chegar 20mm/mês.

Para o município de Belo Horizonte – MG, Parizzi *et al* (2010) usaram modelo proposto por Almeida *et al* (1993), que correlacionou os deslizamentos com um padrão de 4 dias de chuva, e nele foi observado que as ocorrências de deslizamentos estão associados a chuvas excepcionais ou seja, chuvas intensas diárias de 70mm, mas que também, chuvas intensas acumuladas de três dias chegando a 100mm já são desencadeadoras de deslizamentos.

Azevedo (2011) fez a análise da relação chuva-deslizamentos em regiões tropicais montanhosas no Rio de Janeiro – RJ, levando em consideração os fatores de distribuição espacial e temporal de precipitações e deslizamentos. Como base em seus estudos foram utilizados os intervalos de tempo empregados pelo sistema Alerta Rio, os quais foram cedidos pela Fundação Geo-Rio que são demonstrados na tabela 01:

Tabela 1- Níveis de alerta para deslizamentos do sistema Alerta Rio.

	NÍVEL MÉDIO	NÍVEL ALTO	NÍVEL MUITO ALTO
Acumulado em 1h	10 a 30 mm	30 a 50 mm	Maior que 50 mm
Acumulado em 24h	50 a 100 mm	100 a 175 mm	Maior que 175 mm
Acumulado em 96h	100 a 175 mm e 10 a 30 mm/24h	175 a 250 mm e 30 a 50 mm/24h	Maior que 250 mm e maior que 100 mm/24h

Fonte: Azevedo (2011).

Sobre a distribuição dos acidentes foi verificado no quesito geológico que a classe de solos em que houve mais deslizamentos foi em solos residuais. Acerca das curvas de probabilidade de ruptura, deduziu-se que as características de cada região mostram como o local irá suportar a solicitação imposta pela precipitação, portanto é necessário a adoção de alertas diferentes para cada região, representada por uma determinada curva, que seja capaz de englobar características peculiares ligada a cada região.

Sobre a importância dessa seara de estudo, Soares e Ramos Filho (2014) destacam que é importante o acompanhamento das chuvas antecedentes a um evento de deslizamento, para auxiliar no alerta a fim de evitar acidentes. Nos seus estudos foi ajustado uma equação do tipo potencial, que melhor se ajustou à curva, e a análise demonstrou que o melhor indicador dos eventos são chuvas acumuladas de 7 e 8 dias para as encostas de João Pessoa - PB.

Molina *et al.* (2015) estudando a relação precipitação-deslizamento no município de São Bernardo do Campo - SP, aplicou a metodologia dos gráficos de envoltórias, onde conjugou os valores de acumulados de precipitação em um dia com a precipitação acumulada no máximo 4 dias anteriores. A autora concluiu que quanto maior era o acumulado de chuvas, menores intensidades pluviométricas horárias eram suficientes para desencadear os deslizamentos, e que também, mesmo não havendo precipitação acumulada nos dias anteriores, uma precipitação diária acima de 100mm já seria suficiente para causar um deslizamento.

Conforme Mendes *et al.* (2015) que realizaram o estudo de limiares críticos de chuva deflagradores de deslizamentos no município de São José dos Campos – SP uma precipitação

de valores de 20mm a 50mm/24h ou valores acima de 50mm/72h seriam valores fundamentais para a deflagração de deslizamentos. Os autores salientam que esses limiares críticos baixos podem estar relacionados com interferências antrópicas na área.

Entre os anos de 2014 a 2018, Metodiev *et al.* (2018) fez a correlação entre as chuvas e os movimentos de massa na região do litoral norte do estado de São Paulo, fazendo uma relação entre a precipitação acumulada de 6h x 72h, classificando de acordo com o tipo de declividade, chegou-se a resultados de 50mm/72h deslizamentos em taludes modificados, 100mm/72h para deslizamentos em taludes naturais e 220mm/72h para fluxo de detritos.

Em 2017, Victorino *et al.* (2017) realizaram um estudo para área da BR-376 na Serra do Mar Paranaense entre os trechos de Curitiba – PR e Garuva – SC. Nele os autores caracterizaram o local por ser composto de solos coluvionares e residuais provenientes de formações de granito, migmatito e gnaiss. Para esse estudo os eventos pluviométricos foram separados em dois grupos, os que estavam associados a movimentos de terra e ao que não resultaram em processo instabilizante. O primeiro grupo foi inserido na curva que define o limiar pluviométrico global empírico proposto por Kanji *et al.* (1997).

Os limiares são usualmente definidos empiricamente a partir de uma “nuvem” de pontos que representam as condições pluviométricas registradas em cada uma das ocorrências de deslizamentos. (VICTORINO, SESTREM E KORMANN 2017).

Quanto à conclusão de seus estudos, um limitador indicado foi a distância do pluviógrafo de alguns pontos de deslizamento, causando a exclusão de alguns dados, os autores ressaltaram também que apesar de poucos dados de eventos de precipitação intensa seguida de deslizamentos, estes foram respaldados por um grande número de chuvas que não deflagram movimentos de massa na região, tais dados sustentaram a metodologia da aplicação de Kanji *et al.* (1997).

Fernandez (2018) na determinação de limiares críticos de chuva deflagradores de movimentos gravitacionais de massa em seu estudo no município de São Bernardo do Campo – SP destacou que a maior concentração de deslizamentos foi em anos que a pluviometria anual ficou acima da média e observou também que os deslizamentos se concentraram mais em anos de El Niño. O autor verificou que em sua análise estatística os acumulados de chuva que melhor representaram estes fenômenos foram as correlações de 72 horas. Esses acumulados culminaram em ocorrências múltiplas de deslizamentos, já valores acumulados em 24 horas, estão relacionados a eventos de uma ou duas ocorrências. O autor também construiu um gráfico de envoltória de deslizamento para o município com os dados obtidos

entre 2013 a 2016 junto ao CEMADEN. Foi criado também o Coeficiente de Ocorrência Por Área (COPA), o qual é a divisão do porcentual de ocorrência de escorregamento de uma determinada Unidade Homogênea de Terreno (UHT), pelo porcentual da área ocupada por esta no município. Dele foi extraído que a unidade geológica que oferece menor resistência à deflagração de deslizamentos por ação da chuva, foram nos Micaxistos. Sobre a declividade, a ocorrência foi maior nas áreas de inclinações de terreno superiores a 25°. Acerca dos padrões de relevo e morfologia as ocorrências se concentraram em morros altos e morros baixos. Por fim, foi verificado que a densidade populacional classificada como “muito alta” sofreu com mais deslizamentos.

2.4.3 Correlação de Chuvas e Escorregamentos de Tatizana *et al.*

Um dos estudos mais relevantes na área é de Tatizana *et al.* (1987 a,b) para a região da Serra do Mar em Cubatão – SP. Os autores classificaram os solos da área de colúvio marrom-amarelado e residual areno-siltoso, apontando que na maioria das vezes a superfície de escorregamento corresponde com a superfície de separação entre esses dois solos. No estudo, foi analisado um período de 30 anos de ocorrências, onde foram classificadas em gráficos as chuvas de intensidade horária x acumuladas. Os eventos foram divididos com ou sem registro de escorregamentos, fazendo um recorte de valores acima de 10mm/h. Os eventos selecionados pelos autores, foram lançados em diagramas de dispersão, experimentando diferentes valores de acumulados. Dentre eles o gráfico de 4 dias foi o que apresentou melhor dispersão, sendo justificado pela relação das frentes estacionárias e semi-estacionárias (frentes que provocam os escorregamentos) terem duração entre 3 a 4 dias.

Os autores também determinaram as envoltórias de escorregamentos, sendo diferenciados pelas características de cada evento, dividiram-se em 4 envoltórias: os escorregamentos induzidos, esparsos, generalizados e corridas de lama. Cada uma com sua função numérica, delimitou os diferentes cenários de ocorrências de escorregamentos.

Os autores concluíram que fortes intensidades de chuvas associadas a uma alta precipitação acumulada em quatro dias é fator desencadeante em eventos de deslizamentos, proporcionando a desestabilização do solo por meio da modificação da resistência ao cisalhamento e do aumento das forças solicitantes. Segundo Tatizana *et al.* (1987a) a evolução da saturação do solo é fator deflagratório para eventos de deslizamentos, e os fatores que influenciam a saturação é 1) textura e estrutura do substrato 2) declividade da encosta 3)

cobertura vegetal 4) estado prévio de saturação e 5) tipologia das chuvas: sendo estas, chuvas de baixas intensidades e longa duração apresentam porcentagem de infiltração maior enquanto chuvas de alta intensidade e curta duração favorecem o escoamento superficial.

2.5 SISTEMAS METEOROLÓGICOS E PRECIPITAÇÕES EM SANTA CATARINA

O Estado de Santa Catarina (Figura 8), situado no Sul do Brasil, limita-se ao norte com o Estado do Paraná, ao sul com o Estado do Rio Grande do Sul, a Leste com o oceano Atlântico e a oeste com a República Argentina (ROCHA, 2014). O estado está localizado entre os paralelos $26^{\circ}00'08''S$ e $29^{\circ}21'03''S$ e os meridianos $48^{\circ}21'30''W$ e $53^{\circ}50'09''W$ (IBGE, 2010a).

Figura 8- Mapa de Santa Catarina



Fonte: Ceped UFSC (2012).

Segundo a classificação de Köppen (1948), o clima catarinense é caracterizado como subtropical (ou mesotérmico), dividido em duas categorias: Cfa – mesotérmico úmido com verão quente, de leste, pela zona litorânea, para oeste; e Cfb - mesotérmico úmido com verão brando, distribuindo-se por toda a região central, de norte a sul do Estado.

Monteiro (2001) descrevendo o clima de Santa Catarina e abordando os principais sistemas atmosféricos que atuam no estado, cita que pela localização geográfica, o mesmo

possui a melhor distribuição pluviométrica durante o ano entre os estados brasileiros. Ainda o autor ressalta que:

Os principais sistemas meteorológicos responsáveis pelas chuvas no estado são as frentes frias, os vórtices ciclônicos, os cavados de níveis médios, a convecção tropical, a ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul) e a circulação marítima MONTEIRO (2001).

Acerca da precipitação o autor cita que no verão há grandes pancadas de chuvas originadas de nuvens cumulonimbus, nuvens estas, formadas pela alta intensidade do calor aliado a alta umidade. A primavera é a estação que apresenta o tempo mais instável devido aos Complexos Convectivos de Mesoescala (CCMs), fenômenos que se formam na Argentina e deslocam-se até Santa Catarina favorecendo a pancada de chuvas fortes com trovoadas e granizo. O autor cita ainda que os CCMs são mais comuns nos meses de setembro e outubro, para alguns municípios catarinenses, são os meses de maiores precipitações.

Santa Catarina é dividido em 14 unidades do relevo (Brasil 2016), de maneira mais simplificada Dias *et al.* (2009) propõe a separação em 3 compartimentos geomorfológicos: Serra Geral, Serra do Mar e baixada. A Serra Geral com mais de 1000m de desnível entre partes baixas e altas, serve como barreira física para nuvens vindas do oceano em direção ao interior, causando chuvas nas encostas da Serra do Mar. Segundo Escobar *et al* (2015) por causa da topografia da região do Vale do Itajaí, os ventos vindos de leste do oceano atlântico facilitam a convergência da umidade para o interior da região. Cavalcanti e Kousky (2009) citam que devido a localização geográfica, o litoral sul brasileiro é uma das regiões da América do Sul mais influenciados por sistemas frontais. Diante disso o Alto Vale é consequentemente uma das regiões com maior frequência de passagem dos sistemas frontais. Desta forma (Ceped UFSC, 2012) aponta o vale do Itajaí como a região mais afetada por desastres naturais relacionados às precipitações, como enxurradas, inundações e movimentos de massa.

No sul do Brasil, extremos de precipitação podem ser atribuídos à influência da Oscilação Decadal do Pacífico (GOUVEA et al. 2018). Os autores estabeleceram valores normais e extremos para a chuva na bacia do rio Itajaí usando a técnica de quantis, usaram dados da série histórica de 1930 a 2013. Para seus trabalhos usaram classes recomendadas pelo INMET: 0,1-2,5 mm, 2,5-5 mm, 5-10 mm, 10-15mm, 15-25 mm, 25-50 mm, 50-100 mm

e >100 mm. As classes de frequência a partir de 100 mm foram subdivididas em intervalos de 50.

Os seus resultados mostraram que a classe de 0,1-2,5 mm é a mais comum com a estação pluviométrica de Trombudo Central sendo a que apresentou a maior ocorrência. Já para o extremo de altas intensidades de chuvas as estações pluviométricas de Pomerode, Blumenau e Luiz Alves apresentaram as maiores frequências da classe de 200-250 mm. Em novembro de 2008 Blumenau teve o maior total pluviométrico, chegando a 250,9 mm em um único dia. Os anos de 1983 e 2008 foram os anos com os maiores volumes de chuvas, sendo que o ano de 2008 foi exceção, pois nesse ano não houve El Niño, e sim La Niña. Rocha *et al* (2009) com cálculos hidrológicos estatísticos estimaram um tempo de retorno para essa chuva em Blumenau de mais de 10.000 anos.

Corroborando com os autores anterior, Dias *et al* (2009) afirmam que novembro de 2008 quebrou vários recordes e foi o mês mais chuvoso, tanto para a região do Alto Vale, como também para a Grande Florianópolis e Litoral Norte. A forte precipitação no período foi oriunda de nuvens quentes (estratiformes) muito eficientes em gerar chuva, o que não é normal, visto que, precipitações extremas normalmente são criadas por sistemas de nuvens com alto desenvolvimento vertical, ou seja, nuvens frias. Além disso, as chuvas fortes no período de 20 a 24 de novembro, se deram pelo estabelecimento de um bloqueio atmosférico no oceano Atlântico, combinado com a ação de um vórtice ciclônico, que estava localizado entre o leste dos estados de Santa Catarina e Paraná, o que facilitou a ascensão do ar úmido ao longo da Serra do Mar o que causou o esfriamento e a condensação do ar. Aliado a isso, o estado de Santa Catarina durante 3 meses anteriores às ocorrências do fim de novembro, recebeu chuvas fracas, porém constantes, que contribuíram para a infiltração a consequentemente saturação do solo, resultando em inúmeros movimentos gravitacionais de massa que culminou em um dos desastres naturais mais marcantes da história de Santa Catarina.

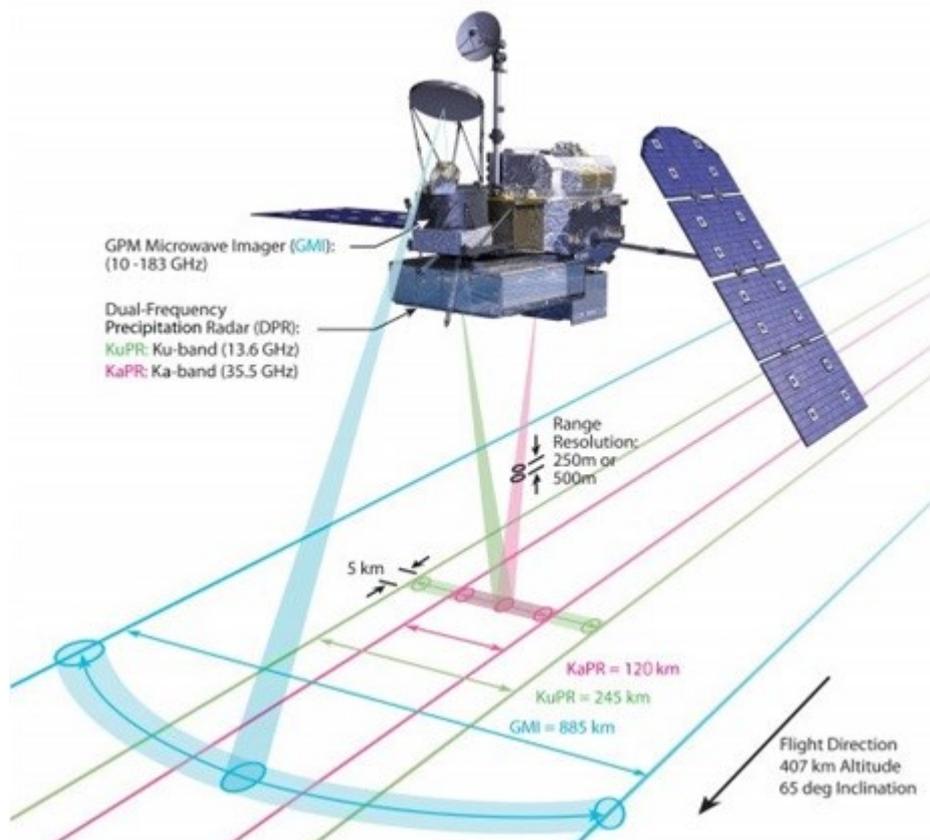
2.6 GPM (GLOBAL PRECIPITATION MEASUREMENT)

Em substituição a missão Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), a agência espacial americana National Aeronautics and Space Administration (NASA) junto com a agência espacial japonesa Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA), lançaram a

constelação de satélites GPM (*Global Precipitation Measurement*), o que representou um avanço substancial na estimativa de chuvas remotamente.

O satélite (Figura 9) possui dois instrumentos para estimar a chuva, sendo o GPM Microwave Imager, fornecido pela NASA que estima a precipitação de leve a forte e o Radar de Precipitação de Dupla Frequência (DPR), desenvolvido pela JAXA, que usa pulsos de radar emitidos para realizar medições pormenorizadas da estrutura e intensidade de chuva tridimensional (NASA, 2014).

Figura 9- Ilustração do satélite demonstrando os dois instrumentos: GPM Microwave Images e DPR



Fonte: NASA (2011).

Diversos estudos no Brasil e no exterior saíram nos últimos anos analisando a eficácia da missão GPM. Teodoro *et al.* (2020) analisando a precipitação diária para a bacia hidrográfica do Rio Sapucaí, localizada entre os estados de MG e SP concluíram que o produto (IMERG) - *Early Run* do *Global Precipitation Measurement* (GPM) subestima em média 27% a precipitação diária sobre a bacia, indicando que para a área de estudo não se tem uma boa correlação entre os dados do IMERG e os dados aferidos nos pluviômetros. Para esse

estudo os autores utilizaram métricas estatísticas de performance e de contingência. Com isso puderam concluir também que o relevo da Bacia interfere nas estimativas do IMERG.

Já para o estudo realizado no estado do Amazonas Santos *et al.* (2019) tiveram como objetivos validar as estimativas de precipitação feitas pelo satélite GPM. Após a comparação com os dados dos pluviômetros da ANA e do INMET os autores chegaram a resultados satisfatórios, tendo correlações superiores a 73%. Porém em alguns casos foi verificada uma subestimação ou uma superestimação dos dados de chuva. A partir disso, para a região de estudo os autores relatam que os produtos dos satélites podem ser usados embora não sejam 100% confiáveis.

Lelis *et al.* (2018) comparando o desempenho das missões GPM e TRMM com pluviômetros da DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo), constataram que 68% das medições foram superestimadas, já em 32% as medições foram subestimadas. Os maiores erros relativos foram observados nos meses de seca. Importante destacar que o estudo foi para a região leste do estado de São Paulo, os autores acharam a maior concordância de medições solo-satélite para a mesorregião de Campinas e menores concordâncias de medições para a região de Araraquara. O que dá para se perceber que diferentes regiões possuem diferentes resultados das métricas estatísticas.

Da mesma maneira Wei (2018) cita que ocorre uma variação de desempenho temporal e espacial do produto IMERG do satélite GPM. Ainda que este traga uma vantagem de precisão sobre os seus antecessores como o TRMM, ele subestimou severamente a precipitação para algumas áreas do estudo na China, principalmente no inverno. Concluindo que para a sua região de estudo o IMERG não é recomendado para estudos hidrológicos e de monitoramento.

Corroborando com os autores supracitados He *et al* (2017) analisando um conjunto de dados de 02 anos discorre que o IMERG supera o TRMM nas estimativas de precipitação, principalmente em eventos de chuvas moderadas e precipitações intensas, porém quando comparado ao solo o algoritmo IMERG tende a produzir uma superestimação dos valores de chuva.

Para uma bacia montanhosa no Sul da Polônia Gilewski & Nawalany (2018) compararam três fontes de dados diferentes: interpolação por pluviômetros, precipitação por radar e precipitação pelo IMERG GPM. Os autores apresentam que destas, a fonte mais confiável é a estimativa de precipitação por radar, sendo que o IMERG apresenta uma baixa resolução espacial. Eles apontam ainda que o curto tempo de latência das estimativas de

precipitação do IMERG GPM o torna uma boa opção de dados, em contraponto a resolução espacial é bastante esparsa, sendo isso desfavorável para análise de pequenas bacias, já que as grades de satélite podem exceder o local de estudo.

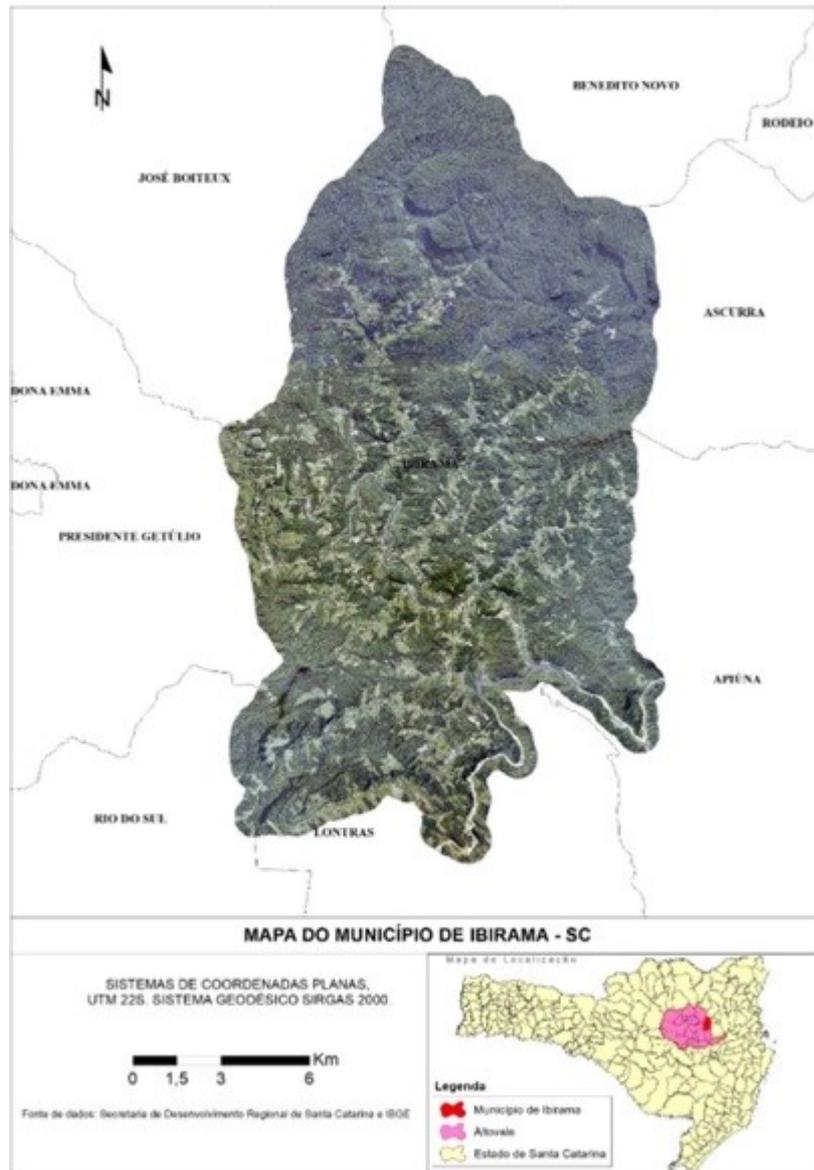
3 CARACTERIZAÇÃO DA CIDADE DE IBIRAMA – SC

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O Município de Ibirama (Figura 10) localiza-se na região do Alto Vale do Itajaí no estado de Santa Catarina, como ilustrado na Figura 9. Segundo o Censo populacional de 2009 (IBGE, 2010) sua população é de 17.330 habitantes, com população estimada de 19.950 habitantes para o ano de 2019. O município possui uma área total de 246,4 Km², com uma densidade populacional de 70,9 hab/km². O município encontra-se 217 km distante da capital do estado, Florianópolis (IBIRAMA, 2016). Segundo o Centro de Informática e Automação do Estado de Santa Catarina – CIASC (2016), Ibirama se situa 73 km distante da cidade de Blumenau. Seu acesso, a partir da rodovia BR-101, se dá pela BR-470 sentido Rio do Sul. Fazem divisa com Ibirama, os municípios José Boiteux, Presidente Getúlio, Rio do Sul, Lontras, Apiúna, Ascurra e Benedito Novo.

Ibirama nasceu as margens do Rio Itajaí do Norte que se encontra na Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí Açu. Sua ocupação teve início em 1897 tendo sua economia por muito tempo baseada na extração vegetal e na agropecuária de subsistência. Atualmente sua economia se baseia no setor de comércio e serviços.

Figura 10- Mapa do município de Ibirama - SC



3.1.1 Aspectos Ambientais

3.1.1.1 Hidrografia

Toda a hidrografia do município de Ibirama está inserida na Bacia do Rio Itajaí ou Itajaí-Açu. Na cidade localizam-se dois importantes rios do Estado de Santa Catarina, o rio Itajaí-açu e o rio Hercílio (Itajaí do Norte). O rio Itajaí-Açu é o rio mais importante do Vale do Itajaí. Forma-se no município de Rio do Sul, pela confluência do rio Itajaí do Sul com rio Itajaí do Oeste desaguando no Oceano Atlântico, na cidade de Itajaí. Seu maior afluente pela

margem esquerda é justamente o Rio Hercílio. Conforme (IBIRAMA, 2019) o município possui 13 sub-bacias. A sub-bacia que mais concentra registros de deslizamentos é a Rio Itajaí do Norte ou Rio Hercílio. Seus maiores afluentes são:

À margem direita: Ribeirão da Herta, Ribeirão da Luiza, Ribeirão das Pedras, Ribeirão Areado; já à margem esquerda: Rio Rafael, Rio Sellin, Ribeirão Taquaras.

3.1.1.2 Clima

O clima da região de Ibirama é classificado como Cfa, segundo Köppen, ou seja, Subtropical Constantemente Úmido, sem estação seca, com verão quente (temperatura média do mês mais quente maior que 22 °C). Segundo Braga e Ghellre (1999), apud EPAGRI (2003), o clima é mesotérmico brando com temperatura do mês mais frio maior que 13 e menor que 15 °C. A temperatura média anual varia de 17 °C a 19,1 °C. A temperatura média das máximas varia de 23,5 °C a 26 °C, e das mínimas de 11,8 °C a 15,4 °C. A precipitação pluviométrica total anual pode variar de 1.320 mm a 1.640 mm, com o total de dias de chuva anual entre 130 e 165, podendo também ocorrer eventualmente precipitação de granizo.

A umidade relativa do ar pode variar de 83 % a 85 %. Podem ocorrer, em termos normais, de 2,8 a 7,7 geadas por ano. A quantidade de horas em que a temperatura é igual ou abaixo de 7,2 °C varia de 164 a 437 horas por ano. Nessa sub-região, a insolação total anual varia entre 1.566 e 1.855 horas (EMBRAPA, 1998). Apesar de estar localizada em uma das regiões mais quentes do estado de Santa Catarina, já foi presenciado neve nas regiões mais altas do município, em especial no ano de 2013.

3.1.1.3 Vegetação

A vegetação de Ibirama é originalmente classificada como Floresta Ombrófila Densa (FOD). Originalmente essa vegetação correspondia a 1/3 da área total do Estado. Segundo KLEIN (1990) a FOD se caracteriza pela presença de uma estruturação com uma biodiversidade distinta, essa característica é bastante dependente das grandes árvores da camada superior da floresta, formando o primeiro estrato das macrofanerófitas. O segundo estrato é formado por árvores menores, ou estratos arbóreos médio, formados por mesofanerófitas. Sob este segundo estrato observa-se um terceiro estrato arbóreo formado pelas nanofanerófitas. De forma irregular e espalhada estão as ervas ocupando o quarto

estrato. Além desses estratos bem definidos ainda podemos observar uma diversidade de espécies de vida como as epífitas, as lianas, as constrictoras e os xaxins. Ocorre sob um clima ombrófilo sem período biologicamente seco durante o ano. Podem ser sub-divididas em aluviais, quando associada a rios, e de acordo com a altitude em Terras-baixas, Sub-montana, Montana e Alto-montana.

A cobertura vegetal do município de Ibirama era composta originalmente pela floresta tropical atlântica, sendo bastante devastada durante o ciclo da madeira. A área florestal que foi derrubada encontra-se hoje substituída por pastagens naturais, reflorestados com eucaliptos e pinus, capoeiras e culturas anuais onde predominam o fumo e o milho. No passado, houve intensa exploração da vegetação nativa, principalmente extrativismo madeireiro das espécies Canela-preta, Canela-Sassafrás, Perobas, Palmito-juçara e Cedro.

3.1.1.4 Geologia

Segundo CPRM (2016) Geologicamente no município, afloram rochas pelíticas do Membro Rio do Sul da Formação Taciba (~300Ma), rochas areníticas e conglomeráticas da Bacia Sedimentar do Itajaí, de idade Neoproterozoica (~560Ma), rochas do Complexo Granulítico de Santa Catarina, estas representadas por rochas gnáissicas/granulíticas, em especial da unidade Ortognaisse Pomerode com idade paleoproterozoica (~2,3Ga). Esta diversidade de terrenos resultará em uma pedologia muito peculiar, com solos variando desde argilosos até porções bem arenosas. A resposta destes solos aos processos de movimentação de massa também será diversificada. No Município de Ibirama, segundo mapeamento disponibilizado pelo CPRM, a geologia da área é definida por rochas sedimentares, metamórficas e ígneas. Sendo que acerca da litologia encontra-se rochas do tipo arenito, folhelho, siltito, sienogranito e gnaisse. Segundo Winge (2001):

- Arenito: é uma rocha sedimentar clástica, as quais suas partículas são do tamanho de areia. Ele possui uma matriz fina, síltico-argilosa, e cimento que pode ser de sílica, óxido/hidróxido de ferro, calcita. Pode apresentar estratificação, mas também ser maciço.
- Folhelho: é uma rocha sedimentar clástica fina e argilosa com estratificação finamente laminada.

- Siltito: Rocha sedimentar clástica formado em sua maioria por fragmento de mineral ou rocha muito fino do tamanho silte.
- Sienogranito: Rocha ígnea supersaturada formada por quartzo e feldspatosaos, os quais, por vezes, associam-se, em quantidades bem menores, minerais máficos, como a biotita, ou félsicos como a muscovita.
- Gnaisse: Rocha metamórfica, com uma granulação frequentemente média a grossa; composta de quartzo-feldspática. Possui uma estrutura variável, sendo desde maciça até com foliação, com bandas geralmente milimétricas.

Figura 11 - Folhelho na cidade de Ibirama



3.1.1.5 Geomorfologia

O município de Ibirama apresenta relevo de dissecação montanhosa, situado no limite oriental da cobertura sedimentar da bacia do Paraná e do embasamento cristalino do Leste Catarinense. Os arenitos lito-feldspáticos e conglomerados pré-cambrianos da Formação Gaspar do Grupo Itajaí, em contato por falha com o Complexo Granulítico de Santa Catarina, formam o essencial do substrato do domínio geomorfológico. Os folhelhos da Formação Rio do Sul de idade permiana constituem as colinas residuais mais elevadas (BRASIL, 2008).

O relevo e seus arredores apresentam uma intensa dissecação de superfícies e formas aguçadas bem visíveis podendo ser qualificado como relevo montanhoso.; Geomorfologicamente, o município de Ibirama se destaca pelas planícies aluviais dos rios Itajaí do Norte (ou Hercílio) e Itajaí-açu encaixadas em relevo residual com destaque para morros altos a baixos.

3.1.1.6 Pedologia

O município de Ibirama-SC possui três classes de solo no decorrer de seu território, segundo classificação fornecida pela EMBRAPA (2004), são estes: Argissolo Vermelho-Amarelo (Figura 12), Cambissolo Háptico e Neossolo Litólico. As características principais de cada classe serão explanadas a seguir.

- Argissolo Vermelho-Amarelo: Solos bastante intemperizados e de baixa fertilidade, bastante associados a regiões de vegetação tropical e subtropical. Evolução avançada, apresentando baixa coesão nas camadas superficiais e baixa permeabilidade nas camadas profundas possuindo alto risco de erosão e movimentos de massa translacionais (EMBRAPA, 2004).
- Cambissolo Háptico: Solos pouco desenvolvidos e pedogênese pouco avançada. Apresentam pequenas espessuras de solo e estão ligados a topografias acidentadas e com maiores declividades (LEPSH, 2010).
- Neossolo Litólico: Solos pouco evoluídos, muito mineralizados devido a sua proximidade com o material de origem. Predominam em locais com forte declividade e relevo ondulado, bastante suscetível à erosão (EMBRAPA, 2004).

Figura 12 - Argissolo Vermelho-amarelo derivado de gnaiss na cidade de Ibirama



3.2 CARACTERIZAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS

Ibirama é uma cidade que historicamente tem sido afetada por desastres naturais. Segundo arquivos disponibilizados pela Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil-COMPDEC, entre os anos de 1974 e 2017 houve 21 decretações ocasionadas por desastres naturais. Ainda de acordo com a plataforma S2ID – Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (BRASIL, 2020a), tem-se o registro de 20 eventos, os quais são: Tempestades convectivas, alagamentos, estiagem, enxurradas, inundações e deslizamentos. É importante salientar que nem todos os eventos cadastrados na plataforma S2ID geraram algum tipo de decretação. Entre os anos de 2013 e junho de 2019 foram 4 decretações de situação de emergência no município: 2013, 2014, 2015 e 2017, as quais foram de deslizamentos com alagamentos e apenas deslizamentos. Já a plataforma S2ID para esses anos supracitados traz Tempestades convectivas, Enxurradas e Deslizamentos. Uma análise que merece destaque segundo a COMPDEC, que mesmo quando foram registrados eventos como enxurradas e alagamentos, ainda estes, estavam associados a deslizamentos, mas pelo fato de ser

incorporado ao registro o evento mais representativo e de maiores proporções, os deslizamentos não eram registrados como o principal evento.

Quadro 3- Desastres que geraram decretos pela COMPDEC e desastres cadastrados no S2ID

Decretos de Emergência	Evento	Plataforma S2ID	Evento
2013	Deslizamento e Alagamento	2013	Deslizamentos
2014	Deslizamento e Alagamento	2014	Deslizamentos
2015	Deslizamento	2015	Tempestade Convectiva
2017	Deslizamento	2015	Deslizamentos
		2016	Enxurrada
		2016	Deslizamentos
		2016	Deslizamentos

Conforme o Formulário de Informações de Desastre - FIDE (BRASIL, 2013) o evento ocorrido em 2013 (Figura 13) atingiu a área rural e a urbana. Entre desabrigados e desalojados houve 30 pessoas. Alguns deslizamentos atingiram partes de residências, além de reflorestamentos em áreas rurais e também afetaram o abastecimento de água de algumas empresas. Segundo dados repassados da COMPDEC à mídia, foram registradas 98 ocorrências, entre alagamentos, deslizamentos, quedas de pontes, quedas de árvores, desprendimentos de rochas e monitoramentos em áreas de risco.

Figura 13 (a) (b) - deslizamentos ocorridos em 2013



Fonte: COMPDEC (2022).

No evento ocorrido no ano de 2014 (Figura 14) segundo (BRASIL, 2014) o escoamento agroindustrial foi temporariamente interrompido pelos deslizamentos que obstruíram as estradas urbanas e vicinais, como também os danos causados em pontes. A Defesa Civil Municipal de Ibirama teve que fazer a retirada temporária de pessoas que

moravam em áreas de maior vulnerabilidade. Nesse evento um deslizamento acabou danificando uma adutora da CASAN – Companhia Catarinense de Águas e Saneamento deixando um bairro da cidade sem o abastecimento por horas.

Figura 14 (a) (b) - deslizamentos ocorridos em 2014



Fonte: COMPDEC (2020).

Em 2015 (Figura 15) o Rio Itajaí do Norte (que corta a cidade) ficou a 19 cm de entrar na cota de emergência. Além dos danos causados na área urbana da cidade por deslizamentos, nas áreas rurais a perda foi bem significativa em culturas agrícolas e açudes por erosões. Ocorreram diversos deslizamentos na rodovia federal BR-470 afetando a trafegabilidade por horas. Para o setor público o valor total do prejuízo econômico chegou a R\$ 1.626.456,45 e para o privado foi de R\$ 1.520.935,50 (BRASIL, 2015).

Figura 15 (a) (b)- Deslizamentos ocorridos em 2015



Fonte: COMPDEC (2020).

No ano de 2016 (Figuras 16 e 17) não houve decreto, todavia o decreto de 2017 é ocasionado por um evento que se deu no dia 30/12/2016. Segundo (BRASIL, 2016) houve um período de chuvas constantes que se iniciaram no dia 20 de agosto gerando vários transtornos,

em especial deslizamentos. Os principais bairros afetados foram o Anchieta e Operário, com deslizamentos que afetaram partes de residências e muros, além de bloqueio novamente da rodovia federal BR-470 que gerou quilômetros de congestionamento. Já no evento de dezembro, foi característico pela forte chuva horária, chegando a quase 50 mm/h. Nesse dia algumas famílias da área rural ficaram isoladas devido ao bloqueio de vias bem como o sistema de drenagem da cidade não foi suficiente para drenar toda a água precipitada, resultando assim em vários pontos de alagamento na cidade. (BRASIL, 2016) relata que houve mais de 500 pessoas afetadas. Foram verificados 27 pontos afetados por deslizamentos. A elevada carga de sedimentos resultantes de deslizamentos e erosões em cursos d'água, causou a turbidez de forma que a CASAN interrompeu durante 6 horas o abastecimento de água no município.

Figura 16 - Deslizamentos ocorridos em 2016



Fonte: COMPDEC (2020).

Figura 17- Deslizamentos ocorridos em 2016



Fonte: COMPDEC (2020).

4 METODOLOGIA

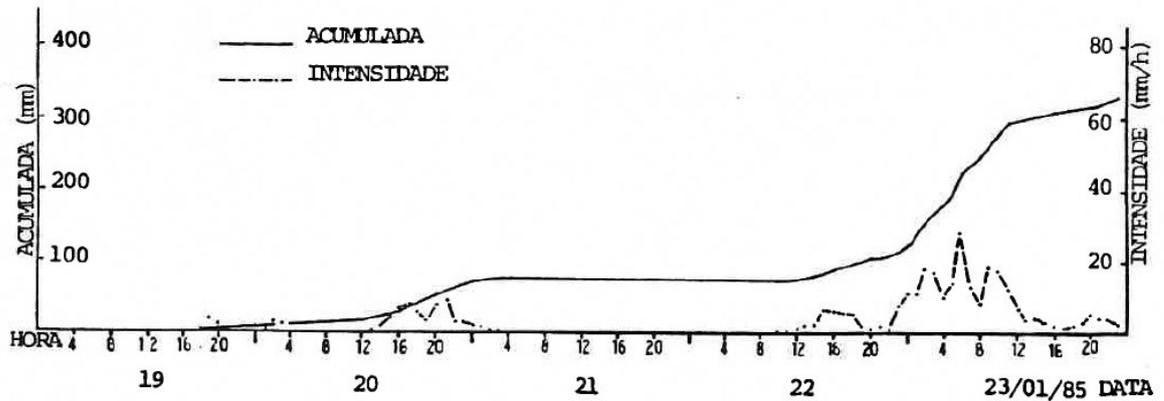
Para entender os mecanismos que rodeiam a correlação entre chuva e movimentos de massa, buscou-se examinar os eventos históricos no município de Ibirama em que ocorressem essa interação. Além do fenômeno “chuva-movimentos de massa”, a busca se baseou também em fatores que pudessem contribuir para o desencadeamento de tal evento, entre eles, a declividade, a geologia e a geomorfologia.

A metodologia utilizada no presente trabalho teve início com a coleta de dados junto a COMPDEC e também o histórico de chuvas coletados pelo pluviômetro do CEOPS- Centro de Operação do Sistema de Alerta FURB. De forma que seguirá a lógica proposta por Tatizana *et al.* (1987) tendo como objetivo determinar limiares críticos de chuva para o município de Ibirama – SC. Além disso comparar as estimativas de precipitação do IMERG, com o pluviômetro. Caso a comparação apresente resultados satisfatórios, serão utilizadas as estimativas do algoritmo para o método de correlação chuva-deslizamento para abranger áreas que não possuem uma rede de pluviômetros disponíveis para a aferição da taxa de precipitação.

4.1 PROPOSTA DE TATIZANA *et al.* (1987)

Para o estudo realizado na Serra do Mar foram coletados dados pluviométricos no Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo- DAEE e o registro da ocorrência de deslizamentos em imprensa e órgãos públicos. Foram selecionados 35 eventos e lançados em gráficos de acumulada e intensidade horária, possibilitando a observação a nível qualitativo e quantitativo a relação dos deslizamentos com a intensidade e de chuvas acumulada em 4 dias (Figura 18).

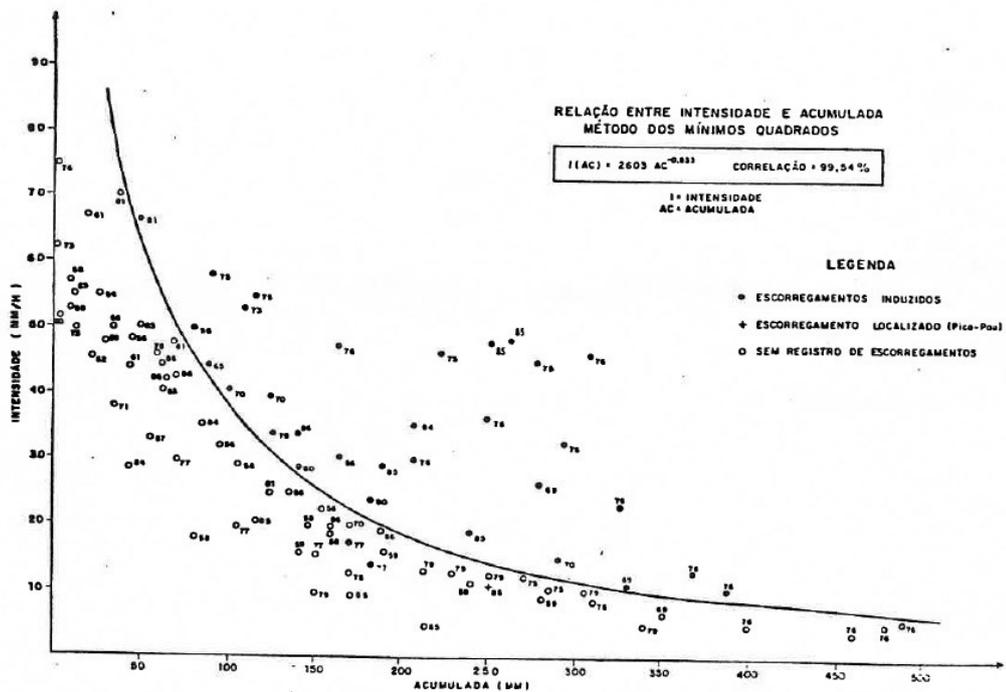
Figura 18- Gráfico de Acumulado x intensidade horária de Tatizana



Fonte: Tatizana *et al*, (1987).

Posterior ao lançamento das informações no gráfico, foi possível separar por meio de uma curva os eventos sem registro de deslizamentos com os eventos de deslizamentos com o gráfico das envoltórias de deslizamentos induzidos (Figura 19).

Figura 19- Gráfico da envoltória de deslizamentos induzidos. Posto Pluviométrico da Onça (E3-153 R) - Setor Refinaria.



Fonte: Tatizana *et al* (1987).

A partir dessa relação obteve-se a equação da envoltória associada a chuva acumulada em 4 dias x intensidade horária:

$$I(Ac) = K \times Ac^{-b} \quad (1)$$

Onde:

I = intensidade horária da chuva (mm/h);

Ac = acumulado de chuva em 4 dias anteriores (mm);

K, b = constantes de relação geométrica. Variam com as propriedades geotécnicas das encostas e das condições climáticas específicas.

Para determinar o K e o b foi utilizado método dos mínimos quadrados (M.M.Q) com alguns pontos da curva traçada manualmente e a relação funcional ficou:

$$I(Ac) = 2603 \times Ac^{-0,933} \quad (2)$$

Da análise desta função, conclui-se que o aumento de saturação do solo provoca uma diminuição da intensidade horária suficiente para o desencadeamento de deslizamentos, não numa relação linear, mas geométrica. Ainda Tatizana *et al* (1987a) diz que isso explica o porquê das chuvas convectivas mais intensas, apesar de apresentarem os mais altos valores de intensidade horaria, não apresentarem altos riscos de deslizamentos. É verificado que eventos de chuva contínua, com picos de intensidade no final do evento chuvoso são as situações que tem a maior probabilidade de risco de deslizamentos. A função $I(Ac) = 2603 \times Ac^{-0,933}$ é denominada como envoltória de deslizamentos induzidos, pois os registros desses deslizamentos foram em áreas ocupadas ou em trechos de rodovias.

4.2 MÉTODO DE COMPARAÇÃO IMERG-PLUVIÔMETRO

A metodologia de comparação dos dados consistiu em fazer a análise pixel a pixel ou pixel ponto, onde compara-se pelas coordenadas geográficas a localização do pluviômetro correspondente ao *pixel* do IMERG. Os resultados da comparação dos dados observados no pluviômetro e observados no satélite se baseiam em métricas estatísticas de avaliação da performance do IMERG em estimar a precipitação. Os parâmetros estatísticos usados foram: Coeficiente de determinação (R^2), a raiz do erro médio quadrático (RMSE), Coeficiente de correlação de Pearson (CP) e o Coeficiente de eficiência Nash Sutcliffe (NS). As equações usadas na avaliação estatística estão a seguir:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{n=1}^N (IMERG_n - OBS_n)^2}{\sum_{n=1}^N (OBS_n - \overline{OBS})^2} \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{n=1}^N (IMERG_n - OBS_n)^2} \quad (4)$$

$$CP = \frac{\sum_{n=1}^N (IMERG_n - \overline{IMERG})(OBS_n - \overline{OBS})}{\sqrt{\sum_{n=1}^N (IMERG_n - \overline{IMERG})^2} \sqrt{\sum_{n=1}^N (OBS_n - \overline{OBS})^2}} \quad (5)$$

$$NS = 1 - \frac{\sum_{n=1}^N (IMERG_n - OBS_n)^2}{\sum_{n=1}^N (OBS_n - P)^2} \quad (6)$$

O coeficiente de determinação (R^2) varia de valores entre 0 e 1, podendo ser expresso em porcentagem, valores próximos a 1 ou 100% indicam um melhor cenário. O RMSE é a raiz quadrada do erro médio, mede a precisão em milímetros, quanto mais próximo a 0, mais preciso é o valor, ou seja, valores menores indicam uma boa estimativa entre IMERG e o pluviômetro. O coeficiente de correlação de Person (CP) assume valores de -1 a 1, valores mais próximos a -1 indicam uma correlação negativa entre as variáveis sendo considerada correlação insatisfatória, enquanto valores mais próximos a 1 indicam uma correlação perfeita positiva. O Coeficiente de eficiência Nash Sutcliffe (NS) é usado para avaliação de modelos hidrológicos, sendo para este estudo, usado na estimativa de precipitação pelo satélite. Os valores podem variar $-\infty$ a 1, valores tendendo a ser mais perto de 1 indicam uma combinação mais perfeita entre o resultado observado e o estimado.

4.3 DADOS

4.3.1 Dados de deslizamentos

As ocorrências de deslizamentos foram obtidas com visitas *in loco* à Defesa Civil de Ibirama. Foram selecionados dados do intervalo de 2013 a junho de 2019. O fato que justifica esse íterim de tempo estabelecido para o estudo, foi em virtude de 2013 ser o ano em que uma nova diretoria assumiu a Defesa Civil municipal e os dados de deslizamentos começaram a ser catalogados em fichas de ocorrências. Logo os dados coletados junto a COMPDEC foram registrados totalizando seis anos e meio de registros para análise.

Na Coordenadoria os dados são organizados em meio físico com fichas de ocorrências separadas por ano, muitas delas acompanhadas por laudos de vistoria detalhando a ocorrência. Desta forma, à medida que eram obtidos os dados, uma filtragem já era realizada para o descarte ou não da ocorrência. Quando era verificado apenas um deslizamento ocorrido no dia, então era verificado o total precipitado daquele dia e o contexto da sua ocorrência. Para esses casos foi averiguado um baixíssimo volume precipitado com nenhum ou pouco acumulado de chuva, desta forma chegávamos à conclusão de que eram eventos resultantes de terraplenagens mal executadas ou ainda em fase de execução, não sendo realizado nenhuma medida preventiva de controle de movimentos de massa, e também deslizamentos resultantes de ruptura de sistemas de drenagens. Além disso, foram descartadas ocorrências oriundas de solapamento de margens fluviais.

Após a classificação, chegou-se a um total de 136 ocorrências de deslizamentos, porém é importante salientar que algumas delas foram solicitadas pela Prefeitura de Ibirama e algumas pelo CBVI – Corpo de Bombeiros Voluntário de Ibirama. Ocorrências estas, que poderiam ter mais de um evento por ficha de ocorrência, geralmente deslizamentos de pequeno porte e bloqueio de vias públicas, todavia, para otimizar o tempo e por falta de pessoal, eram marcadas como “diversos” em uma única ocorrência.

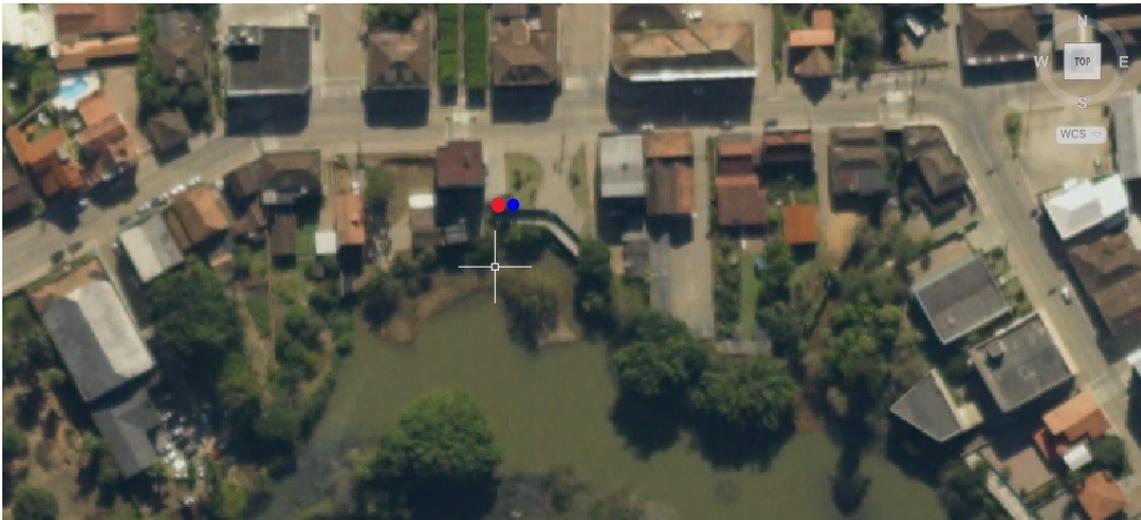
Salienta-se também, que nem todas as ocorrências possuíam todas as informações necessárias, algumas apresentavam a ausências de data, hora, localização geográfica, requerente e etc. Desta forma, criou-se um banco de dados em meio eletrônico com todas as ocorrências descartando aquelas que não apresentavam todas as informações. Ao final foram recortadas 62 ocorrências como “completas” para serem processadas no método de Tatizana *et al.* (1987a), e outras ocorrências que não estavam completas, mas continham a localização geográfica dos deslizamentos, foram também incluídas para a correlação com o meio físico, para os resultados da análise espacial dos deslizamentos.

4.3.2 Dados pluviométricos

O município de Ibirama conta com dois pluviômetros oficiais, um do CEOPS e outro da Agência Nacional de Águas – ANA. A localização dos pluviômetros segue na Figura 20, são pluviômetros muito próximos um do outro, com a diferença de apenas alguns metros. O pluviômetro do CEOPS trabalha com dados de chuva de 15 em 15 minutos, com isso foi possível trabalhar com leituras que servem de subsídio para cálculos horários de chuva em

milímetros/hora, já o da ANA, trabalha apenas com dados diários, ou seja, leva em consideração só o acumulado de um dia inteiro de chuva. Para a aplicação da metodologia do estudo era necessário dados horários que mais se aproximassem da hora exata em que ocorreu o deslizamento.

Figura 20- Imagem Ortoretificada de Ibirama com a localização dos dois pluviômetros sendo o da ANA (vermelho) nas Coordenadas UTM: 647119.7766m E e 7006767.0412m S e do CEOPS (azul) nas Coordenadas UTM: 647123.9409m E e 7006767.1780m S



Cordialmente o CEOPS disponibilizou para este trabalho, os dados de janeiro de 2013 a junho de 2019. Nesse intervalo de tempo foi verificado que no ano de 2018 não houve registro de chuva pelo pluviômetro de alguns meses, desta forma, 6 ocorrências de movimentos de massa ocorridas em 2018 foram descartadas no presente trabalho. Importante salientar que como a ausência de dados era grande em termos temporais, não foi possível aplicar métodos hidrológicos de preenchimento de falhas de chuvas.

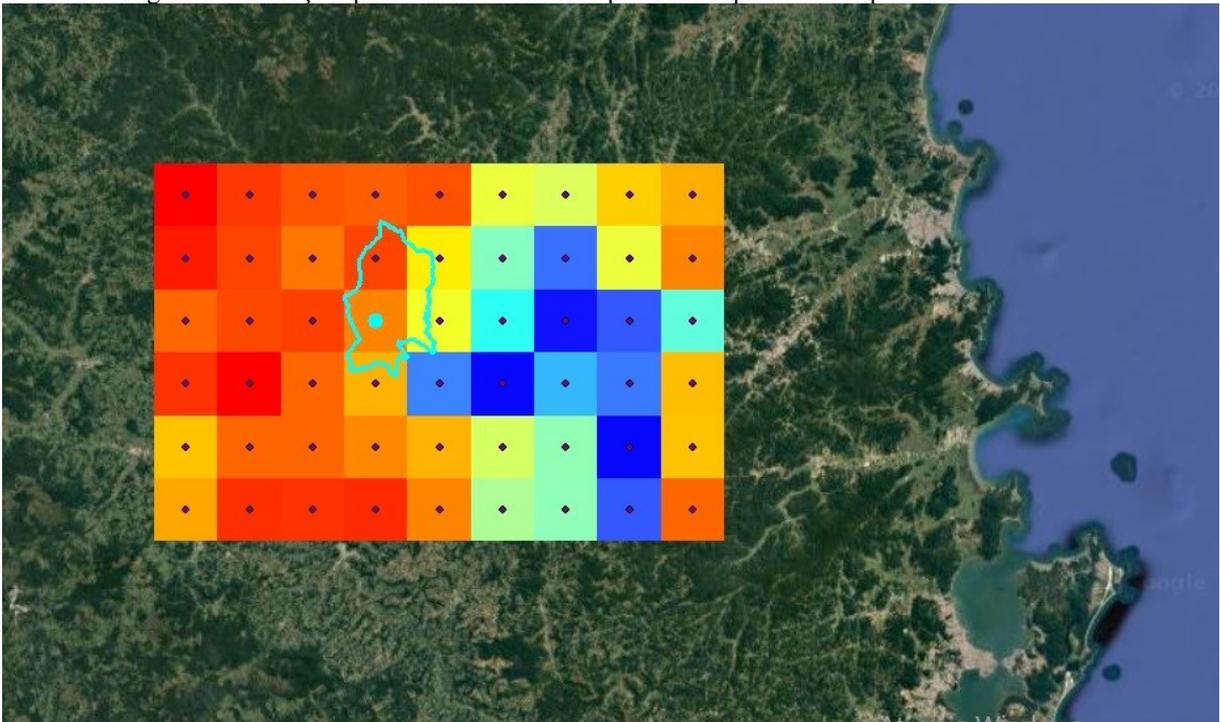
4.3.3 Dados do IMERG

Para este estudo foram utilizados dados de precipitação diária do produto *Early run* do algoritmo IMERG do GPM. Esta base está disponibilizada na plataforma *GIOVANNI* da NASA, sendo que os dados diários são obtidos a partir do acumulado das estimativas realizadas a cada 30 minutos. A justificativa do uso do produto *Early run* se dá pelo fato dele ser o produto inicial, disponibilizado em 06 horas após a captura do satélite, adequando-se com o objetivo do estudo, que é de estimar a precipitação quase que em tempo real. Já o produto *final run* passa por uma validação de campo e é disponibilizado 4 meses após a data

de passagem do satélite. As datas selecionadas para a comparação foram todos os acumulados de 96h anteriores aos eventos de deslizamentos demonstrados nesse estudo, seguindo o período de tempo estudado por Tatizana *et al* (1987).

A plataforma *GIOVANNI* disponibiliza os dados em formato GeoTiff. A sua resolução é de 0,1° de Latitude por 0,1° de Longitude. Os arquivos adquiridos do IMERG referem-se ao período de 00:00 h às 23:59 h dos dias selecionados. Os dados levantados foram processados no *software ArcGis®* (Figura 21), para tanto foi usado as ferramentas *extract to mask e clip* para o ajuste da área de estudo e *point to raster* para a extração do valor de cada pixel e posteriormente convertido na extensão .CSV, correspondente com o local georreferenciado do pluviômetro para posterior comparação. Destaca-se que quando eram verificados valores em milímetros diários iguais a 0 no íterim das 96h de acumulados, ou seja, dias que não houve precipitação, então estes eram descartados da análise.

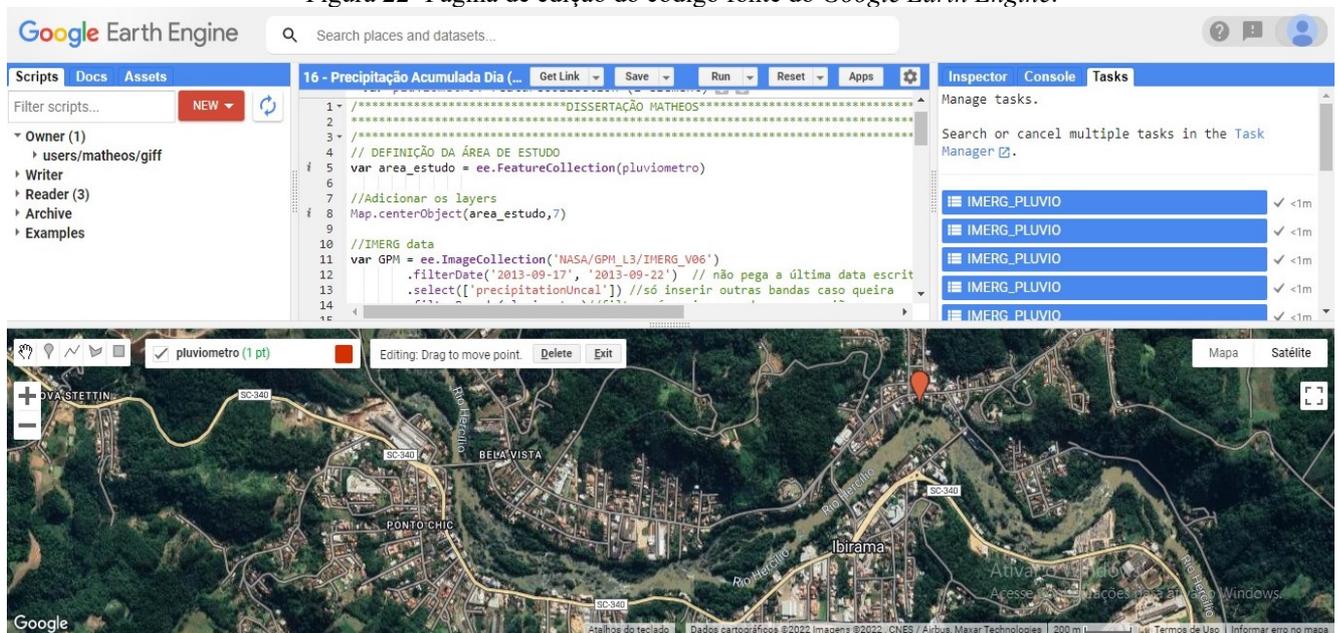
Figura 21- Extração quantitativa do valor do pixel correspondente ao pluviômetro analisado.



Com o objetivo de automatizar o valor do pixel extraído, elaborou-se um script (Figura 22) em linguagem *Javascript*. na plataforma *Google Earth Engine* (GEE), onde é permitido realizar a análise de informação geoespacial em nuvem, por meio da ferramenta *code editor*. Dessa forma, de maneira resumida, o código desenvolvido é composto com a

definição da área de estudo, usando imagens da coleção GPM (NASA/GPM_L3/IMERG_V06), filtrando a data de interesse com a banda desejada do usuário, usando uma função para agregar a propriedade dia do ano no formato ano/mês/dia. Ainda é inserido mais um filtro para tudo que tem a propriedade “Day”, utilizando a função de somatória (sum) para acumular dados diários. Por fim inserido a função `Export.table.toDrive({}` é possível ao usuário exportar os dados no formato .CSV para seu drive, para posterior *download*. O código elaborado na sua forma completa é apresentado no Apêndice A.

Figura 22- Página de edição do código fonte do *Google Earth Engine*.



4.3.4 Dados Cartográficos

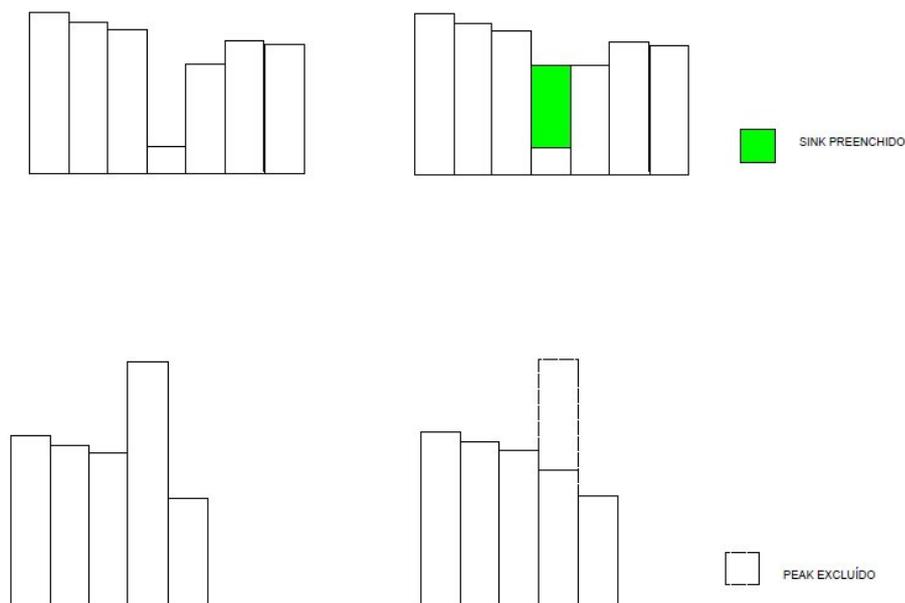
Reis *et al.* (2003) repostam que para a elaboração de modelos capazes de avaliar a susceptibilidade de deslizamentos e a suas variáveis independentes só foi permitida pelo uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Uma vez que propicia o cruzamento de um grande número de temas cartográficos e a análise estatística. Diante disso, buscou-se a aquisição dos dados cartográficos, para o seu geoprocessamento e seguimento dos produtos para contextualizá-los com a pesquisa.

Para o presente estudo, foram usados produtos cartográficos elaborados pela empresa Engemap com o levantamento pelo Sistema Aerofotogramétrico SAAPI realizado entre 2010

e 2011 e disponibilizados pelo Governo do Estado de Santa Catarina, por meio da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDS). Um dos produtos é a ortofoto colorida com elemento de resolução no terreno (Ground Sample Distance – GSD) de 0,39 metros em formato geoTIFF. Por meio desse produto foi possível analisar o local do município em que se concentrava a maior densidade dos deslizamentos, por meio da técnica “heat map” ou mapa de calor, que consiste na detecção de uma maior atividade e distribuição de um certo dado, para tanto foi usado a ferramenta *Density* do *software ArcGis®*

Para o processamento do mapa da declividade usou-se o MDE (Modelo Digital de Elevação), do levantamento aerofotogramétrico disponibilizado pelo estado de Santa Catarina, com pixel de 1 metro (tamanho de cada célula) sendo um arquivo do tipo *RASTER*. Segundo Gripp Jr (2009b) MDE é “a representação da superfície da Terra, no modo digital cuja característica principal é descrever a morfologia de uma área qualquer de forma contínua”. O MDE precisa ser consistente hidrológicamente (MDEHC), com isso, antes do seu uso é preciso realizar algumas correções. O MDE possui alguns erros (Figura 23) que são como falsas “depressões” (*SINKs*) ou “picos” (*PEAKs*) representados por células maiores ou menores das células ao seu redor. A ferramenta usada no *software ArcGis®* para fazer tal correção é a *Fill*. Essa ferramenta preenche as depressões como também elimina os picos do MDE, resultando assim em um MDEHC.

Figura 23- Sink (depressão) e Peak (pico)



Após esse tratamento do MDE, foi usado a ferramenta *slope* para gerar a declividade. Para a classificação da declividade usou-se duas unidades, a porcentagem (%) e também graus (°). Sua classificação deu de tal maneira, que se criou classes baseados em parâmetros que estão em leis federais. A Lei federal 6.766 de 1979 que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano nos traz que:

Art. 3º Somente será admitido o parcelamento do solo para fins urbanos em zonas urbanas, de expansão urbana ou de urbanização específica, assim definidas pelo plano diretor ou aprovadas por lei municipal.

Parágrafo único - Não será permitido o parcelamento do solo:

III - em terrenos com declividade igual ou superior a **30% (trinta por cento)**, salvo se atendidas exigências específicas das autoridades competentes BRASIL (1979).

Já o Código Florestal Lei12.651/2012 quando trata de declividade nos diz que:

Art. 4º Considera-se Área de Preservação Permanente, em zonas rurais ou urbanas, para os efeitos desta Lei:

V - as encostas ou partes destas com declividade superior a 45°, equivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive;

Art. 11. Em áreas de inclinação entre 25° e 45°, serão permitidos o manejo florestal sustentável e o exercício de atividades agrossilvipastoris, bem como a manutenção da infraestrutura física associada ao desenvolvimento das atividades, observadas boas práticas agronômicas, sendo vedada a conversão de novas áreas, excetuadas as hipóteses de utilidade pública e interesse social BRASIL (2012).

A classificação da declividade também se baseou conforme proposto por (EMBRAPA, 1979), onde o relevo é classificado em 6 classes correspondendo em % o valor da declividade como é indicado na tabela 02:

Tabela 2- Declividade/relevo conforme EMBRAPA.

Declividade (%)	Relevo
0-3	Plano
3-8	Suave-Ondulado
8 - 20	Ondulado
20-45	Forte-Ondulado
45-75	Montanhoso
>75	Escarpado

Fonte: Embrapa (1979).

Ainda, utilizando-se de dados cartográficos, procurou-se investigar quais os aspectos da geologia e pedologia estariam ligados às causas dos acidentes. Diante disso foi produzido o mapa de unidades geotécnicas para Ibirama – SC. Para tal, foram utilizadas informações cartográficas do Mapa de Solos do Estado de Santa Catarina (EMBRAPA, 2004) escala 1:250.000 e com base na Carta Geológica da Folha Curitiba (CPRM, 2010) ao Milionésimo.

4.3.5 Construção de limiares críticos

Como demonstrado no item da Fundamentação teórica e Metodologia, no estudo de Tatizana *et al* (1987a). os autores correlacionaram as precipitações acumuladas de 4 dias (mm) com a precipitação horária que desencadeiam movimentos gravitacionais de massa. De forma análoga aplicou-se a sua metodologia para o município de Ibirama para o período de 06 anos e meio.

Após a filtragem e organização dos dados o modelo proposto começou a ser construído. Uma vez os dados organizados no *software Excel*®, tratou-se de identificar as datas e os horários em que ocorreram ou que mais se aproximavam do momento exato da deflagração dos deslizamentos. Para isso além das fichas de ocorrências que continham os horários, também foram contatados munícipes que fizeram o acionamento do COMPDEC, bem como servidores públicos da Prefeitura Municipal dos Departamentos de obras e também do Planejamento. O Quadro 4 demonstra um exemplo do banco de dados montado com algumas ocorrências no ano de 2014, a organização completa das ocorrências encontra-se no Apêndice B.

Quadro 4- Exemplo de banco de dados de ocorrências

DATA	COORDENADAS		HORÁRIO LOCAL
08/06/2014	27°00'02.3"	49°33'53.1"	14:15
08/06/2014	27°00'21.1"	49°32'47.6"	14:15
08/06/2014	27°02'24.4"	49°31'11.5"	13:15
08/06/2014	27°01'59.3"	49°31'45.4"	13:15
08/06/2014	27°02'08.8"	49°31'51.5"	13:15
08/06/2014	27°05'13.5"	49°31'24.3"	13:00
08/06/2014	27°03'29.4"	49°30'11.8"	13:00
08/06/2014	27°05'16.0"	49°31'30.5"	13:00
08/06/2014	27°03'44.6"	49°34'25.7"	13:00
08/06/2014	27°01'32.0"	49°31'00.7"	13:00
10/06/2014	27°02'32.1"	49°31'03.6"	13:00

Uma vez identificado o horário das ocorrências então buscou-se identificar os acumulados de chuva de 96h anteriores ao evento. Conforme Tatizana *et al.* (1987a) foram organizados dados de deslizamentos com ocorrência de chuva horária, acumulados de 1h, 3h, 6h, 24h, 48h, 72h e 96h. Dessa forma, foram incluídos esses dados para cada ocorrência, como exemplo segue o quadro 5. Todos os acumulados de todas as ocorrências usadas neste trabalho encontram-se no Apêndice C.

Quadro 5- Exemplo de banco de dados de chuvas

	Precipitação diária							
	mm/min	01h	03h	06h	24h	48h	72h	96h
Chuvas com ocorrência	0,4	2,6	6,8	13,6	35,2	50,6	83,4	83,4
	0,2	2,2	6,2	13,8	36,6	52,4	85,2	85,2
	0,4	1,6	3,6	7,4	52,4	52,4	54	54
	2	9,6	15	31,8	39	39	40,4	71,8
	3	10	16,8	18,6	36,8	36,8	46	70,6
	1,2	7,4	13,6	28,6	58,8	80,2	120,4	120,4
	1,4	5,6	11,2	24,2	67,8	89,2	129,4	129,4
	6	15,2	15,2	15,2	51	79,4	92,2	92,2
	4,8	15,4	25,4	37,6	84	113	127	127,4
	4,6	17,4	28	41,6	87,4	117,6	131,6	132
	3,6	13,8	33	48,4	91	126,8	140,8	141,2

Os deslizamentos que geraram essas ocorrências ainda foram classificados e divididos em dois grupos: Com decreto e sem decreto. Os dois grupos de movimentos de massa são oriundos do tipo de deslizamento translacional. Deslizamentos sem decreto se referem a deslizamentos que ocorreram em cortes de estradas ou deslizamentos pontuais em áreas antropizadas, podendo ter ocorrido em várias localidades do município, porém de pequeno porte e conforme Decreto Federal nº 7.257/2010, Instrução Normativa 01 de 24 de agosto de 2012 e Lei Federal nº 12.608/2012 não atenderam aos critérios para a decretação. Já deslizamentos com decreto foram múltiplos deslizamentos que afetaram o município, atingindo áreas não antropizadas e também residências em áreas urbanas e rurais, bloqueando vias de acesso onde devido aos danos e prejuízos foram decretadas Situações de Emergência. Para o intervalo do estudo houve 4 decretações – 2013, 2014, 2015 e 2017.

Tatizana *et al.* (1987 a,b) usaram valores de precipitação associados a ocorrências de 100mm em um dia, ou 150 mm em 2 dias, ou 200mm em 3 dias consecutivo. Visto que, cada região tem a sua particularidade como a climatologia local, buscou-se estabelecer outro

critério no presente estudo. Então foram selecionadas todas as 62 ocorrências que tinham caráter de “completas” para a análise, independente do total pluviométrico distribuídos nas 96h, apenas separando-as em função do estado de decretação.

Após a classificação das chuvas com ocorrência, então se buscou classificar as chuvas sem ocorrências. Foram recortados valores de chuvas no íterim das 96h, sendo as chuvas mais representativas, mas que não tivessem gerado nenhum evento de deslizamento.

Ainda no *software Excel*®, foram produzidos os gráficos de correlação combinando 06 valores de pares pluviométricos: 01hx72h, 01hx96h, 06hx72h, 06hx96h, 24hx72h e 24hx96h. Os elementos plotados nos gráficos foram as chuvas sem ocorrência; deslizamentos sem decreto, deslizamentos com decreto, além das envoltórias, que delimitam a zona onde há mais probabilidade de um evento de chuva com ocorrência de deslizamentos.

A construção das envoltórias foi realizada manualmente por tentativa e erro até obter o melhor ajuste, de modo que, as linhas tangenciassem o maior número de eventos com ocorrência que continham o valor mais baixo. Uma vez a curva traçada, foi obtida então, as equações da reta para os 06 gráficos.

5 RESULTADOS

Posteriormente a coleta de dados demonstrado, foi estabelecido os principais aspectos relacionados aos deslizamentos e a análise da precipitação por satélite. Tanto ligados a temporalidade correlacionada com aspectos pluviométricos como também da espacialidade com atributos do solo, correlação chuvas-deslizamentos e a comparação dos valores observados pelo pluviômetro com os valores aferidos pelo GPM.

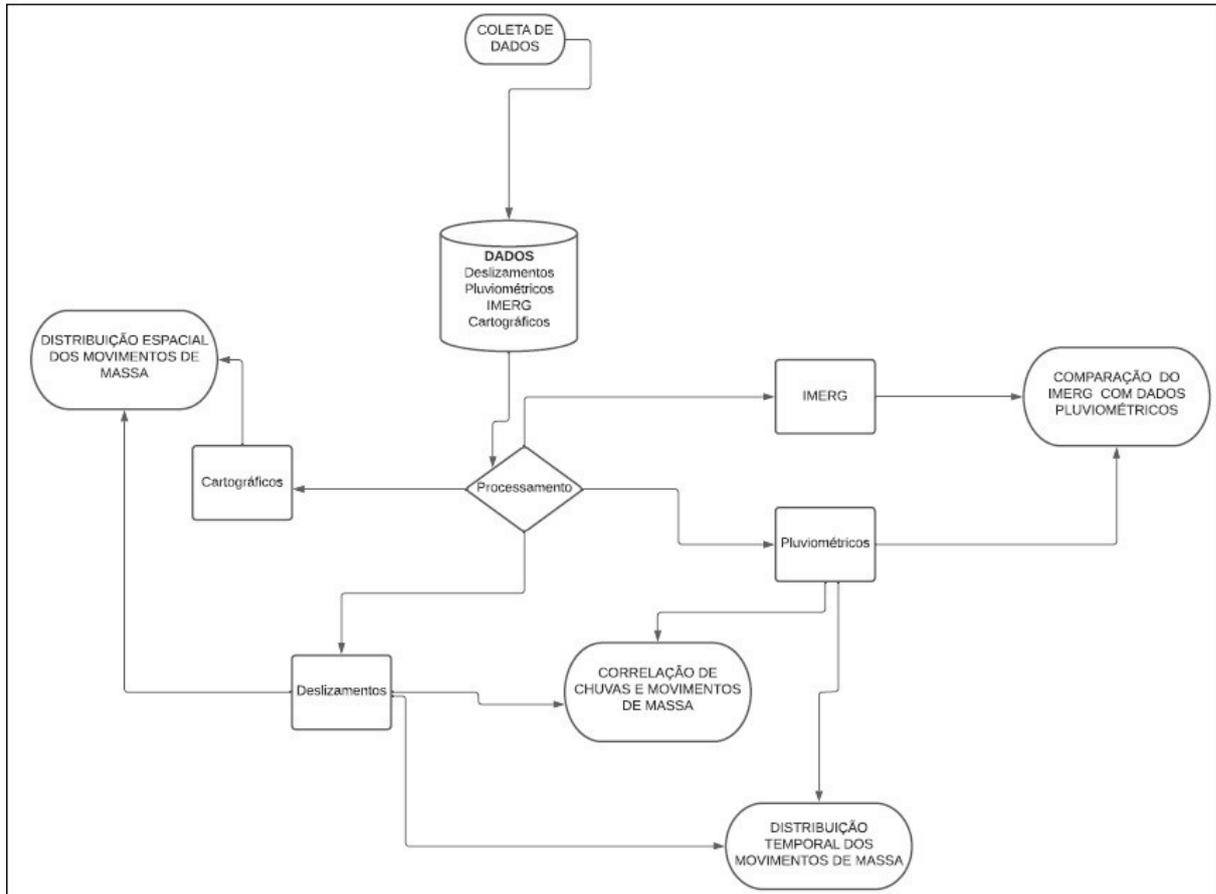
Desta forma, este capítulo está estruturado em 04 subcapítulos, sendo o primeiro referente à análise temporal dos deslizamentos, onde são apresentados gráficos, demonstrando a combinação dos eventos de deslizamentos com o total de pluviometria registrado, de forma geral com todos os anos estudados e uma análise separada de cada ano.

No segundo subcapítulo são demonstrados os resultados dos produtos cartográficos, onde estão inseridos os pontos georreferenciados de deslizamentos, o que deu suporte para a sua análise espacial, visando a frequência sobre qual região do município, qual unidade geotécnica e em qual zona de declividade estão mais concentrados os deslizamentos.

O terceiro subcapítulo aborda a correlação chuva e deslizamentos baseado no modelo proposto por Tatizana. Foram traçadas duas envoltórias separando os dois grupos de deslizamentos (sem e com decreto), a fim de se avaliar qual dos pares pluviométricos demonstraram resultados mais claros e consistentes.

No último subcapítulo são aplicadas as métricas estatísticas correlacionando os dois conjuntos de dados conforme abordado nos materiais e métodos a fim de permitir uma avaliação de cada estimativa. O objetivo do posterior subcapítulo é avaliar a estimativa de precipitação pelo satélite com o intuito da detecção de um pré-evento de deslizamento oriundo de precipitação. A Figura 24 demonstra as fases do trabalho demonstrando os resultados gerados a partir dos dados obtidos em matérias e métodos.

Figura 24- Fluxograma demonstrando a fase da coleta de dados com a obtenção dos respectivos resultados.



5.1 DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DOS MOVIMENTOS DE MASSA

5.1.1 Ocorrências dos anos de 2013 a 2019

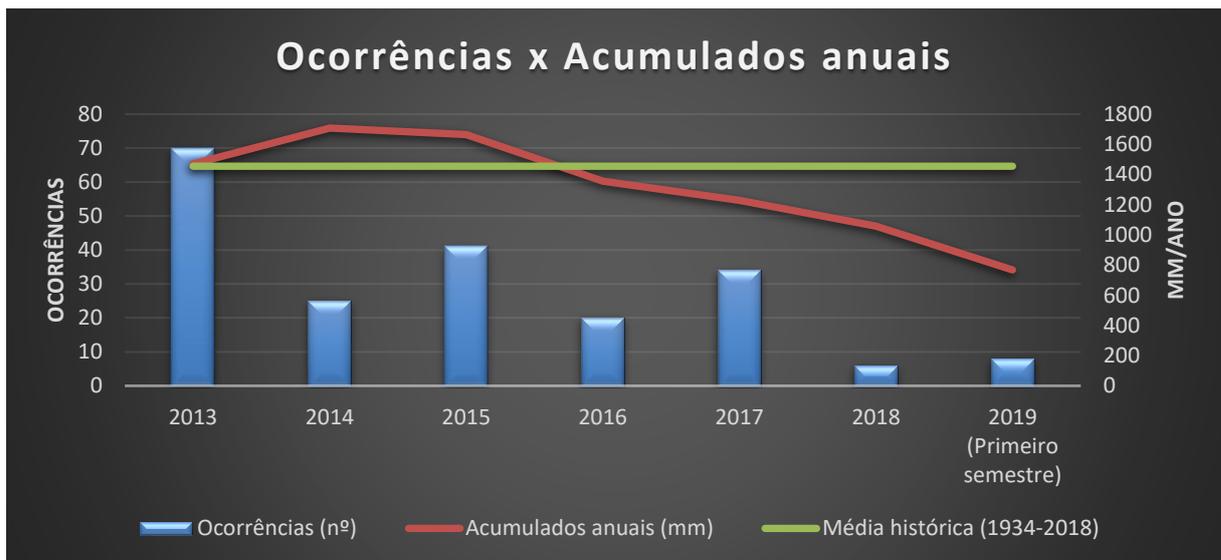
A distribuição temporal levou em consideração os deslizamentos que foram marcados nas fichas de ocorrências como “diversos”, onde era considerado apenas um evento com seu horário para a determinação da envoltória. Por meio das fichas do S2ID foi possível checar e determinar o número de alguns deslizamentos ocorridos e incluir nessa análise.

A Figura 25 apresenta as ocorrências de deslizamentos em função dos anos de estudo 2013 - 2019. O gráfico aponta como os anos de maior ocorrência 2013 e 2015, sendo 70 (34%) e 41 (20%) ocorrências respectivamente. A figura também nos mostra uma certa disposição entre as variáveis. Os anos de 2013, 2014, 2015 e 2017 tiveram decretos de emergência expedidos pelo município, indicando que foram eventos com um grau de impacto

representativo. De tal maneira que as chuvas dos três primeiros anos, ficaram acima da média histórica. Contudo observa-se um declínio nas chuvas a partir do ano de 2015, sendo que, no ano de 2017, apesar de haver um baixo acumulado anual, foi um ano com decretação de emergência e houve 34 ocorrências registradas. A decretação se dá pelo evento ocorrido ter sido em 30/12/2016, sendo expedido o seu decreto somente no ano seguinte, 2017. Já o baixo acumulado anual, é devido ser o único ano da análise a ter passado um mês inteiro sem nenhuma medição de chuva, no caso, o mês de julho não registrou nenhum milímetro precipitado em Ibirama, resultando em uma média abaixo do normal.

Ao analisarmos o ano de 2019 de forma separada por não ser um ano completo, verificamos que o menor acumulado de chuva, bem como, com menor número de ocorrências foi associado ao ano de 2018.

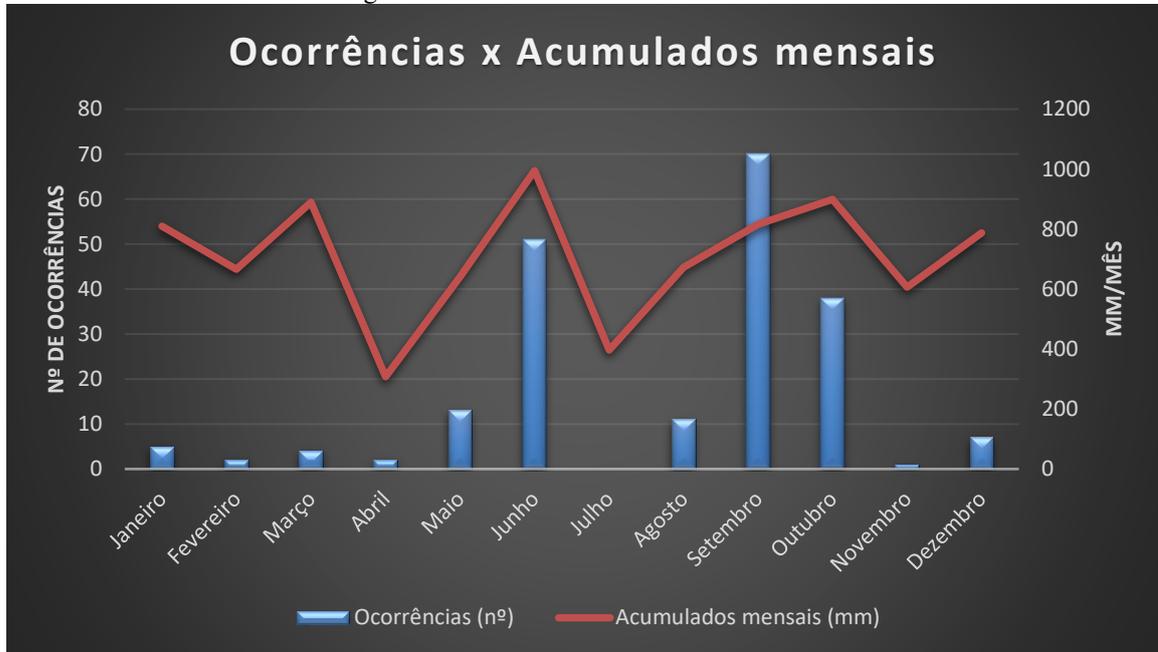
Figura 25- Ocorrências x Acumulados anuais



A Figura 26 apresenta a ocorrência de deslizamentos em função do mês de ocorrência. Para essa análise não foram considerados os meses de 2019, pois como esse ano não foi analisado integralmente, haveria acréscimo nos valores de chuvas nos 6 primeiros meses. Nota-se que os meses com mais ocorrências foram junho com 51 ocorrências e setembro com 61. Já os maiores acumulados mensais foram em junho com 995mm e outubro com 899mm. Em se tratando de ocorrências, o fato que pode ter colocado setembro a frente de junho foi o detalhamento maior, como fontes da imprensa nas fichas do S2ID, mesmo assim nota-se uma relação dos maiores acumulados com os meses de maiores ocorrências. O que chama atenção é a incompatibilidade dos valores de chuva nos meses de verão com as

ocorrências. Ainda merece ser destacado que não houve nenhuma ocorrência em julho para todos os anos analisados, sendo o mês com o segundo menor acumulado de chuva.

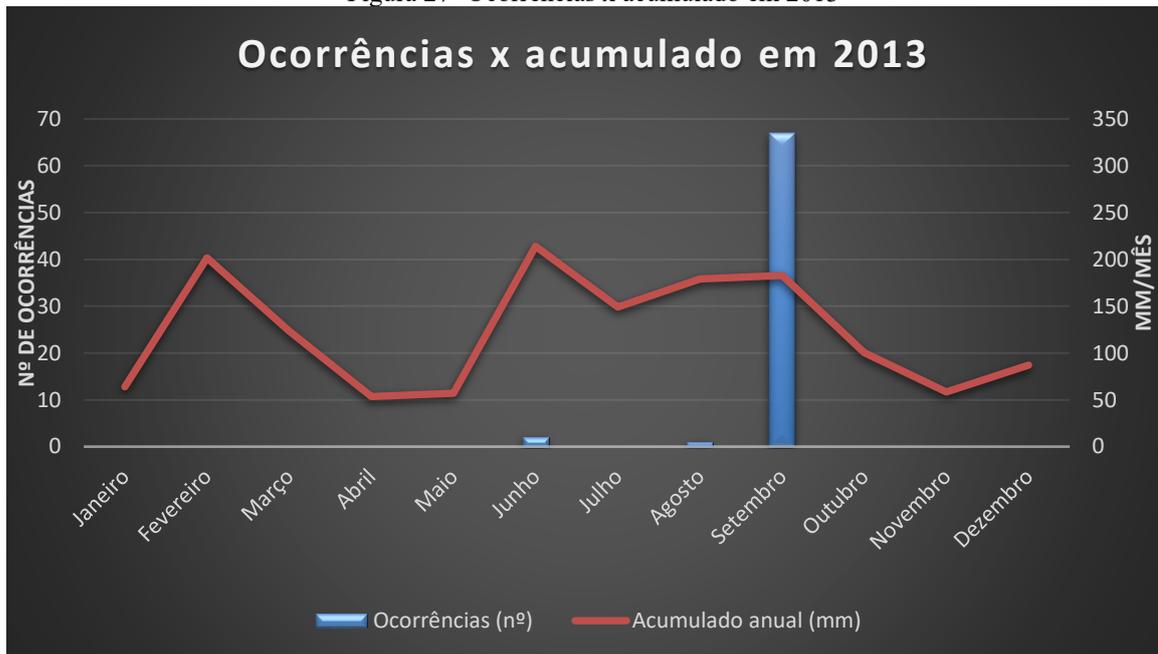
Figura 26- Ocorrências x Acumulados mensais



A fim de se detalhar mais a distribuição temporal, foi analisado também o comportamento das chuvas relacionados com os deslizamentos ano por ano.

O ano de 2013 (Figura 27) foi marcado por um decreto de emergência emitido em setembro, onde também, foi o mês em que ocorreram mais deslizamentos, porém não apresentando grandes acumulados de precipitação se comparados aos meses de junho (214 mm) e fevereiro (201 mm). Destaca-se que fevereiro e junho mesmo registrando os maiores acumulados de precipitação, apenas em junho fora observado registros de deslizamentos. Salienta-se que ainda para esse ano também houve ocorrência de deslizamentos para o mês de agosto com acumulado de 179mm.

Figura 27- Ocorrências x acumulado em 2013



De acordo com a Figura 28, em 2014 foram registradas ocorrências apenas em 02 meses, janeiro e junho. Sendo que junho foi o mês com mais ocorrências de deslizamentos e o mês com o maior acumulado de chuva chegando a 340mm. Como vimos na Figura 28, o ano de 2014 apresentou o maior acumulado anual entre os anos analisados nesse estudo.

Figura 28- Ocorrências x acumulado em 2014



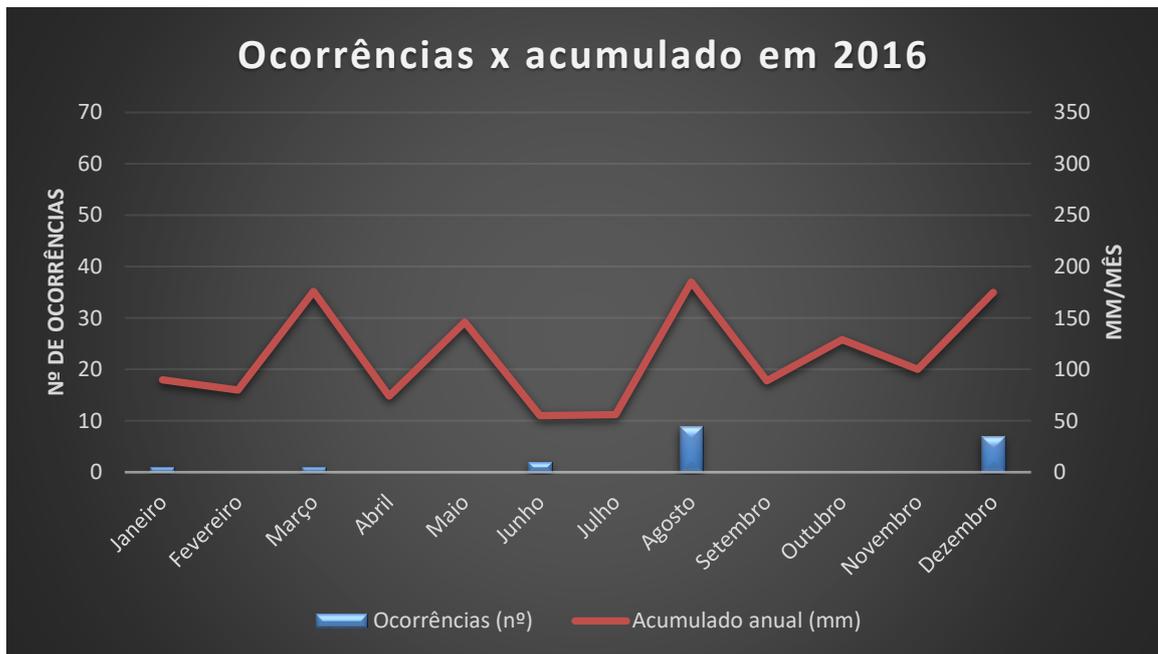
O mês de outubro de 2015 (Figura 29) apresentou o maior registro de ocorrências, bem como o maior acumulado de chuva, comportamento este, semelhante ao mês de junho de 2014 demonstrando uma certa relação com essas duas variáveis. Ainda nesse ano houve ocorrências nos meses de novembro e maio.

Figura 29- Ocorrências x acumulado em 2015



O ano de 2016 (Figura 30) seguiu com a mesma tendência dos anos de 2014 e 2015, apresentando para o mês que registrou o maior acumulado de chuva, o maior número de ocorrências, no caso, o mês de agosto. Ressalta-se que para o ano de 2016, foi observado deslizamentos em todas as estações do ano.

Figura 30- Ocorrências x acumulado em 2016



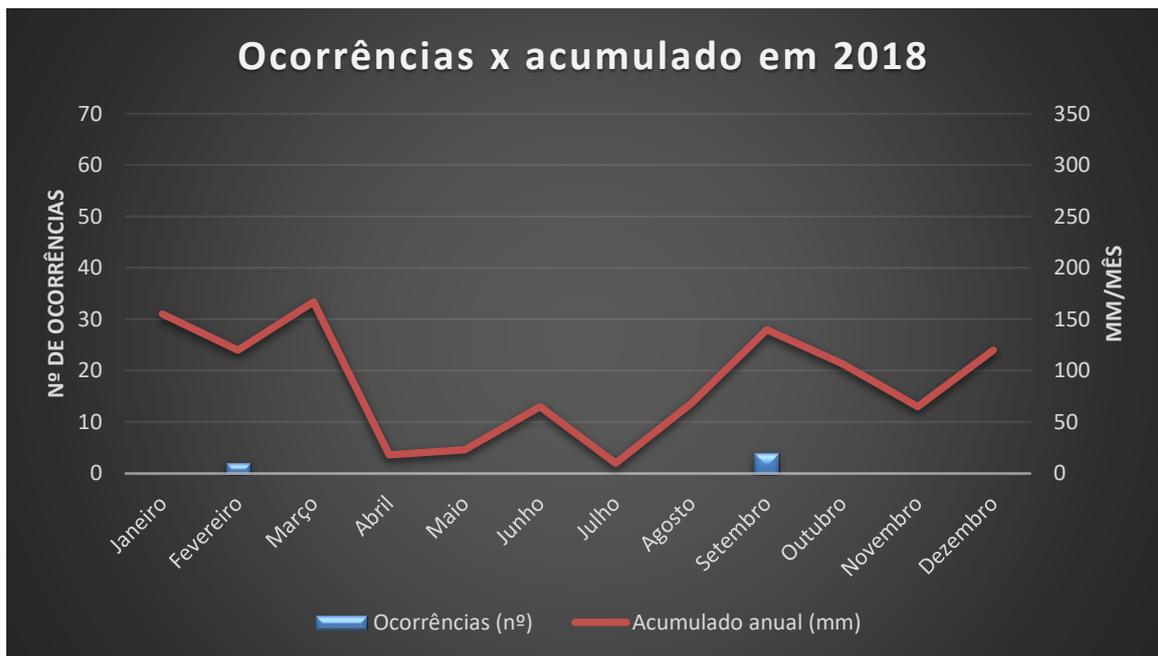
Para o ano de 2017 (Figura 31), seguindo a mesma tendência de maiores acumulados mensais e maior número de ocorrência, o mês de junho apresentou as mesmas características dos anos anteriores, principalmente quando comparado com o ano de 2014.

Figura 31- Ocorrências x acumulado em 2017



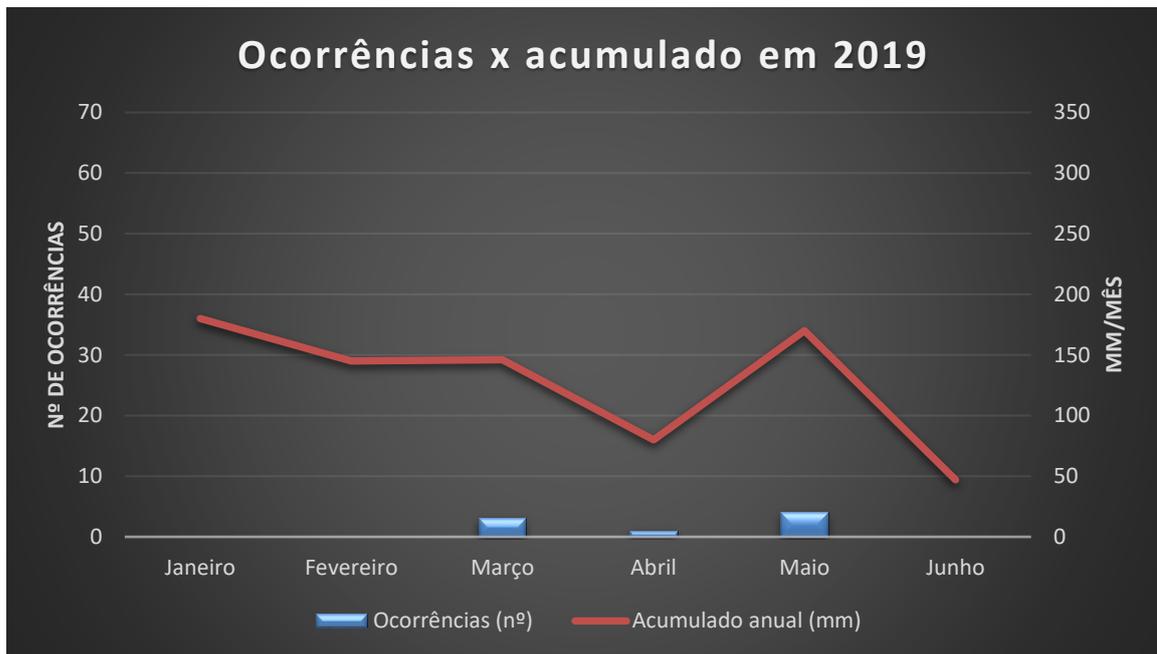
O ano de 2018 (Figura 32) apresentou algumas similaridades com o ano de 2013. Observou-se que o mês de setembro foi o mês em que ocorreram mais acidentes, assim como foi o terceiro mês com o maior acumulado mensal de chuva. Entretanto, o dia em que ocorreu os deslizamentos, foi também, o dia com maior acumulado em 24h no ano de 2018, o pluviômetro diário da ANA apontou 60mm. Cabe salientar que 2018 foi o ano em que ocorreu o menor acumulado de chuva, como também o menor número de ocorrências.

Figura 32- Ocorrências x acumulado em 2018



Por fim, a análise do primeiro semestre de 2019 (Figura 33) não demonstra uma certa tendência nas variáveis, uma vez que, janeiro foi o mês com o maior acumulado de chuva e não registrou acidente algum, em contrapartida, o mês de abril apresentou um baixo acumulado com 80mm, mas registrou um evento. De certa forma uma investigação mais detalhada nos demonstra que essa ocorrência foi registrada um alto índice de chuva horária, sendo um pouco superior a 50mm em menos de 24h, correspondendo a 63% do valor total precipitado em todo mês de abril.

Figura 33- Ocorrências x acumulado em 2019



5.1.2 Determinação dos Sistemas Meteorológicos Associados aos Deslizamentos

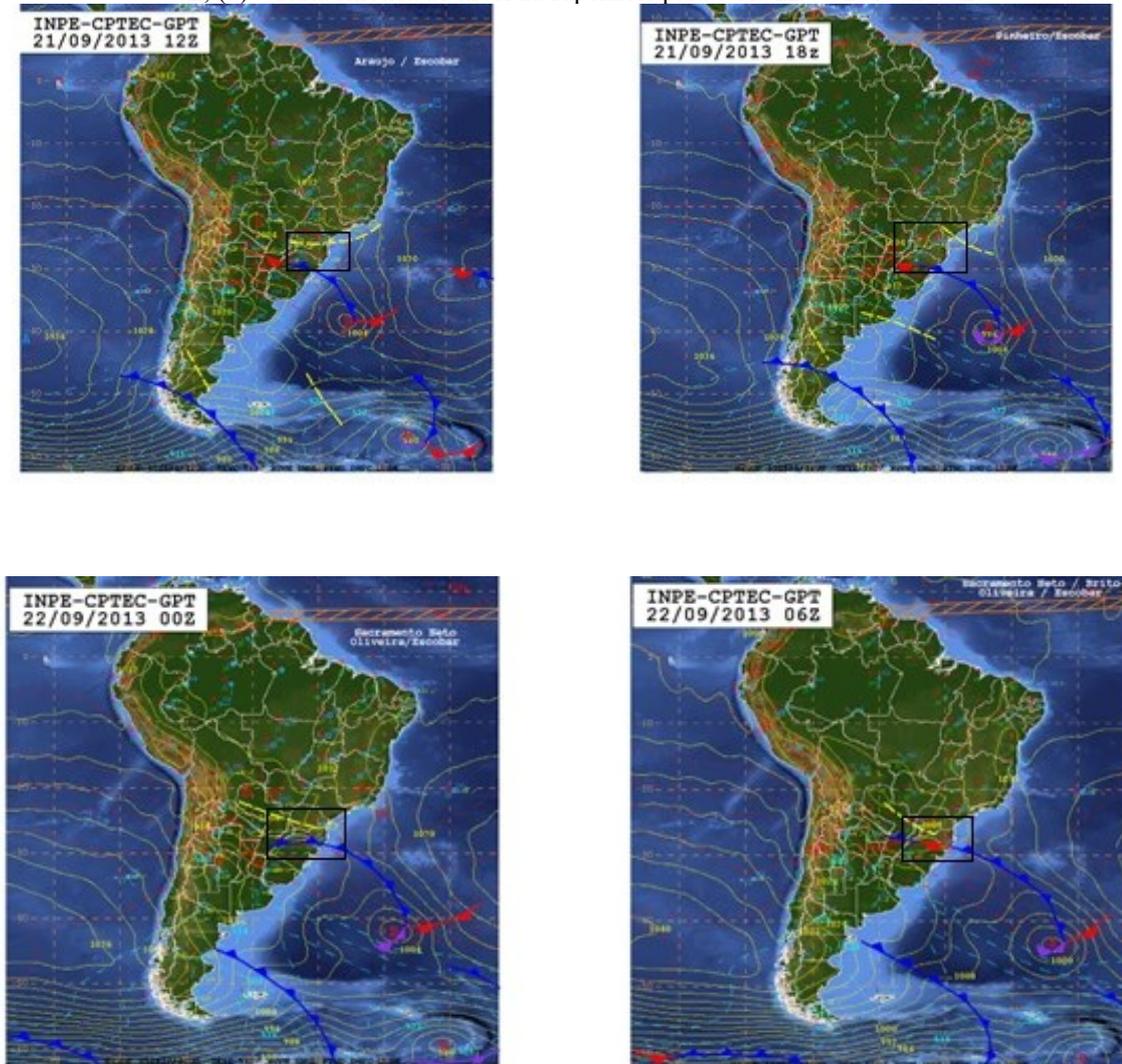
A região do Vale do Itajaí é fortemente influenciada por desastres relacionados a ocorrência de chuvas. Assim, este item tem como objetivo realizar uma síntese da análise sinótica dos sistemas meteorológicos com potencial para provocar acumulados de chuva que causaram deslizamentos.

Os sistemas meteorológicos deflagradores de deslizamentos em Ibirama que resultaram em Decreto de Emergência podem ser observados por meio de análise de cartas sinóticas em diferentes níveis da atmosfera, assim como também por meio de imagens do satélite GOES-13 disponibilizadas pelo CPTEC/INPE, além da análise dos acumulados de chuva observados nos pluviômetros da ANA e CEOPS instalados no município. Os boletins técnicos do INPE, serviram de suporte para a caracterização dos sistemas. Assim, foi possível observar que os sistemas frontais foram os principais sistemas meteorológicos que atuaram causando deslizamentos entre os anos de 2013 e 2019, sendo responsável por 75% das chuvas intensas que sucederam a decretação de estado de emergência, e 57% do total de ocorrências.

Neste trabalho, são apresentadas apenas as cartas sinóticas, mapas e gráficos referentes ao mês de setembro de 2013 (Figuras 34, 35, 36), no qual foram registrados parte dos eventos de maior magnitude, as demais cartas sinóticas estão no anexo 01. Nesse período, um cavado entre os estados do Paraná e Santa Catarina, associado a uma frente fria estacionária (Figura

34) foram responsáveis por valores expressivos de precipitação, ultrapassando o acumulado de 100 mm em 72h na área de ocorrência dos eventos de deslizamento.

Figura 34- (a) Carta sinótica ao nível da superfície para o dia 21/09/2013 às 12Z; (b) Carta sinótica ao nível da superfície para o dia 21/09/2013 às 18Z; (c) - Carta sinótica ao nível da superfície para o dia 22/09/2013 às 00Z; (d) - Carta sinótica ao nível da superfície para o dia 22/09/2013 às 06Z.

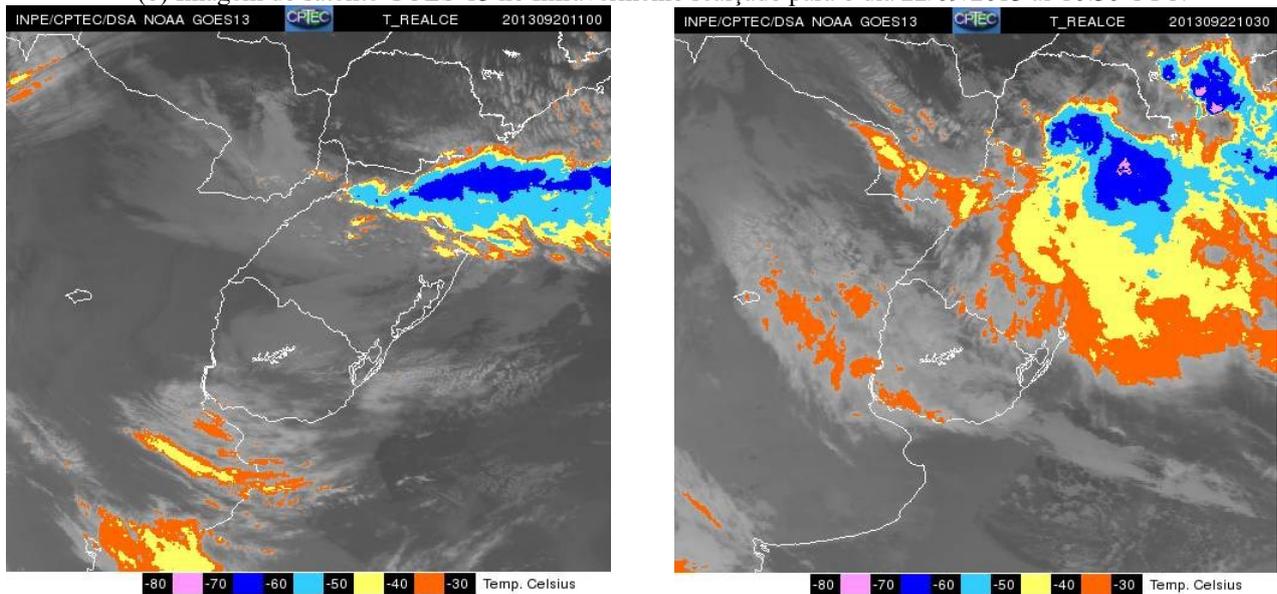


Fonte: Adaptado de CPTEC – INPE (2013).

A partir das imagens realçadas do satélite do GOES-13 (Figura 35) observa-se uma extensa área de nebulosidade moderadamente convectiva na maior parte do estado de Santa Catarina e em particular na área de estudo para os dias 20 e 22/09/2013 às 11:00 UTC e 10:30 UTC, respectivamente. No dia 20/09 ocorreram pequenos deslizamentos às 10:30 hora local e associado a esses eventos pode-se observar na Figura 36 acumulados significativos de precipitação com valores na ordem de 50 mm para este dia. De forma semelhante, no dia

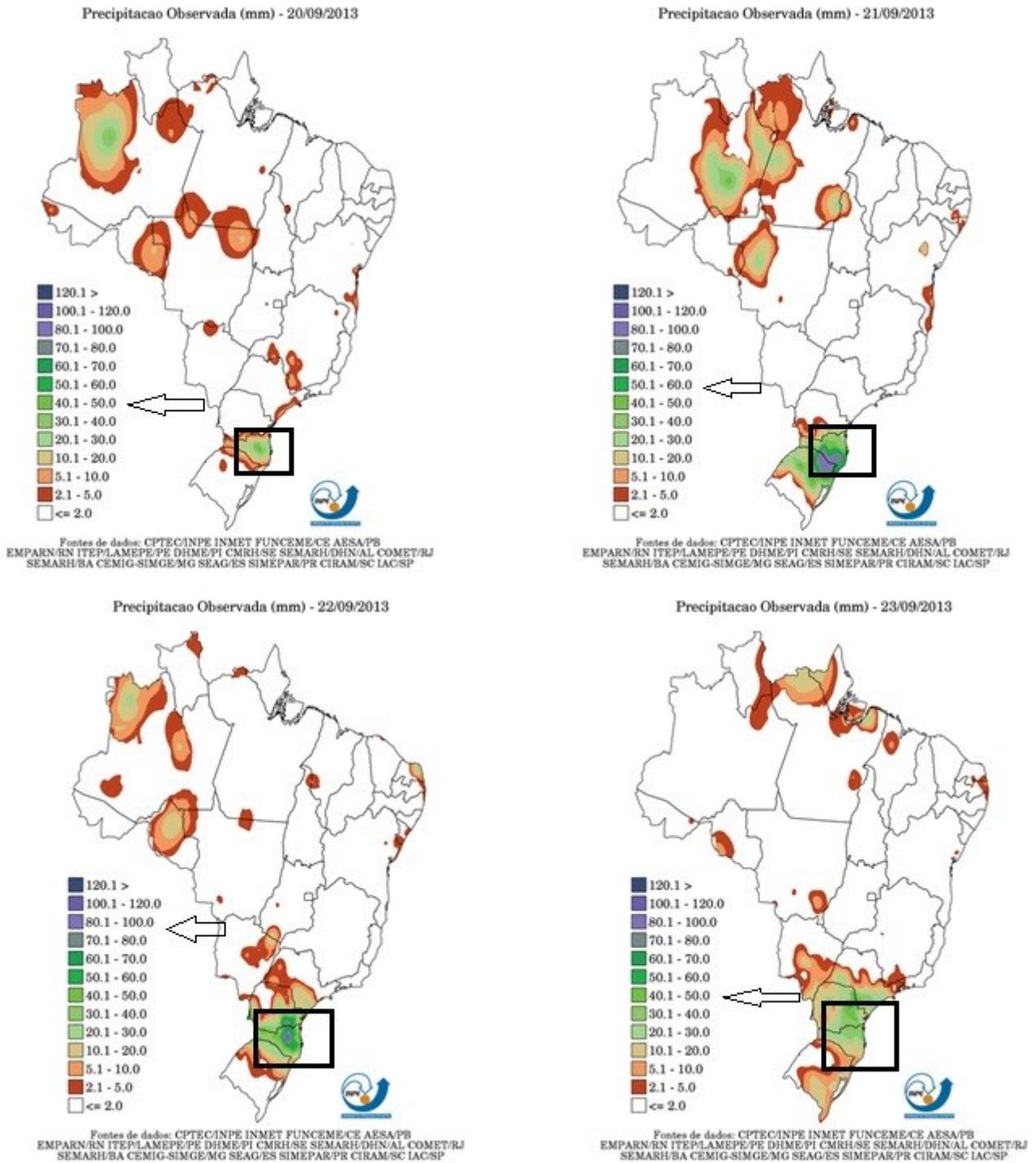
22/09 também ocorreram eventos de deslizamentos e para esse dia, os acumulados de precipitação (Figura 36) foram registrados entre 70 mm – 80 mm. Além disso, no (quadro 06) observa-se que para o mês de setembro de 2013 na região do Vale do Itajaí foram registrados desvios positivos de precipitação elevados, incluindo o município de Ibirama, com desvios positivos de 62%.

Figura 35 - (a) Imagem do satélite GOES-13 no Infravermelho realçado para o dia 20/09/2013 às 11:00 UTC;
(b) Imagem do satélite GOES-13 no Infravermelho realçado para o dia 22/09/2013 às 10:30 UTC.



Fonte: Acervo INPE (2013)

Figura 36- (a) Precipitação Observada (mm) para o dia 20/09/2013; (b) Precipitação Observada (mm) para o dia 21/09/2013; (c) Precipitação Observada (mm) para o dia 22/09/2013; (d) Precipitação Observada (mm) para o dia 23/09/2013.



Fonte: Adaptado de CPTEC/INPE INMET (2013).

Quadro 6 – Precipitação no Vale do Itajaí, em Santa Catarina para SETEMBRO/2013.

VALE DO ITAJAÍ	PRECIPITAÇÃO (mm)	DESVIOS (%)
Apiúna	288,1	164,1
Blumenau	233,7	92,2
Ibirama	183,0	62,6
Ituporanga	313,7	158,0
Rio do Sul	267,8	134,9
Taió	285,2	151,3

Fonte: Adaptado de FURB/ANNEL (2013)

Os valores elevados de precipitação, isoladamente não explicam as ocorrências dos deslizamentos. No entanto, contribuem como deflagradores, juntamente os demais fatores, o que mostra a importância da análise multidisciplinar para eventos dessa natureza.

5.2 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS MOVIMENTOS DE MASSA

5.2.1 Densidade x Deslizamentos

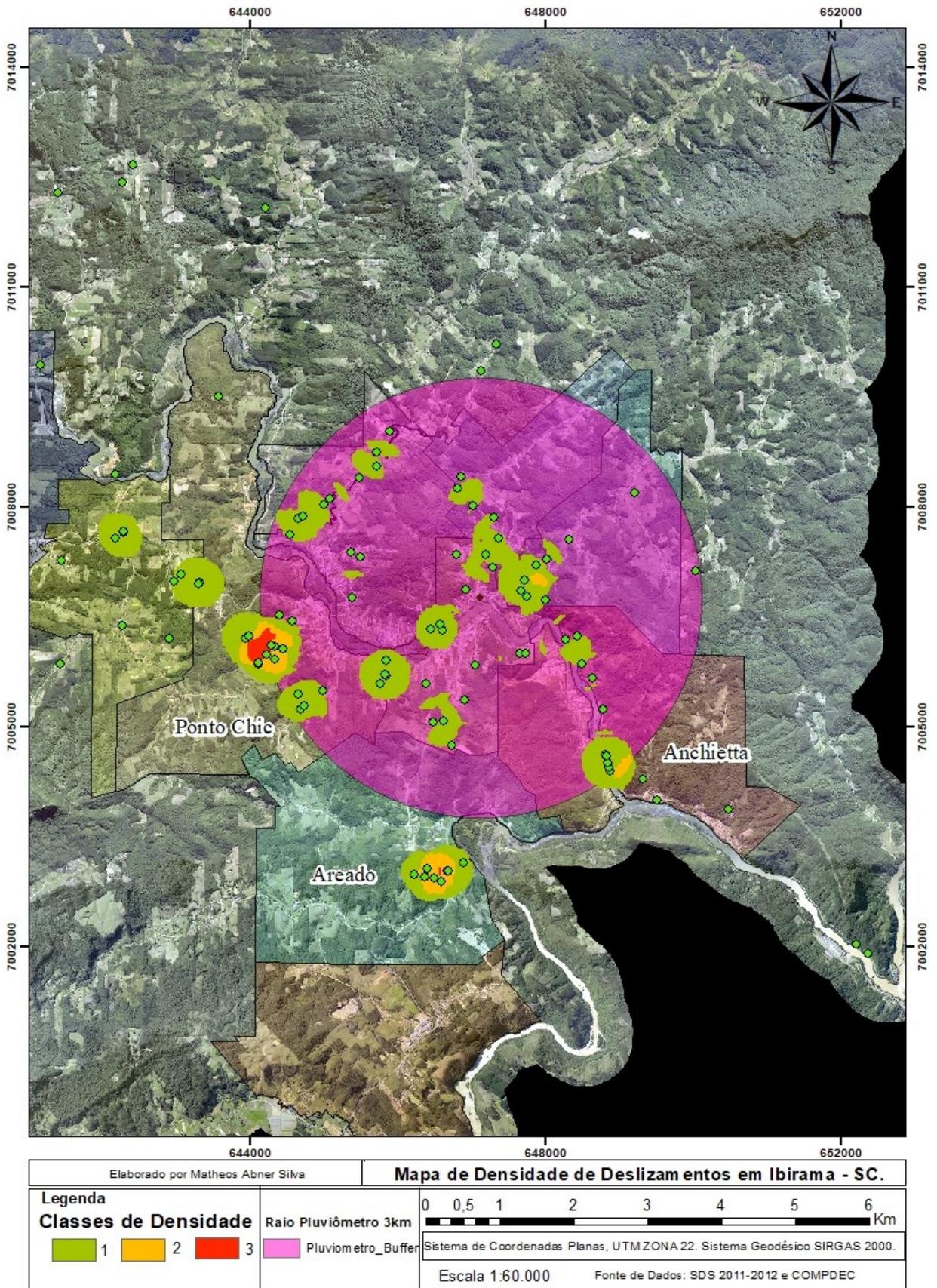
Com a aquisição dos dados cartográficos foi possível o seu processamento no *software ArcGis®*, com o objetivo de manipulá-los, chegou-se aos resultados que serão expostos a seguir. Para a inclusão dos dados na distribuição espacial, foram selecionados os que além de atenderem os quesitos temporais para a execução do método Tatizana *et al* (1987), também continham a localização exata, sendo com a coordenada ou com a localização do nº da casa do requerente. Como algumas ocorrências sucederam-se no mesmo interm dos 15 minutos, ou seja, quase instantâneas, outras não atendiam os quesitos para a inclusão dos métodos citados anteriormente, de forma que apresentavam as coordenadas, mas não o horário das ocorrências, logo de um total de 62 ocorrências completas, chegou-se a um resultado de mais 43 ocorrências, totalizando 105 ocorrências que puderam ser identificadas espacialmente entre os anos de 2013 e 2019.

Para a identificação das ocorrências que continham as coordenadas cadastradas em fichas, utilizou-se a ferramenta *Google Earth*. As ocorrências que continham apenas o nome do requerente ou o endereço, foram identificadas com o apoio do setor de Cadastro Imobiliário da Prefeitura Municipal de Ibirama. Desta forma também foi montado um banco de dados com todas as coordenadas em arquivo de *Excel®*. Destaca-se que foram

identificados 3 formatos de coordenadas: Geodésicas, Geodésica Decimal e UTM (Universal Transversa de Mercator). Para a sua uniformização foi utilizado o aplicativo *ProGrid* disponibilizado pelo IBGE, sendo transformadas todas para o formato UTM.

Uma vez os dados uniformizados e organizados, buscou-se sua inserção no *software ArcGis®* onde lá, foram convertidos para arquivos do tipo *.shp (shapefile)* e georreferenciadas. Com posse dessas informações foi possível elaborar um mapa de densidade, onde foi possível avaliar qual a região da cidade de Ibirama sofreu com mais ocorrências de deslizamentos. Ainda de acordo com Metodiev *et al.* (2018) aplicou-se um raio de 3 km envolta dos pluviômetros da cidade a fim de se verificar, se seriam abrangidos pela rede pluviométrica para valores de precipitação mais precisos.

Figura 37- Mapa de densidade de deslizamentos



Nota-se que quase a totalidade da concentração de deslizamentos é próxima ao Rio Itajaí do Norte, ou seja, na área onde houve uma maior colonização, no perímetro urbano da cidade. Com destaque para ocorrências no bairro Ponto Chic, Areado e Anchieta. A geomorfologia dos bairros contribui para as ocorrências, com destaque para o bairro Ponto Chic, já nos bairros Areado (Figura 38) e Anchieta é a ocupação em áreas com declividades acentuadas que resulta em acidentes. No geral são regiões antropizadas onde houve ocupação de encostas íngremes e cortes de relevo para abertura de ruas e rodovias. O que nos mostra que as regiões mais habitadas, são as áreas também de maior vulnerabilidade.

Figura 38- Residências no bairro areado com contenção para proteção de ocupação de áreas com declividade acentuada.



Há de se considerar que houve deslizamentos que atingiram a área rural, em meio a pastos ou vegetação nativa no interior de propriedades particulares, estas, não foram registradas em ocorrências, por não ocasionarem algum dano de ordem econômica ou social.

5.2.2 Unidades Geotécnicas x Deslizamentos

No *software ArcGis®* foram aplicadas as ferramentas *Merge*, *Intersect* e *Dissolve* para se chegar no produto final. As classes de solo para Ibirama – SC foram o argissolo vermelho-amarelo, cambissolo háplico e neossolo litólico; com a litologia: Arenito – folhelho - siltito, Sienogranito e Gnaisse. Chegando-se em 08 unidades geotécnicas. Esse mapa serve para termos uma visão parcial sobre qual é a classe de litologia com solo mais propensa a incidência de deslizamentos. Visualmente é notável que a classe de solo Argissolo Vermelho-Amarelo com Gnaisse é a região que mais encontra-se instável, ou que mais ocorre deslizamentos.

Figura 39- Unidades Geotécnicas de Ibirama – SC.

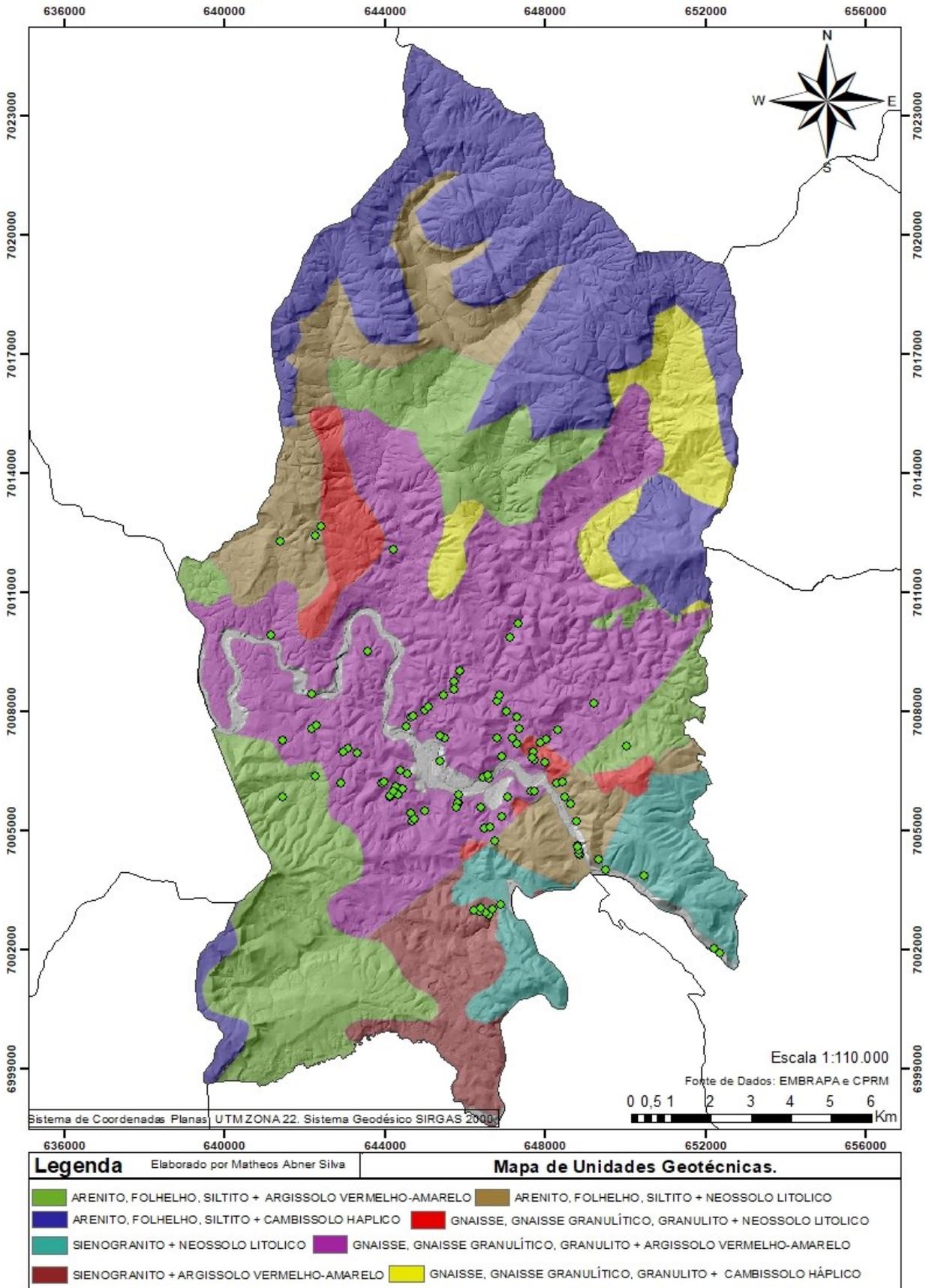
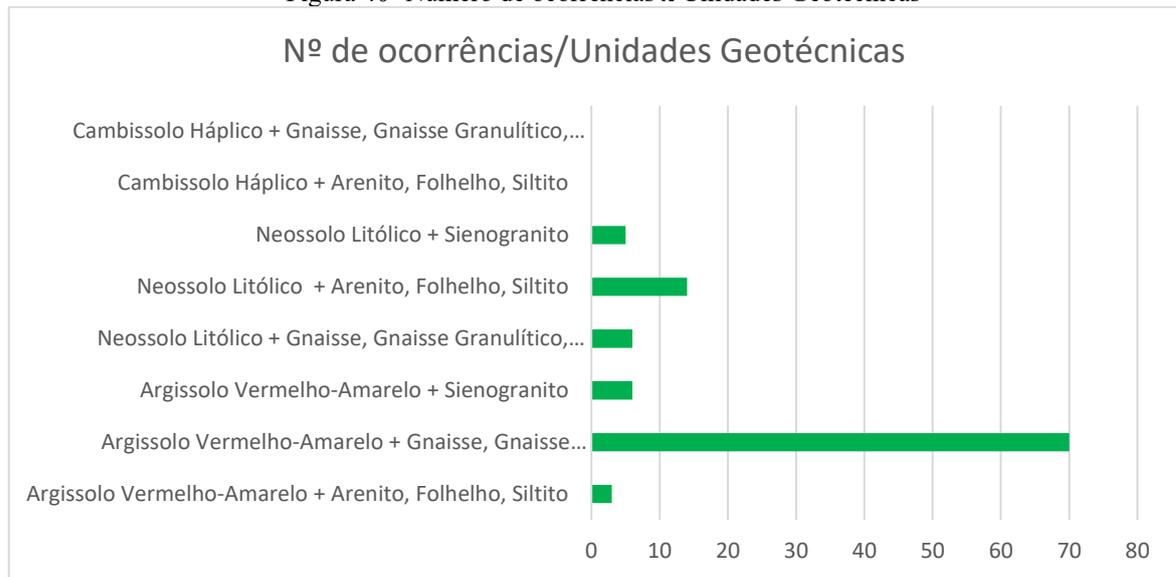


Figura 40- Número de ocorrências x Unidades Geotécnicas



Ao se analisar o gráfico da Figura 40, percebe-se que 70 ocorrências foram sobre a Unidade Geotécnica Argissolo Vermelho-Amarelo + Gnaisse, correspondendo a 73,5% do total das ocorrências, sendo seguido pela classe Neossolo Litólico + Arenito, Folhelho, Siltito com 14 ocorrências, correspondendo a 14,7% do total das ocorrências. A concentração de eventos de deslizamentos nessas classes, justifica-se pela urbanização e pelos taludes de cortes sobre essas Unidades Geotécnicas. É importante a análise do nível de intemperização das rochas que está ligado diretamente a profundidade do solo. Tatizana et al. (1987b) traz que rochas mais brandas são mais suscetíveis a intemperismos químicos, como os filitos com solos mais argilosos e com menor resistência ao cisalhamento. Ainda Carmo *et al* (2016). avaliando a suscetibilidade a movimentos de massa no Ceará, classificou os solos Argissolo Vermelho-Amarelo como mais suscetíveis a movimentos de massa do que Neossolos Litólicos. Resultados similares que Antonelli (2018) explanou para a cidade de Baixo Guandu – ES, apontando em seu estudo que a maioria das cicatrizes de deslizamentos, concentrou-se em solos residuais de Gnaisse. Já para a Bacia do Guandu – ES, Schwamback (2018) apresenta que os argissolos são a classe pedológica que mais se correlaciona com as cicatrizes de deslizamentos. Ambos indo de encontro a presente análise, contudo, como visto na revisão bibliográfica, vários fatores contribuem para os movimentos de massa sendo raro avaliar um único fator como desencadeador.

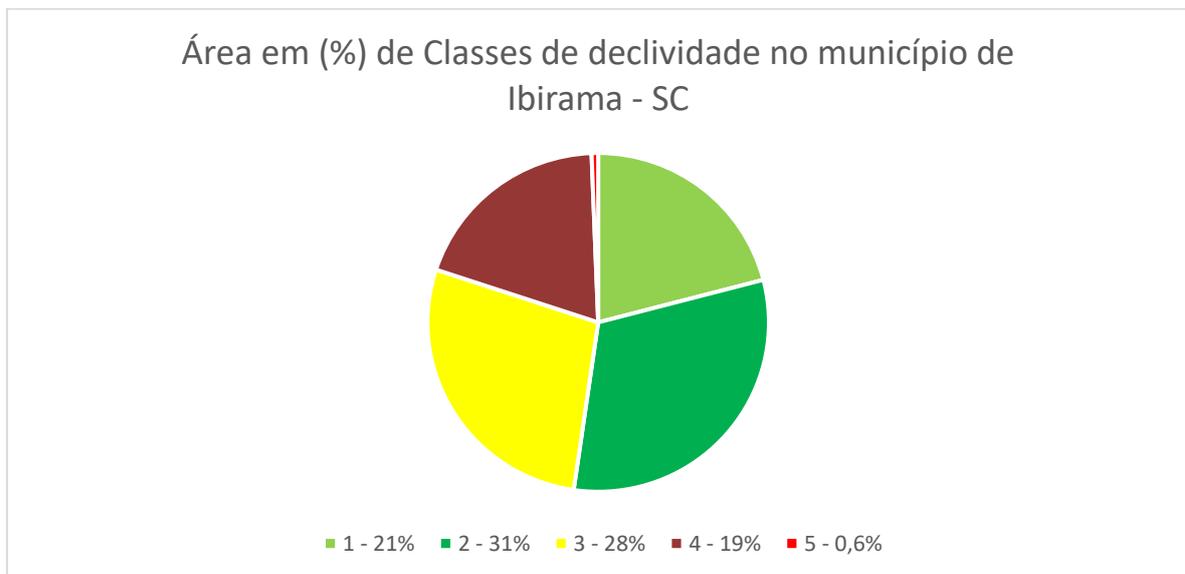
5.2.3 Declividade x Deslizamentos

Com base nas Leis Federais 6.766 de 1979 e 12.651 de 2012, as 5 classes propostas foram correlacionadas com os pontos de deslizamentos, buscando-se a frequência de qual classe concentrou o maior número de ocorrências.

Quadro 7- Classes com Declividade em porcentagem e em graus

Classe	Declividade (%) e °
1	até 8,5° ou 15%
2	8,5° - 16,7° ou 15% - 30%
3	16,7° - 25° ou 30% - 46,6%
4	25° - 45° ou 46,6% - 100%
5	>45° ou >100%

Figura 41 - Classes de declividade em área



Com o processamento do arquivo MDE de resolução de 1m, foi possível identificar quanto em área no município de Ibirama cada classe de declividade representa. A maior área é a classe 2 (8,5° - 16,7° ou 15 – 30%) representando 31% do município de Ibirama, já a menor classe é a 5 (>45° ou >100%) caracterizando apenas 0,6% da área total do município.

Como pode ser observado na Figura 42, nota-se um aumento nas ocorrências até certo valor de declividade, a partir disso há um decréscimo nas ocorrências. Situação semelhante é

verificada também nos estudos de condicionantes geomorfológicos a deslizamentos de Fernandes *et al.* (2001) que cita também estudos de Larsen e Torres-Sanchez (1998) onde limites críticos de declividades são observados. Percebe-se ocorrências nas classes mais baixas de declividade, em 8,5° ou 15% e 8,5° - 16,7° ou 15 - 30%. Tal fato se deve a maior ocupação da população nessas áreas, sendo que, normalmente os deslizamentos ocorrem aos fundos das propriedades em taludes de corte, entretanto durante as ocorrências as coordenadas são tiradas em frente à residência que se encontram em áreas mais estáveis (de 0° a 5°). A classe onde se concentra a maior parte de ocorrências (16,7° - 25° ou 30% - 46,6%) é onde estão localizados os deslizamentos causados em cortes para aberturas de vias e também na maioria de taludes artificiais. O que pode ser destacado é que não houve nenhuma ocorrência na classe >45° ou 100%. A circunstância se dá por ser uma região de não ocupação, que quando ocorrido algum fenômeno, esse não foi acionado pela população, também, de acordo com a Figura 42, é a classe de menor representatividade em termos de área, correspondendo a apenas 0,6% de todo o município de Ibirama – SC. Importante salientar que a região dessa classe possui uma camada fina ou ausente de solo por sua alta sensibilidade a erosão e também, pelo fato de não haver concentração de água, e esta não causar intemperismo na rocha com a dissolução e a hidrólise. De certa forma não se descarta deslizamentos nessa classe, pois a topografia é um fator fundamental para ocorrências de deslizamentos, principalmente em eventos de chuvas extremas.

Figura 42- Ocorrências por classe de declividade

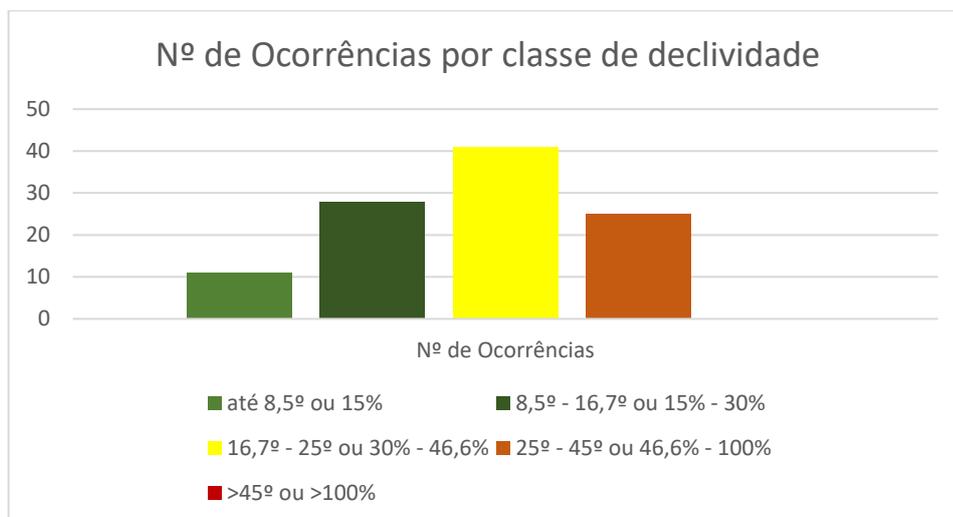
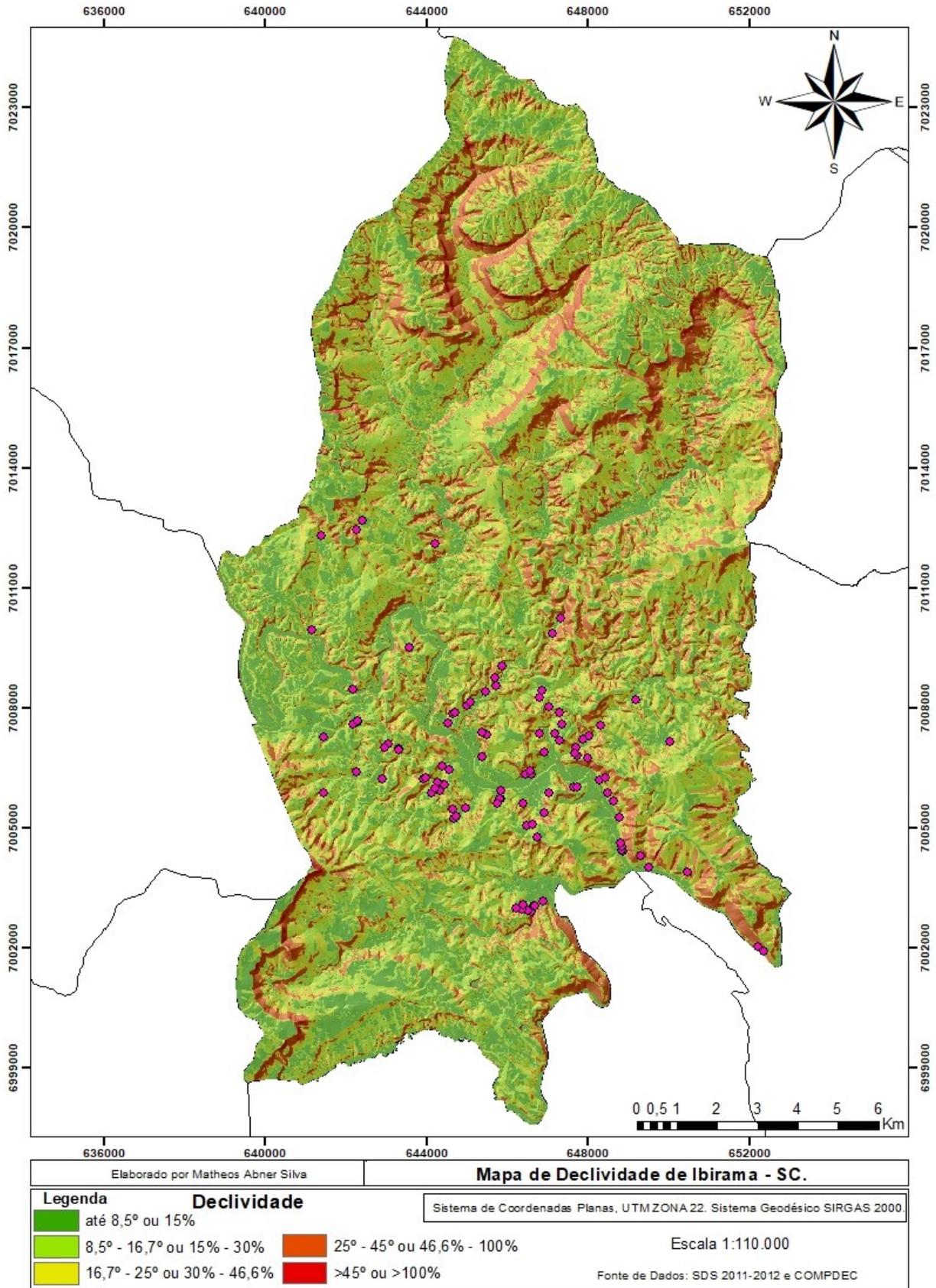
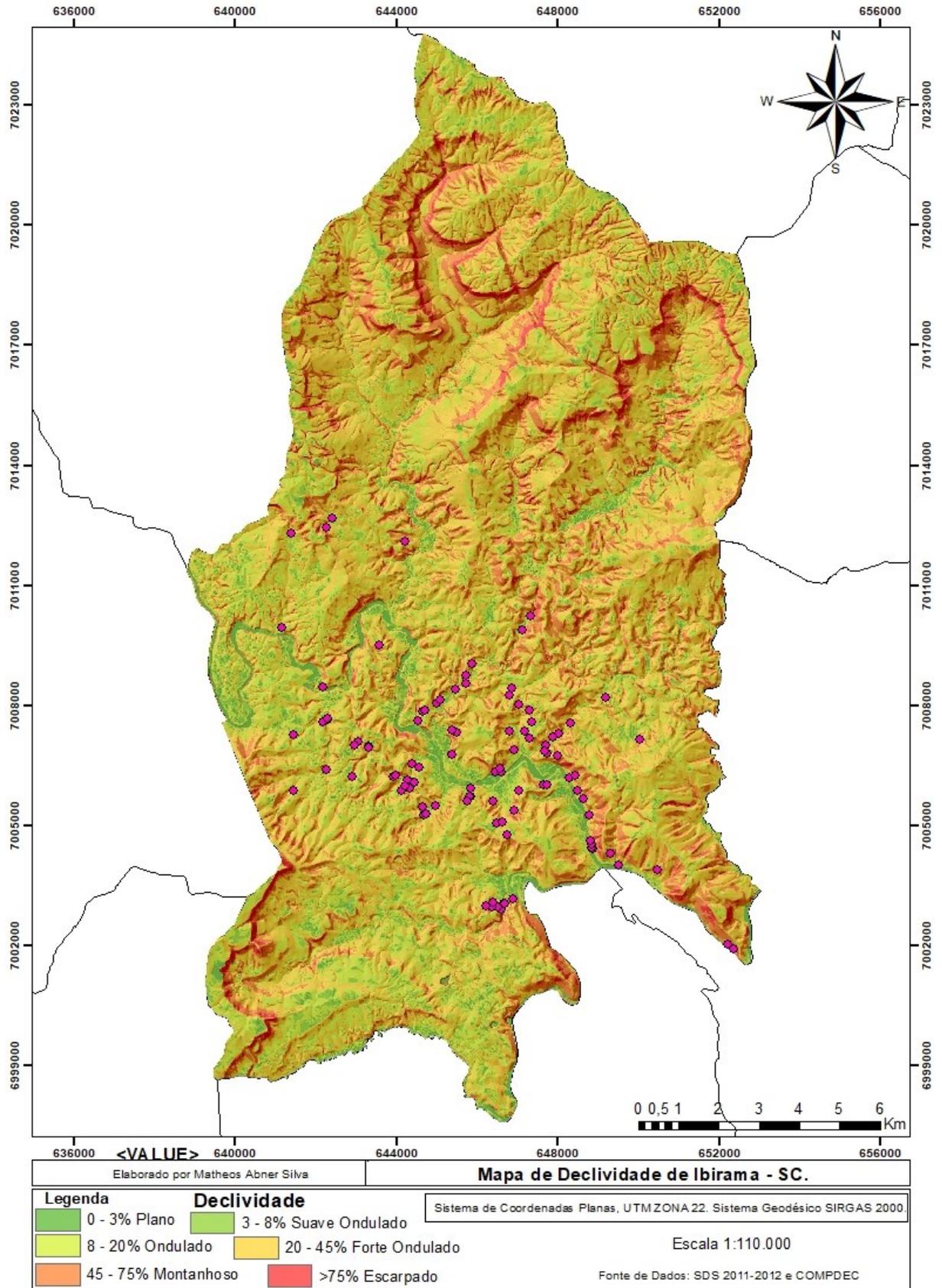


Figura 43- Mapa de declividades



Já analisando a ocorrência de deslizamentos conforme a classificação de relevo da EMBRAPA, temos que 15% do total ocorreram na Classe Plano; 2% na Classe Suave Ondulado; 55% na Classe Ondulado; 25% na Classe Forte Ondulado; 1% na Classe Montanhoso e 2% na Classe Escarpado. Analogicamente pode-se aplicar as mesmas situações encontradas para o mapa de declividade anterior, sendo a “Classe Ondulado” a região com maior ocupação urbana, onde estão concentrados taludes de cortes. Demartino (2016) aplicando o modelo físico shalstab na Sub-Bacia do Rio Comprido em Joinville – SC apontou que as regiões do relevo mais instáveis foram também na classe ondulado a montanhoso.

Figura 44- Mapa de rugosidade topográfica conforme EMBRAPA



5.3 CORRELAÇÃO DE CHUVAS E DESLIZAMENTOS EM IBIRAMA- SC

Os resultados aqui apresentados são baseados na coleta dos eventos citados no subitem “Dados de deslizamentos” em que as ocorrências foram classificadas como completas, contendo principalmente o horário das ocorrências. Como descrito na metodologia foram correlacionados os pares pluviométricos testados por Tatizana: intensidade horária (mm/h), acumulados de (mm/6h) e (mm/24h) com os acumulados pluviométricos de (mm/72h) e (mm/96h).

Os resultados mostram que pode ser proposto dois cenários para a cidade de Ibirama, os acumulados de 06h x 72h e 24h x 72h. Corroborando com outros autores, como Guidicini *et al* (1976), Parizzi *et al* (2008), Molina *et al.* (2015), Fernandez (2018), entre outros. A correlação de precipitação acumulada de 24 (mm/h) x Precipitação Acumulada 72h (mm/h) apresentou resultados coerentes, onde a definição da envoltória ficou clara (Figura 49). A partir da correlação de precipitação acumulada de 06h (mm/h) x Precipitação Acumulada 72h (mm/h) pode-se extrair resultados que o desencadeamento de deslizamentos está relacionado também aos acumulados de 6h com os acumulados pluviométricos de 03 dias anteriores, como também fora observado por Metodiev *et al.* (2018) e Perez (2013). Para a correlação de 24 horas será mais usual quando a precipitação ocorrer de forma contínua dentro deste período, ao passo que, o uso da correlação de 06 horas terá mais sentido quando o comportamento da chuva ocorrer de forma intervalada. Os pares pluviométricos de 06h x 96h e 24h x 96h mostraram também boas perspectivas. Analisando os dados de chuva sem ocorrência e deslizamentos com e sem decretos, estas últimas representando a chuva que deflagrou o processo, percebe-se a boa correlação pelo próprio traçado da curva, onde podemos distinguir as chuvas que levam a ocorrência de deslizamentos. Não obstante, conforme Figuras (45 e 46) as outras análises de correlação, não se mostraram com resultados tão bem distribuídos.

Figura 45- Gráfico de correlação entre mm/h e mm/72h

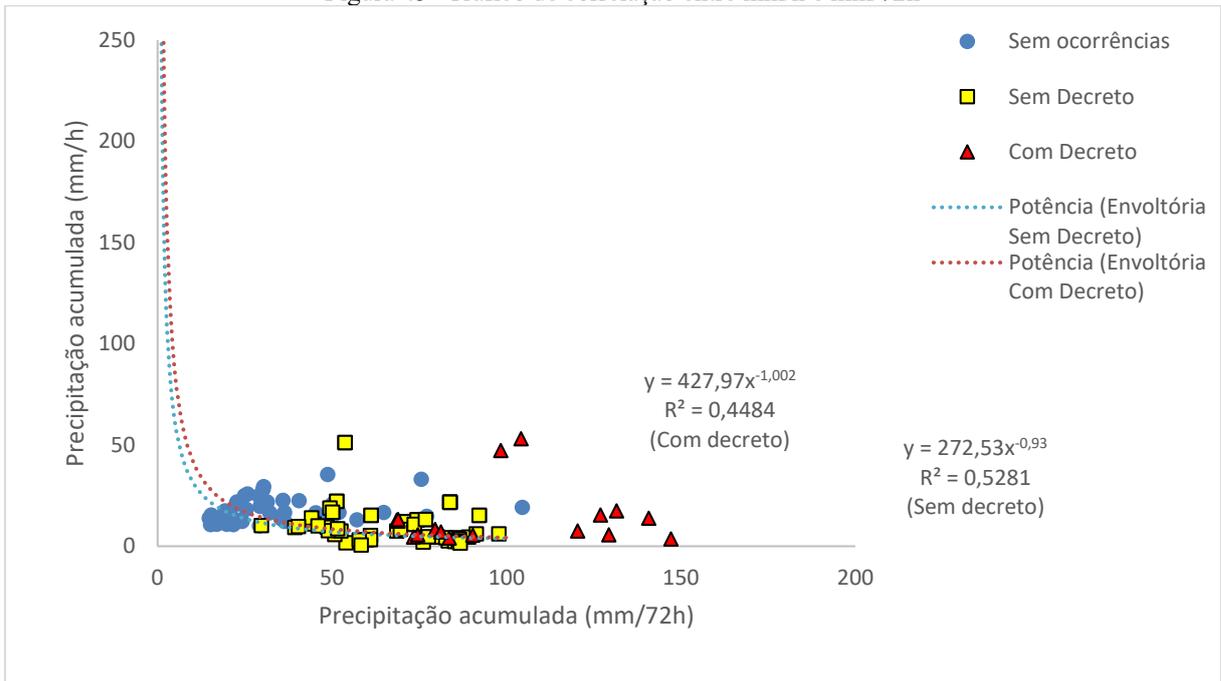


Figura 46- Gráfico de correlação entre mm/h e mm/96h

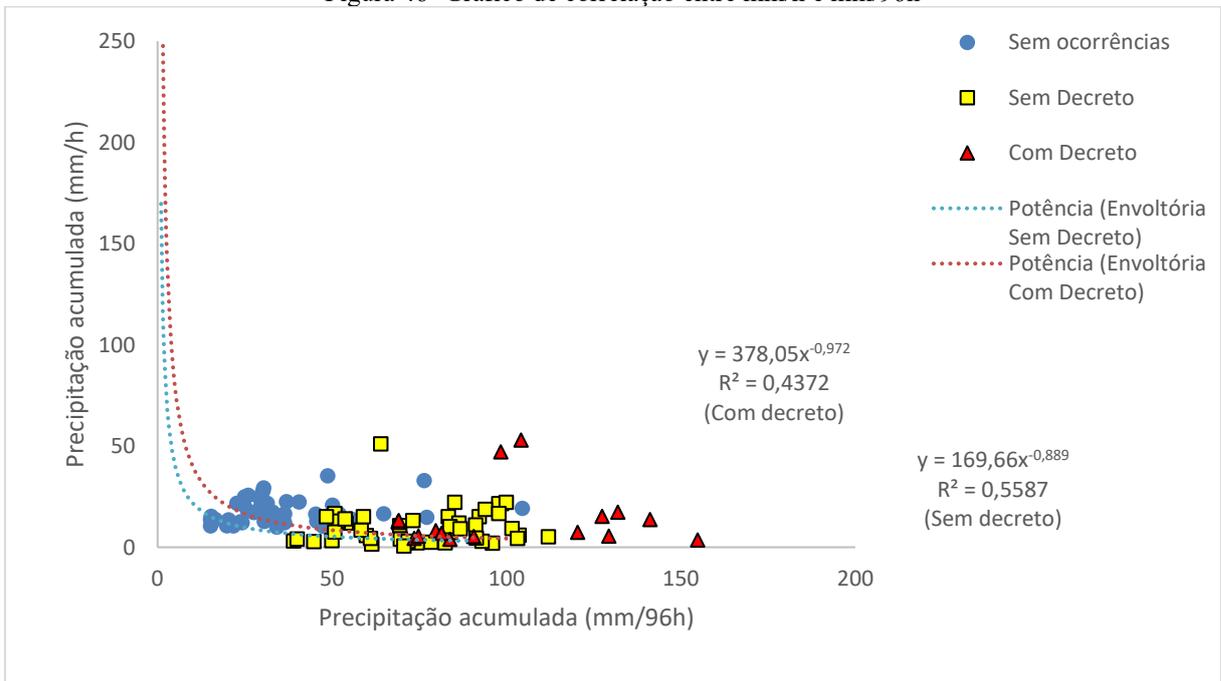


Figura 47- Gráfico de correlação entre mm/06h e mm/72h

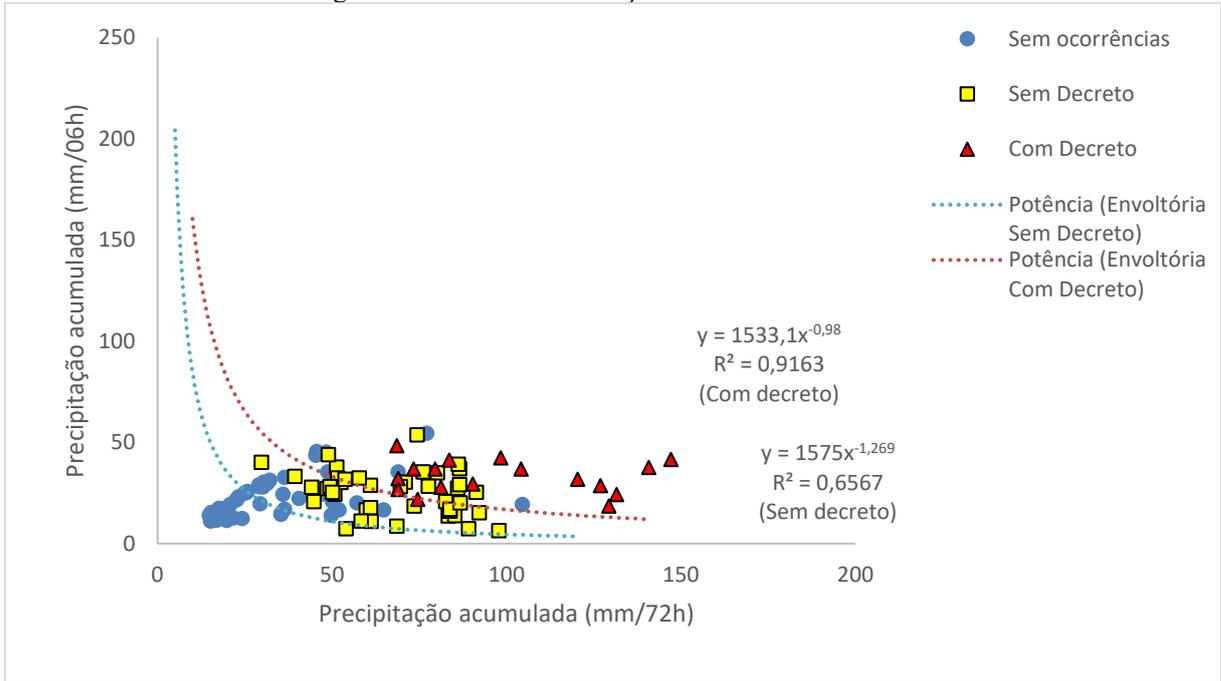


Figura 48- Gráfico de correlação entre mm/06h e mm/96h

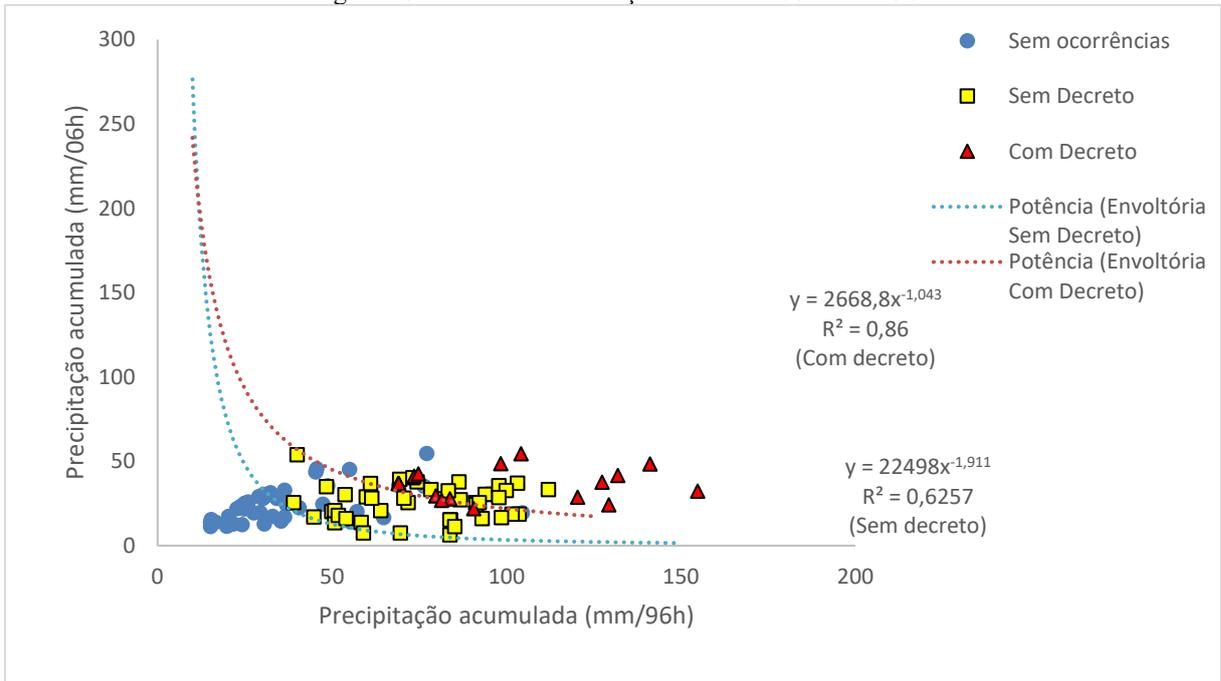


Figura 49 – Gráfico de correlação entre mm/24h e mm/72h

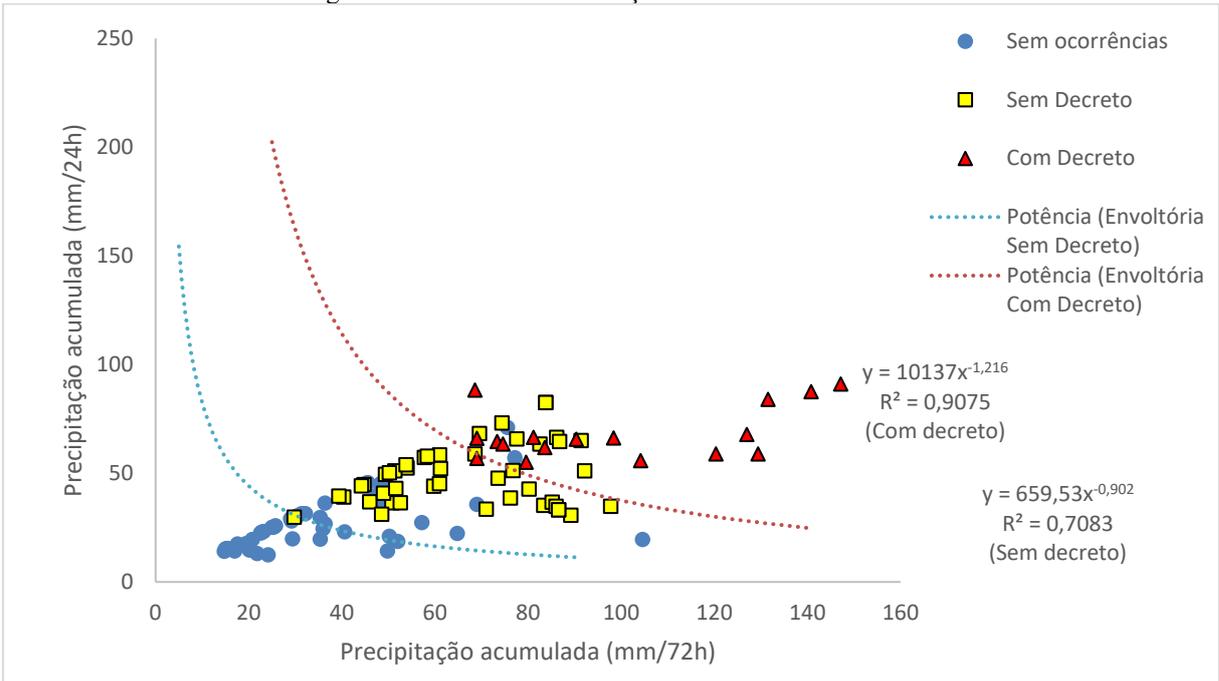
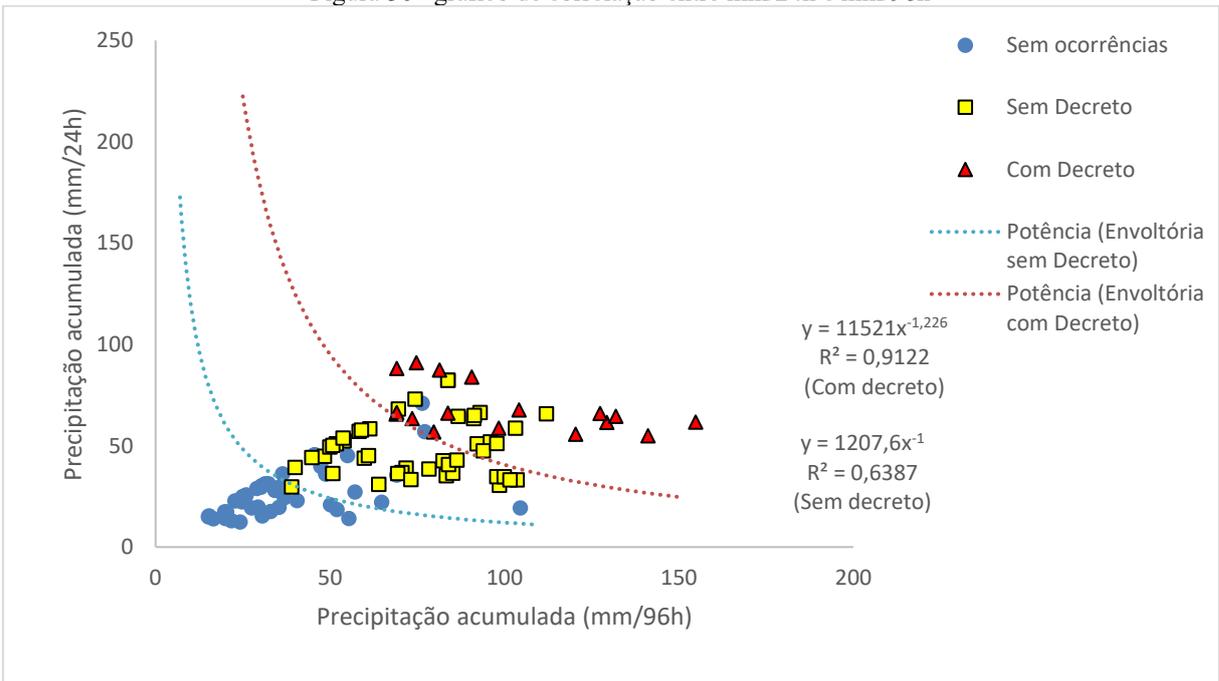


Figura 50– gráfico de correlação entre mm/24h e mm/96h



As equações das envoltórias de 06h x 72h e 24h x 72h com e sem decreto foram representadas respectivamente por:

$$y = 1533,1 x^{-0,98} \quad \text{Com Decreto} \quad (7)$$

$$y = 1575 x^{-1,269} \quad \text{Sem Decreto} \quad (8)$$

$$y = 10137 x^{-1,216} \quad \text{Com Decreto} \quad (9)$$

$$y = 659,53x^{-0,902} \quad \text{Sem Decreto} \quad (10)$$

Onde:

y= precipitação acumulada (mm/06h).

y= precipitação acumulada (mm/24h).

x= precipitação acumulada (mm/72h).

Ainda com o objetivo de validar a envoltória ajustada, prosseguiu com o cálculo do coeficiente de determinação, o qual é correspondente ao quadrado do coeficiente de correlação. Quanto mais os valores tendem a se aproximar de 1, melhor é a qualidade de uma linha de regressão, ou seja, a variável x é melhor capaz de explicar a variável y. Os valores de $R^2 = 0,7083$ e $R^2 = 0,9075$ do par pluviométrico 24h(mm) x 72h(mm) e $R^2 = 0,9163$ e $R^2 = 0,6567$ do par pluviométrico 06h(mm) x 72h(mm) indicam uma boa relação entre as variáveis, a tabela 03 mostra as equações e os coeficientes de determinação de todos os pares pluviométricos. A forma das curvas obtidas, segue a tendência que D'Orsi (2011) descreve em seu estudo de correlação, onde a mesma é similar à forma de outras curvas descritas em estudos no Brasil e no Mundo, o valor da acumulado em 06h e 24h decresce, de modo não linear, com o aumento do acumulado de 72h.

Tabela 3- Pares pluviométricos com suas respectivas equações e R^2

Correlações		Equações	Coeficiente de Determinação (R^2)
01hx72h	Com Decreto	$y = 427,97x^{-1,002}$	$R^2 = 0,4484$
	Sem Decreto	$y = 272,53x^{-0,93}$	$R^2 = 0,5281$
01hx96h	Com Decreto	$y = 378,05x^{-0,972}$	$R^2 = 0,4372$
	Sem Decreto	$y = 169,66x^{-0,889}$	$R^2 = 0,5587$
06hx72h	Com Decreto	$y = 1533,1x^{-0,98}$	$R^2 = 0,9163$
	Sem Decreto	$y = 1575x^{-1,269}$	$R^2 = 0,6567$
06hx96h	Com Decreto	$y = 2668,8x^{-1,043}$	$R^2 = 0,86$

	Sem Decreto	$y = 22498,9x^{-1,911}$	$R^2 = 0,6257$
24hx72h	Com Decreto	$y = 10137x^{-1,216}$	$R^2 = 0,9075$
	Sem Decreto	$y = 659,53x^{-0,902}$	$R^2 = 0,7083$
24hx96h	Com Decreto	$y = 11521x^{-1,226}$	$R^2 = 0,9122$
	Sem Decreto	$y = 1207,6x^{-1}$	$R^2 = 0,6387$

A correlação da pesquisa indica para a área de estudo que a precipitação acumulada tem mais preponderância em relação a intensidade horária. Acumulados de precipitação de 06h e 24h tendem a serem chuvas deflagradoras de deslizamentos quando atingem o limiar a partir de chuvas preparatórias acumuladas em 72h. Vieira (2004) descreve para Blumenau, pertencente a mesma mesorregião de Ibirama, que acumulados pluviométricos na ordem de 50mm em 72h, já são suficientes para iniciar a instabilidade em encostas.

No tocante à geologia-geotecnia, essas chuvas acumuladas de 3 dias, causam uma progressiva redução ao cisalhamento. Rochas maciças como gnaisses, que ocupam grande parte do município, são cobertas por solos profundos e permeáveis, que possibilitam os deslizamentos. Dessa forma chuvas com acumulado anterior aumentam o grau de saturação do solo, reduzindo seus parâmetros de resistência como coesão e tensão cisalhante normal e aumentando a poro pressão (Lumb, 1975; Castro, 2006; Wang & Sassa, 2003).

Outro fator observado no município é a erosão. Devido ao intensivo extrativismo vegetal no século XX, a cobertura florestal mudou, dando lugar às pastagens e a agricultura. Mais recentemente, devido a urbanização, obras de movimentação de terra resultaram em solos desprotegidos. Dessa forma, as erosões colaboraram para a remoção do solo superficial abrindo ravinas e alterando as condições hidrológicas nas encostas, propiciando infiltrações. Situação oportuna para chuvas convectivas remodelarem o terreno por meio da erosão, dando subsídio a infiltração de chuvas posteriores, como as chuvas estratiformes.

Como apresentado no item “Distribuição Temporal dos Deslizamentos” o gráfico dos maiores acumulados mensais para a época do estudo, revelou-se em junho e setembro, tal qual, são precipitações causadas por sistemas frontais, sendo uma chuva distribuída de maneira mais uniforme, dando ênfase aos valores de acumulados de mm/06h e mm/24h x mm/72h, diferente de chuvas convectivas, que normalmente são em meses mais quentes e tem intensidade horárias bem elevadas. Analisando a distribuição de chuvas horárias dos principais eventos ocorridos, pode-se perceber (Figura 51) a tendência de precipitações com

picos acumulados nas 06h e bem distribuídas nos acumulados 24h (Figura 51). As demais distribuições de chuvas de todos os eventos estão no Apêndice D.

Figura 51– Picos de chuva no acumulado das 06h

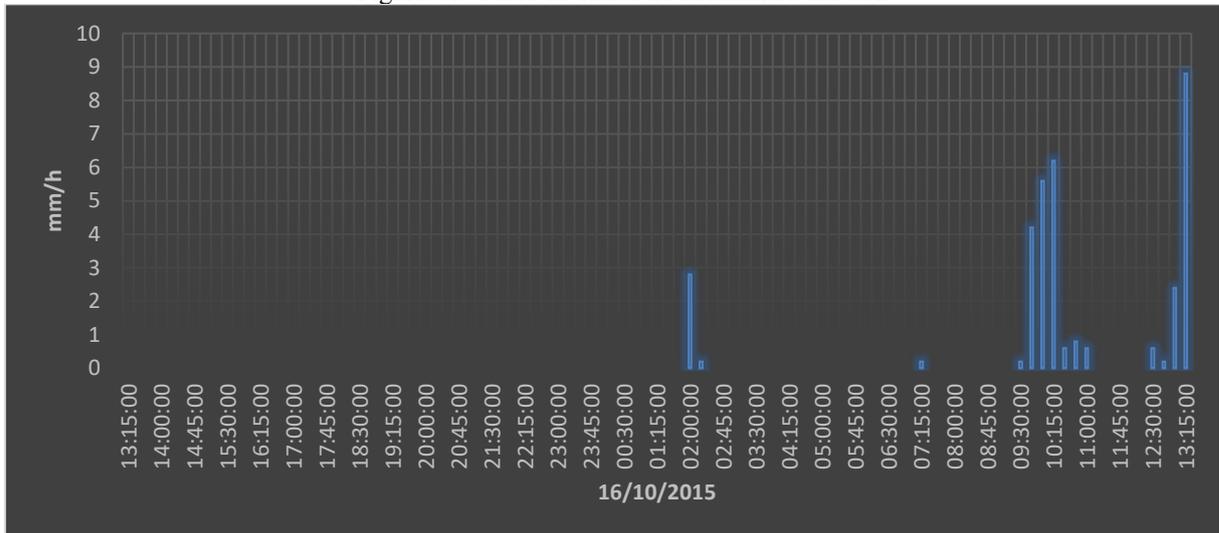
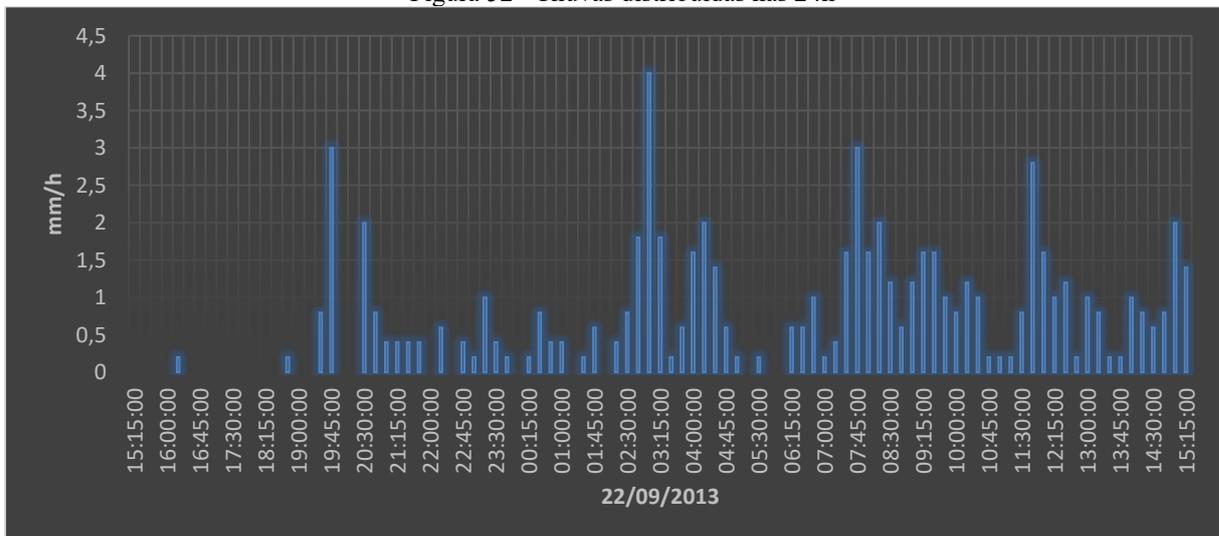


Figura 52– Chuvas distribuídas nas 24h



Atrelado a isso, valores de precipitação de 10mm/h já são o suficiente para desencadear deslizamentos em taludes de cortes a aterros em acumulados próximos a 75mm em 72h na cidade de Ibirama. Tal como valores de 35mm precipitados em 06h a partir de acumulados de 100mm em 72h podem ocasionar eventos de magnitude de decretação de estado de emergência na cidade (Tabela 4). Assim, se uma encosta já tem predisposição a deslizamento, devido a saturação nos últimos 3 dias, espera-se que as intensidades pluviométricas horárias necessárias ao desencadeamento dos processos de movimento de

massa, não sejam de grandes índices. Em contrapartida, se o solo se encontra com baixo valor de umidade, é necessária uma precipitação com altos valores de intensidade horário para provocar o processo de deslizamento, fato esse, pouco recorrente em Ibirama. Os gráficos definitivos das melhores correlações são apresentados a seguir (Figuras 53 e 54) e os demais no Apêndice E.

Tabela 4- Valores desencadeadores de deslizamentos

Intensidade	Acumulado	Tempo
10mm/h	75mm	72h
35mm/06h*	100mm*	72h

*Valores para eventos de magnitudes maiores com possibilidade de decretação

Figura 53- Gráfico de correlação entre 06mm/h e mm/72h

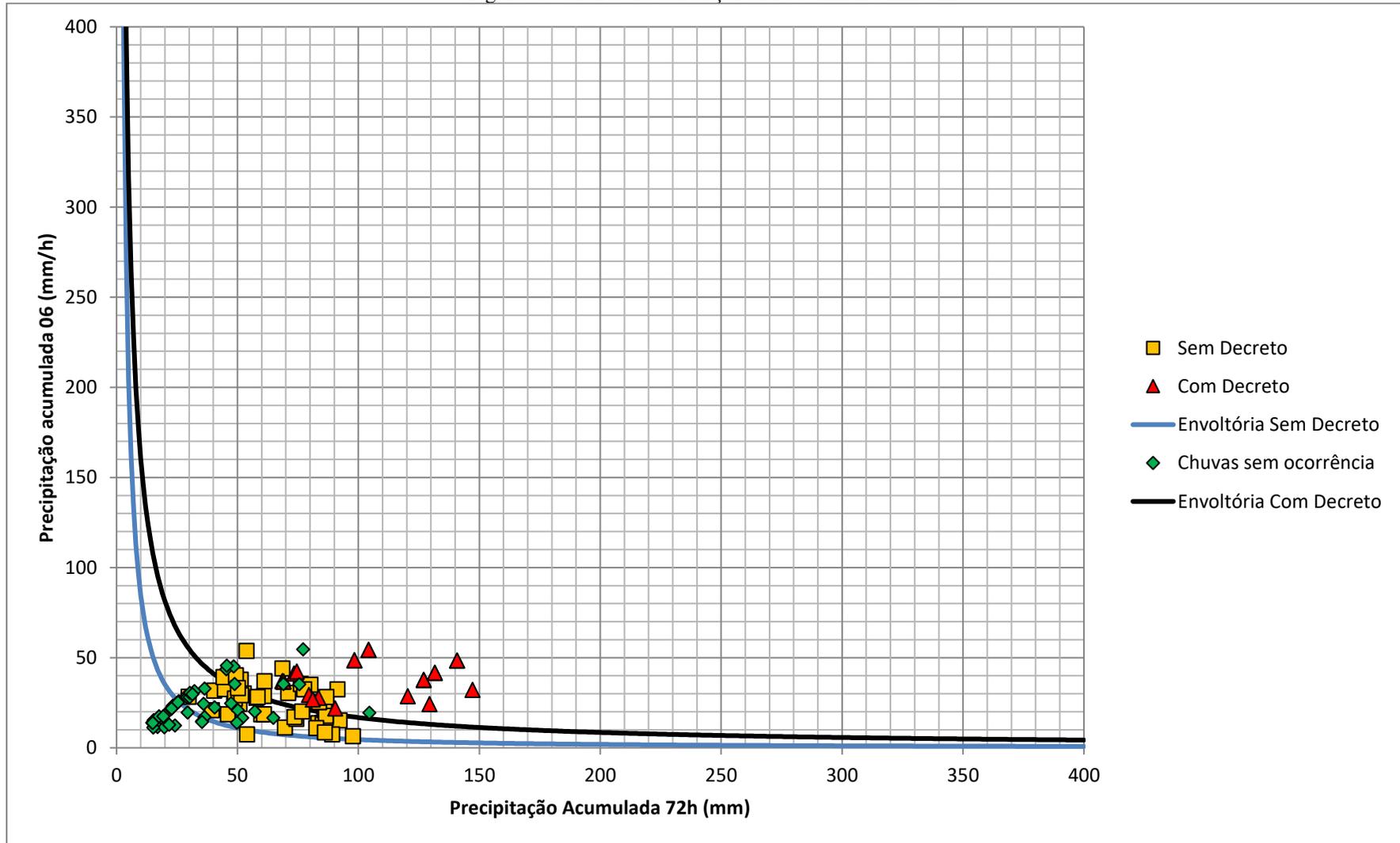
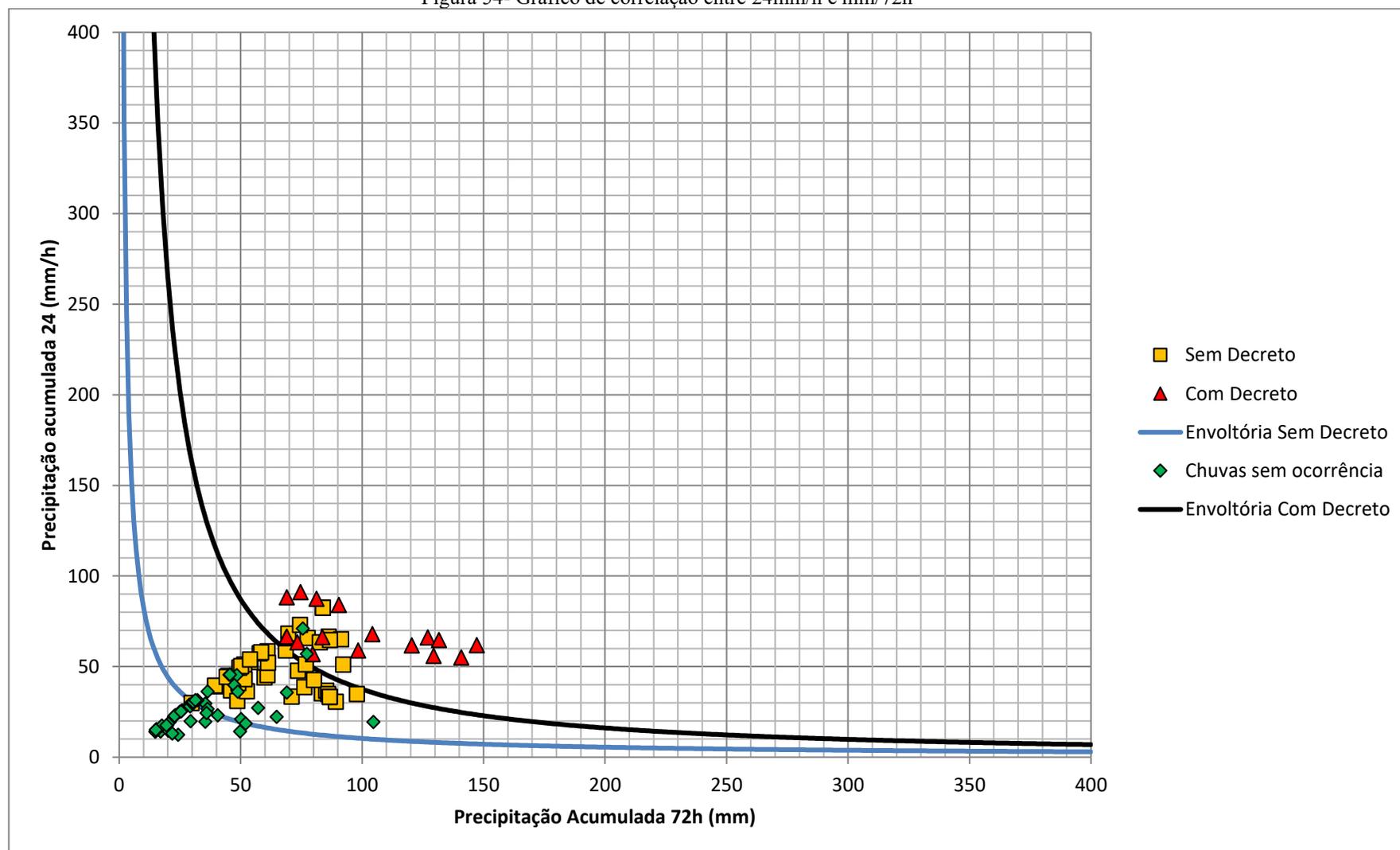


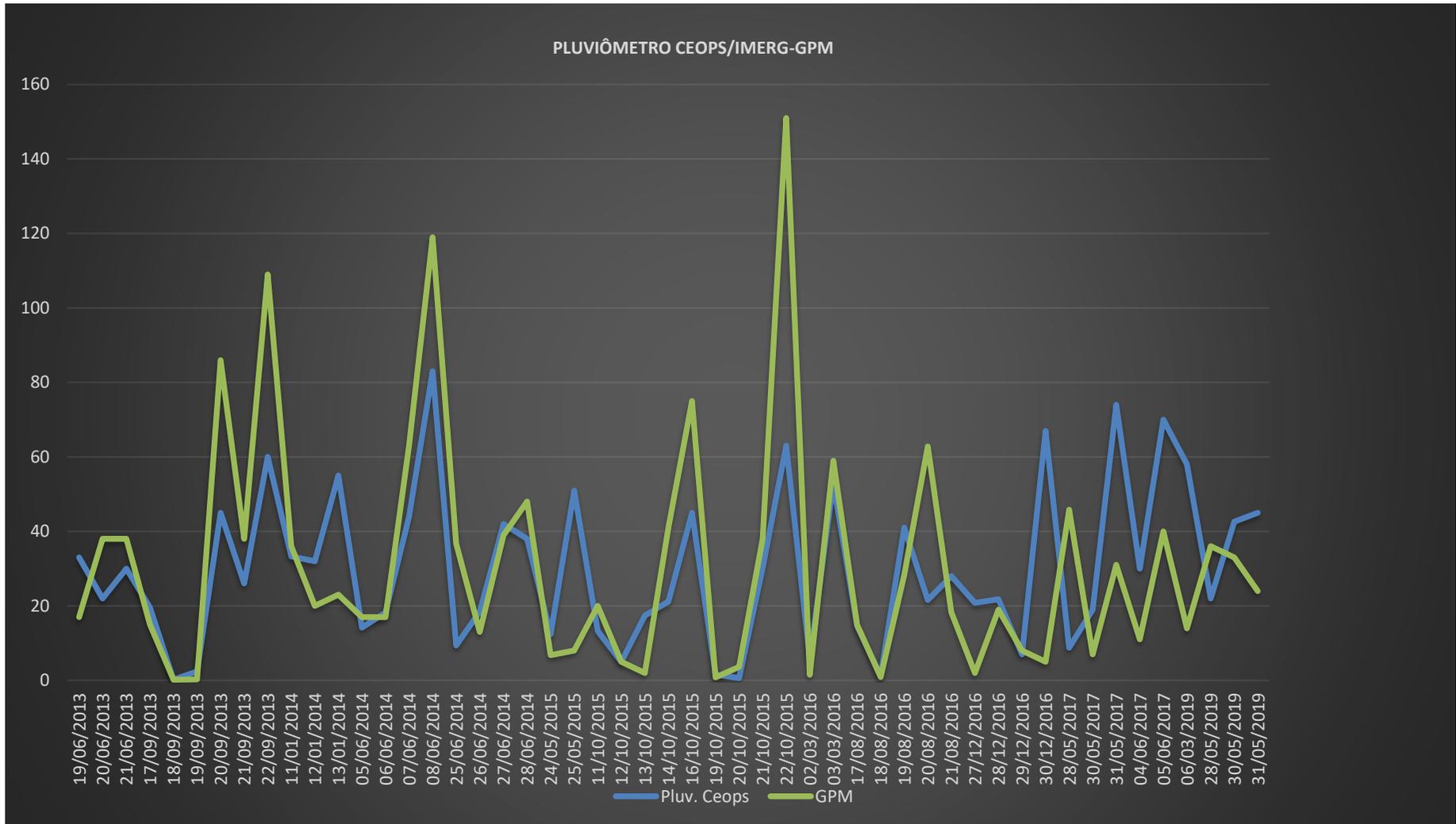
Figura 54- Gráfico de correlação entre 24mm/h e mm/72h



5.4 COMPARAÇÃO DO IMERG COM DADOS DO PLUVIÔMETRO

A partir da figura 55 conseguiu-se avaliar a precipitação observada e a precipitação estimada, com os valores plotados se procedeu então a obtenção dos resíduos, onde esses valores indicaram uma leve tendência do IMERG em subestimar os valores observados, entrando em concordância de estudos como o de Sharifi *et al* (2016), Xu *et al* (2017) e Teodoro *et al* (2020). Para esta comparação todas as intensidades de chuvas foram comparadas sem classificação, uma vez que no período acumulado de 96h pode-se ocorrer chuvas de intensidade leve, moderada, forte e extremamente intensas He *et al* (2017). As linhas do gráfico indicam que houve dias assertivos exatamente conforme observado a campo, porém houve datas que a diferença foi discrepante, chegando a valores de -62 mm e 88mm, sendo estes os de maiores diferenças. Para este primeiro valor, ocorrido na data de 30/12/2016, a causa está ligada a um evento de chuva do tipo estratiforme, ou seja, chuva de nuvens com o topo quente, sendo assim, o IMERG subestimou severamente o total precipitado, a diferenciação das “chuvas quentes” para sistemas convectivos é fundamental para a análise de precipitações por meio de sensoriamento remoto Petty (1995). Já para o segundo valor apresentado, na data de 22/10/2015 foi verificado que o sistema atuante era convectivo, sendo descartado a hipótese de “chuva quente”, vale ressaltar que esse valor foi superestimado pelo IMERG, ou seja, fugindo do padrão geral em subestimar valores. A causa desse valor discrepante pode estar em algum erro no próprio pluviômetro do CEOPS, uma vez que comparado ao pluviômetro da ANA (não usado nesse estudo por apresentar apenas valores diários) notou-se um decréscimo do valor total acumulado diário, além também da não assertividade do IMERG, onde o relevo pode atuar causando interferências nas estimativas do IMERG Liu (2016).

Figura 55- Gráfico de precipitação observada (pluviômetro) e a precipitação estimada (GPM)



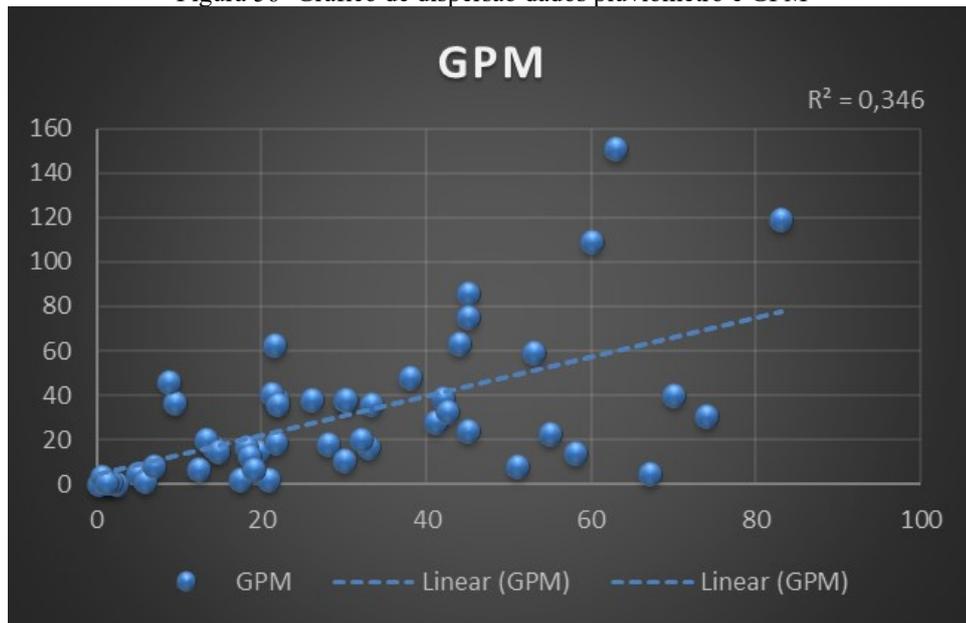
Os resultados das métricas estatísticas utilizadas para avaliar a performance das estimativas de precipitação do IMERG podem ser visualizadas na tabela 5. O coeficiente de Correlação de Pearson indicou um valor de correlação aceitável, 0,588238. Semelhantes resultados Teodoro *et al* (2020) conceberam para seu estudo onde o Coeficiente de Correlação de Pearson ficou na sua maioria abaixo de 0,7. Entretanto Santos *et al.* (2019) estabeleceu melhores correlações para sua área de estudo, essas variaram de 0,7 até 0,95, vale destacar que este, o estudo ocorreu na Amazônia com um relevo totalmente diferente da região do presente estudo. Os mesmos autores apontaram para valores de RMSE de 13.81mm até 71.76mm. Gadelha (2018) achou valores menores na escala diária, 6.39mm a 2.54mm, valores bem menores que apontado nesse estudo. O RMSE de 25.56mm representou bem o padrão de valores da comparação IMERG x pluviômetro, ora subestimou e superestimou, ora foi assertivo. Ainda que se descartasse os 2 valores mais discrepantes desse estudo, pouco decréscimo em mm teríamos, o que representa pouca precisão nas estimativas do IMERG. O coeficiente de eficiência Nash Sutcliffe apontou o valor de -0,48668, demonstrando melhores valores comparado aos de Lemos *et al* (2017) os quais avaliaram o mesmo produto *Early* do IMERG para períodos quinzenais e anuais, chegando respectivamente a -2,30 e -3,89.

Tabela 5- Métricas estatísticas de comparação do IMERG

Coeficiente de determinação R ²	34,60%
RMSE	25,56223
Coeficiente de Correlação de Pearson (CP)	0,588238
Coeficiente de eficiência Nash Sutcliffe (NS)	-0,48668

O gráfico de dispersão da figura 56 indicou valores não satisfatórios, ou seja, as estimativas geradas pelo satélite não conseguiram explicar os valores observados pelo pluviômetro, ficando distantes do valor perfeito de 1.

Figura 56- Gráfico de dispersão dados pluviômetro e GPM



6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A distribuição espacial e temporal dos deslizamentos relacionados aos sistemas meteorológicos, bem como a correlação de chuvas-deslizamentos para o município de Ibirama permite uma previsão com maior precisão desse tipo de desastre natural. A compreensão do quantitativo de precipitação que causa o disparo desse fenômeno fornece critérios para uma avaliação mais objetiva de quando os movimentos de massa se iniciam.

A pesquisa se deu início com a coleta de dados na COMPDEC, onde observou-se a ausência de algumas informações importantes relacionadas a ocorrência do fenômeno, principalmente o horário exato em que ocorreram os deslizamentos, fato esse que se justifica por toda a mobilização feita frente a eventos extremos que se traduz pela falta de pessoal. Os dados pluviométricos também apresentaram algumas falhas pelo pluviômetro da CEOPS se apresentar inoperante em boa parte do ano de 2018, sendo esse, o ano com menor incidência de deslizamentos, apenas 06 ocorrências.

Os deslizamentos são o tipo de desastre de maior incidência em Ibirama, responsável por inúmeros decretos de emergência na cidade, afetando residências, ruas e rodovias, e até o abastecimento de água na cidade. Para isso a metodologia de correlação chuvas-movimentos de massa usada foi a proposta por Tatizana *et al.* (1987) consolidada sob os dados levantados nesse estudo. Diante da análise da deficiência de cobertura do território em medições observadas da precipitação por pluviômetros se buscou também uma análise na estimativa de chuva por sensoriamento remoto pela missão GPM.

De forma que vários são os fatores que desencadeiam os movimentos de massa, buscou-se estabelecer de forma espacial e temporal e correlacionar numericamente por meio de retroanálise de deslizamentos que ocorreram no território do município. Resultante da análise temporal pode-se perceber que entre os anos de 2013 a 2016, as precipitações intensas levaram ao município fazer a decretação de estado de emergência, sendo que de 2013 a 2015 os acumulados ficaram acima da média histórica do município, no qual 2013 foi o ano em maior número de ocorrências registradas, essas no mês de setembro. O sistema atmosférico que mais contribuiu para essas chuvas deflagradoras de movimentos de massa foram os sistemas frontais, todavia a análise do sistema isoladamente não explica a ocorrência dos deslizamentos, destacando-se a importância da análise multidisciplinar do fenômeno. No que tange a distribuição espacial verificou-se uma relação dos deslizamentos com a área de maior colonização localizada próxima ao Rio Itajaí do Norte, o que se traduz que foram na grande

maioria em taludes de cortes e aterros, isto é, induzidos pela ação humana, de tal forma que a Unidade Geotécnica com maior concentração de eventos de deslizamentos foi Argissolo Vermelho-Amarelo + Gnaisse, unidade onde concentra-se a maior urbanização. A classe de declividade que apresentou maior frequência de movimentos de massa foi entre $16,7^\circ - 25^\circ$ ou $30\% - 46,6\%$ correspondentes as classes ondulado e forte ondulado conforme EMBRAPA, sendo localizados em cortes para aberturas de vias e também na maioria de taludes artificiais. Apesar da classe da classe $>45^\circ$ ou 100% não apresentar nenhum deslizamento no período de estudo, não se descarta os deslizamentos nessa região, pois a topografia é um fator fundamental para ocorrer movimentos de massa, principalmente em eventos de chuvas extremas.

Neste trabalho a análise dos dados revelou que as correlações mais claras foram a precipitação acumulada de 06 (mm/h) e 24 (mm/h) x Precipitação Acumulada 72h (mm/h), os valores de $R^2= 0,7083$ e $R^2= 0,9075$ do par pluviométrico 24h(mm) x 72h(mm) e $R^2= 0,9163$ e $R^2 = 0,6567$ do par pluviométrico 06h(mm) x 72h(mm) indicaram uma boa relação entre as variáveis. Valores de precipitação de 10mm/h já são o suficiente para desencadear deslizamentos em acumulados próximos a 75mm em 72h.

A análise desse estudo comparou os valores de precipitação medida pelo pluviômetro do CEOPS com as estimativas de precipitação do produto do GPM. Na comparação do pixel em escala diária de 96h anteriores aos dias de ocorrência de deslizamentos, constatou-se que todas as métricas estudadas (R^2 , RMSE, CP e NS), tiveram resultados de correlação apenas aceitável e demonstrando pouca precisão nas estimativas do IMERG na área de estudo, as estimativas geradas pelo satélite não conseguiram explicar os valores observados pelo pluviômetro em uma análise geral, o IMERG ora subestimou ora superestimou os valores observadas com uma tendência leve em subestimar.

Recomenda-se a agregação de valores futuros para um melhor ajuste da curva de tendência e com isso poderá haver alteração no par pluviométrico bem como os valores de acumulados de precipitação deflagradores de movimentos de massa, podem futuramente ter alterações. A validação do produto IMERG mostrou que para a região de estudo e nas condições estudadas, a utilização de dados de estimativa de precipitação pelo produto IMERG do GPM não se mostrou viável a ser utilizado em substituição, ou em associação à precipitação medida pelo pluviômetro do CEOPS, este produto de satélite apresenta erros consideráveis quando utilizado na escala diária, dessa forma é fundamental a instalação de novos pluviômetros distribuídos na cidade de Ibirama para a construção de limiares mais

precisos. É indicado também para a Coordenaria Municipal de Proteção de Defesa Civil o uso de um limiar mais conservador, ou seja, um limiar de segurança no qual traz margem a uma ação antecipada de alerta do órgão. Recomenda-se ainda que os estudos de correlação chuvas-movimentos de massa sejam feitos a nível local, uma vez que diferenças climatológicas, meteorológicas, geomorfológicas e pedológicas influenciam na deflagração desse evento.

REFERÊNCIAS

_____. Ministério Da Integração Nacional. **Formulário de Informações do Desastre** (Ibirama, Setembro de 2013). 2014. Disponibilizado pela Coordenadoria de Proteção e Defesa Civil de Ibirama em março de 2020.

_____. Ministério Da Integração Nacional. **Formulário de Informações do Desastre** (Ibirama, Junho de 2014). 2014. Disponibilizado pela Coordenadoria de Proteção e Defesa Civil de Ibirama em março de 2020.

_____. Ministério Da Integração Nacional. **Formulário de Informações do Desastre** (Ibirama, Outubro de 2015). 2015. Disponibilizado pela Coordenadoria de Proteção e Defesa Civil de Ibirama em março de 2020.

_____. Ministério Da Integração Nacional. **Formulário de Informações do Desastre** (Ibirama, Dezembro de 2016). 2016a. Disponibilizado pela Coordenadoria de Proteção e Defesa Civil de Ibirama em março de 2020.

_____. Ministério Do Desenvolvimento Regional. **S2ID - Sistema Integrado de Informações sobre Desastres**. 2020a. Disponível em: <<https://s2id.mi.gov.br/>> Acesso em: 25 de Fevereiro de 2020.

ALMEIDA, J.A.. **Litosfera, Minerais do Solo e Intemperismo de Rochas**. 2007. (Desenvolvimento de material didático ou instrucional - Didático Pedagógica).

ANA – Agência Nacional de Águas. **HidroWeb - Sistema de Informações Hidrológicas. Séries Históricas**. 2019. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/default.asp>> Acesso em: 12 de junho de 2019.

ANTONELLI, Tiago. **Análise dos processos deflagradores de movimentos gravitacionais de massa com ênfase para a relação chuva x deslizamentos para o município de Baixo Guandu – ES, Brasil. 2018**. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós- Graduação em Geoquímica e Geotectônica, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 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. ABMS/ABGE/PCRJ, 1992. v.2, p.721-733.

AZEVEDO, George Fernandes. **Análise da relação chuva-escorregamento em regiões tropicais montanhosas urbanas, caso de estudo Rio de Janeiro**, Brasil, 2011. 120 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

BAH, M.K.; Gunshor, M.M.; Schmit, T.J. **Generation of GOES-16 True Color Imagery without a Green Band**. Earth Space Sci. 2018, 5, 549–558

BRAND, E.W., PREMCHITT, J. & PHILLIPSON, H.B. (1984). **Relationship between rainfall and landslides in Hong Kong**. 4th International Symposium on Landslides, ISSMGE, Toronto, Canada, 1: 377-384.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Instituiu o novo Código Florestal brasileiro**. Brasília: DOU de 28/05/2012.

BRASIL. CPRM. Ministério de Minas e Energia. **AÇÃO EMERGENCIAL PARA RECONHECIMENTO DE ÁREAS DE ALTO E MUITO ALTO RISCO A MOVIMENTOS DE MASSA, ENCHENTE E INUNDAÇÃO**. Ibirama, 2016. 16 p.

BRASIL. ICMBio. Ministério do Meio Ambiente. **Plano de Manejo Floresta Nacional de Ibirama**. Brasília, 2008. 157 p.

BRASIL. Isa de Oliveira Rocha (org.). Governo do Estado de Santa Catarina Secretaria de Estado do Planejamento Diretoria de Estatística e Cartografia. **ATLAS GEOGRÁFICO DE SANTA CATARINA**. Florianópolis, 2018.

BRASIL. Ministério Do Desenvolvimento Regional. **Formulário de Informações do Desastre** (Ibirama, Setembro de 2019). 2019. Disponibilizado pela Coordenadoria de Proteção e Defesa Civil de Ibirama em Setembro de 2019.

BRASIL. Nelson Fernandes. CEMADEN. **MANUAL TÉCNICO PARA ELABORAÇÃO, TRANSMISSÃO E USO DE ALERTAS DE RISCO DE MOVIMENTOS DE MASSA**. São José dos Campos, 2018. 160 p.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. **Lei n. 6.766 de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e da outras providências**. Diário Brasília Oficial da União. 29 dez 1965

CARMO, Alcione Moreira do et al. **AVALIAÇÃO DE SUSCETIBILIDADE À MOVIMENTOS DE MASSA, UTILIZANDO AS VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS, PARA AS SERRAS DA PORÇÃO SUL DO MACIÇO CENTRAL DO CEARÁ**. *Revista Brasileira de Cartografia*, Rio de Janeiro, p. 1787-1804, out. 2016.

CASTRO, A. L. C. **Glossário de defesa civil: estudo de riscos e medicina de desastres**. Brasília: MPO/ Departamento de Defesa Civil, 1998. 283 p.

CASTRO, J.M. **Pluviosidade e movimentos de massa nas encostas de Ouro Preto**. 2006. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2006.

CENTRO NACIONAL DE GERENCIAMENTO DE RISCOS E DESASTRES (CENAD). **Anuário brasileiro de desastres naturais: 2012**. Brasília: CENAD, 2012. 80 p.

CEOPS - FURB. Centro de Operação do Sistema de Alerta - CEOPS, Fundação Universidade Regional de Blumenau - FURB. **Banco de Dados, 2013-2019**. Disponibilizado, em 19 de outubro de 2019, por comunicação pessoal.

CHANG, Kang-Tsung; CHIANG, Shou-Hao. **An integrated model for predicting rainfall-induced landslides**. *Geomorphology*, v. 105, n. 3-4, p.366 – 373, 2009.

COBRADE. **Classificação e codificação brasileira de desastres**. [2012]. Disponível em: <http://www.integracao.gov.br/documents/3958478/0/Anexo+V+Cobrade_com+simbologia.pdf/d7d8bb0b-07f3-4572-a6ca-738daa95feb0>. Acesso em: 20 ago. 2019.

COMET (Estados Unidos). The University Corporation For Atmospheric Research.. **GOES-R: Benefícios da Próxima Geração de Monitoramento Ambiental**. 2016. COMET®. Disponível em: https://www.meted.ucar.edu/goes_r/envmon_pt/print.php. Acesso em: 24 mar. 2020.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Carta Geológica Da Folha Curitiba. Mapa. 1:1000000**. Brasília, 2010. Disponível em < <http://geobank.cprm.gov.br/>>. Acesso em Julho de 2019.

CROSTA, G. & FRATTINI, P. **Distributed Modeling of Shallow Landslides Triggered by Intense Rainfall**. *Natural Hazard and Earth System Sciences*, 3(1): 81-93. (2003).

CRUZ, O. **Contribuição geomorfológica ao estudo de escarpas da Serra do Mar**. *Revista IG*, v. 8-10,11 n. 1, p. 9-20, 1990.

DEMARTINO, Natália Magalhães. **APLICAÇÃO DO MODELO SHALSTAB NO MAPEAMENTO DE DESLIZAMENTOS RASOS NA SUB-BACIA DO RIO COMPRIDO - JOINVILLE/SC**. 2016. 64 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

D'ORSI, Ricardo Neiva. **CORRELAÇÃO ENTRE PLUVIOMETRIA E ESCORREGAMENTOS NO TRECHO DA SERRA DOS ÓRGÃOS DA RODOVIA FEDERAL BR-116 RJ (RIO-TERESÓPOLIS)**. 2011. 287 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

DIAS, M. A. F. S.; MINUZZI, R. B. **As chuvas de novembro de 2008 em Santa Catarina: um estudo de caso visando a melhoria do monitoramento e da previsão de eventos extremos**. Centro de Informações de Recursos Ambientais e Hidrometeorologia de Santa Catarina (CIRAM), 2009.

DIAS, Mariane Carvalho de Assis; SAITO, Silvia Midori; ALVALÁ, Regina célia dos Santos; STENNER, Cláudio; PINHO, Gustavo; NOBRE, Carlos Afonso; FONSECA, Maria Rita de Souza; SANTOS, Camilla; AMADEU, Pilar; SILVA, Dennis. **Estimation of exposed population to landslides and floods risk areas in Brazil, on an intra-urban scale**. *International Journal Of Disaster Risk Reduction*, [s.l.], v. 31, p. 449-459, out. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.06.002>.

EMBRAPA / CNPS. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de Santa Catarina**. Rio de Janeiro, 1998. 735 p. (Boletim de Pesquisa, n. 6)

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Solos de Santa Catarina. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, n. 46. Brasília: EMBRAPA Solos, 2004.

ESCOBAR, GUSTAVO C.J.; Seluchi, Marcelo E. ; ANDRADE, KELEN . **Classificação Sinótica de Frentes Frias Associadas a Chuvas Extremas no Leste de Santa Catarina (SC)**. REVISTA BRASILEIRA DE METEOROLOGIA, v. 31, p. 649-661, 2016.

FERNANDES, N.F. & AMARAL, C.P. (1996). **Movimentos de massa: uma abordagem geológica-geomorfológica**. *Geomorfologia e Meio Ambiente*, A. J. T. Guerra & S. B. Cunha (eds.), Bertrand, Rio de Janeiro, Brasil, pp. 123-194.

FERNANDES, Nelson F.; GUIMARÃES, Renato F.; GOMES, Roberto A. T.; VIEIRA, Bianca C.; MONTGOMERY, David R.; GREENBERG, Harvey. **Condicionantes geomorfológicos dos deslizamentos nas encostas: avaliação de metodologias e aplicação de modelo de previsão de áreas susceptíveis**. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.2, n.1, p.51-71, 2001.

FERNANDEZ, Guilherme Nunes. **DETERMINAÇÃO DE LIMIARES CRÍTICOS DE CHUVA DEFLAGRADORES DE MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA, MUNICÍPIO DE SÃO BERNARDO DO CAMPO, SP. 2018**. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Recursos Minerais e Hidrogeologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

FINLAY, P.J., FELL, R. & MAGUIRE, P.K. (1997). **The relationship between the probability of landslide occurrence and rainfall**. *Canadian Geotechnical Journal*, 34(6): 811-824.

FLORES, J. A. A.; PELLERIN, J. ; EGAS, H. M. . **Movimentos Gravitacionais de Massa no Município de Gaspar, Vale do Itajaí, SC, na catástrofe de novembro de 2008**. Caracterização dos processos por critérios geomorfológicos, geológicos e pedológicos.. In: XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2009, VISOÇA. XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2009.

GADÊLHA, André Nóbrega. **Análise da Missão GPM (Global Precipitation Measurement) na Estimativa de Precipitação Sobre Território Brasileiro**. 2018. 83 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

GIANNECHINI, Roberto. **Relationship between rainfall and shallow landslides in the southern Apuan Alps (Italy)**. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, v. 6, n. 3, 357-364, 2006.

GILEWSKI, P. & NAWALANY, M. (2018). **Inter-Comparison of Rain- Gauge, Radar, and Satellite (IMERG GPM) Precipitation Estimates Performance for Rainfall-Runoff Modeling in a Mountainous Catchment in Poland**. *Water*, 10(11): 1-23.

GOUVEIA, R. L.; CAMPOS, C. C.; MENEZES, J. T.; MOREIRA, G. F. **Análise de frequência de precipitação e caracterização de anos secos e chuvosos para a bacia do Rio Itajaí**. *Revista Brasileira de Climatologia*. v. 22, p. 309-323. 2018.

GRAMANI, M.F. (2001) **“Caracterização geológica-geotécnica das corridas de detritos (“Debris Flows”) no Brasil e comparação com alguns casos internacionais”**. Dissertação

de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Solos, EPUSP - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 372p.

GUIDICINI, G., NIEBLE, C.M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. 2. ed. São Paulo: 1984.

HE, Z.; YANG, L.; TIAN, F.; NI, G.; HOU, A. & LU, H. (2017). **Intercomparisons of Rainfall Estimates from TRMM and GPM Multisatellite Products over the Upper Mekong River Basin**. Journal of Hydrometeorology, 18(2): 413-430.

HIGHLAND, Lynn M; BOBROWSKY, Peter. **O Manual de Deslizamento: Um Guia para a Compreensão de Deslizamentos**. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia: 2008.

HUNGR, O.; EVANS, S. G.; BOVIS, M.; HUTCHINSON, J. N. **A review of the classification of landslides of the flow type**. Environmental Engineering and Geoscience, v VII, p. 221–238. 2001.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Anuário estatístico do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010a. v. 70. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/AEB/AEB2010.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2019.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010**. Diretoria Geral de Estatística, 2010. Disponível em <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=420690&search=||infogr%E1ficos:-informa%E7%F5es-completas>>. Acesso em 26 de Abril de 2020.

IBIRAMA (Município) / PREFEITURA MUNICIPAL DE IBIRAMA. **Dados do Município. Ibirama, SC, 2016**. Disponível em: <<http://www.ibirama.sc.gov.br/c/dados-do-municipio#.V35TnbgrLIU>>. Acesso em: 26 abril. 2020.

IBIRAMA (Município). **Lei Complementar N°. 172, de 17 de Dezembro de 2019. Dispõe sobre a avaliação, revisão e atualização do plano diretor físico territorial de Ibirama, (SC) e sua adequação ao estatuto da cidade e dá outras providências**. Ibirama, 2019.

IDE, F.S. **Escorregamento, meteorologia e precipitação: uma proposta de método de investigação para prevenção e monitoramento de riscos**, aplicado em Campinas/SP. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, IPT, São Paulo, 2005.

IMAIZUMI, F., S. Tsuchiya, and O. Ohsaka (2005), **Behaviors of debris flows on a mountainous torrent in the Ohya landslide, Japan**, Can. Geotech. J., 42, 919– 931

INFANTI JR., N.; FORNASARI FILHO, N. 1998. **Processos da Dinâmica Superficial**. In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. (eds) Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE, 1998. p. 131-152.

INSTITUTO GEOLÓGICO. **Desastres Naturais: conhecer para prevenir**. TOMINAGA, L.K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Org.). 1. ed., São Paulo, 2009.

KLEIN, R. M. **Espécies raras ou ameaçadas de extinção. Estado de Santa Catarina.** Volume 1. Rio de Janeiro: IBGE, 1990. 287 p.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D.A.; MARCELINO, I.P.V.O; MARCELINO, E.V.; GONÇALVES, E.F.; BRAZETTI, L.L.P.; GOERL, R.F.; MOLLERI, G.S.F.; RUDORFF, F.M. 2006. **Prevenção de Desastres Naturais: Conceitos Básicos.** Curitiba: Ed. Organic Trading. 109 p. Disponível em: <http://www.labhidro.ufsc.br/publicacoes.html>

KÖPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra.** México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 466 p.

LELIS, Luísa Carolina Silva *et al.* **Assessment of Precipitation Data Generated by GPM and TRMM Satellites.** Revista Brasileira de Meteorologia, [S.L.], v. 33, n. 1, p. 153-163, mar. 2018.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos.** 2 Ed. São Paulo: Oficina de textos, 2010.

LI, A.G., YUE, L.G., THAM, L.G., LEE, C.F. & LAW, K.T. **Field-monitored variations of soil moisture and matric suction in a saprolite slope.** Canadian Geotechnical Journal, 42(1): 13-26. 2005.

LIU, Z. **Comparison of Integrated Multisatellite Retrievals for GPM (IMERG) and TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) Monthly Precipitation Products: Initial Results.** American Meteorological Society, v. 17, p. 777-790, 2016. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-15-0068.1>

LOPES, E.S.S. (2006) **Modelagem espacial dinâmica aplicada ao estudo de movimentos de massa em uma região da Serra do Mar paulista, na escala de 1:10.000.** Tese (Doutorado) - IGCE/UNESP, Rio Claro.

LUMB, P. (1975). **Slope failures in Hong Kong.** Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 8(1): 31-35.

MENDES, Rodolfo Moreda; VALERIO FILHO, Mario; BERTOLDO, Mathilde Aparecida; SILVA, Marlon Ferreira. **Estudo de limiares críticos da chuva deflagradores de deslizamentos no município de São José dos Campos/SP (Brasil).** Territorium, n. 22, p. 119-129, 2015.

METODIEV, D. , Andrade, M. , Mendes, R. , Moraes, M. , Konig, T. , Bortolozzo, C. , Bernardes, T. , Luiz, R. and Coelho, J. (2018) **Correlation between Rainfall and Mass Movements in North Coast Region of Sao Paulo State, Brazil for 2014-2018.** International Journal of Geosciences, 9, 669-679

MOLINA, Ellen A. N., CARDOSO, Andréa O., NOGUEIRA, Fernando R. **Relação Precipitação-Deslizamento no Município de São Bernardo do Campo-SP.** Ciência e Natura, v. 37, p. 46-54, 2015.

MONTEIRO, M. A. **Caracterização climática do estado de Santa Catarina: uma abordagem dos principais sistemas atmosféricos que atuam durante o ano.** Geosul, v. 16, n. 31, p. 69-78, 2001.

NASA. NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **GPM Mission Concept**, 2011. Disponível em: <http://pmm.nasa.gov/gpm>. Acesso: 09 de Maio de 2022.

OLIVEIRA S., J. Zêzere e R. Garcia. **Determinação de Limiares de Precipitação Para o Desencadeamento de Movimentos de Vertente na Bacia do Rio Grande da Pipa, Arruda dos Vinhos**, Comunicações Geológicas, Lisboa, 919-922 ,2014.

OLIVEIRA, G. A.; EHRLICH, M.; LACERDA, W. **Correlação chuvas, piezometria e movimentos das encostas dos km 87 e km101 da BR-116/RJ.** In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 5., 2009, São Paulo. Anais eletrônicos... São Paulo: ABMS, 2009. Disponível em: <<https://www.abms.com.br/links/bibliotecavirtual/cobrae/2009-oliveira-ehrllich.pdf>>. Acesso em: 23 set. 2019.

OLIVEIRA, L.C.D. (2004). **Análise Quantitativa de Risco de Movimentos de Massa com Emprego de Estatística Bayesiana.** Tese de Doutorado, COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 509 p.

PARIZZI, M.G.; SEBASTIÃO, C.S.; VIANA, C.S.; PFLUEGER, M.C.; CAMPOS, L.C.; CAJAZEIRO, J.M.D.; TOMICH, R.S.; GUIMARÃES, R.N.; ABREU, M.L.; SOBREIRA, F.G.; REIS, R. **Correlação entre chuvas e movimentos de massa no município de Belo Horizonte**, MG. In: Geografias. Belo Horizonte: 2010. v. 06., n.2., p.49-68.

PETTY, G.W., 1995: **The status of satellite-based rainfall estimation over land.** *Remote Sens. Environ.* **51**, 125-137

PRIETO, Carla Corrêa. **Previsão De Deslizamentos Em Encostas Por Meio De Modelagem Numérica: Estudo De Caso Na Bacia Piracuama, Município De Campos Do Jordão, SP.** 2018. 187 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência do Sistema Terrestre, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2018.

RAHARDJO, H., ONG, T.H., REZAUR, R.B. & LEONG, E.C. **Factors Controlling Instability of Homogeneous Soil Slopes under Rainfall.** Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 133(12): 1532-1543. (2007).

REIS, E., ZÊZERE, J.L., VIEIRA, G.T. & RODRIGUES, M.L. (2003). **Integração de Dados Espaciais em SIG para Avaliação da Susceptibilidade à Ocorrência de Deslizamentos.** Finisterra, XXXVIII (76): 3-34.

SANTOS, Luiz Octavio Fabricio dos; QUERINO, Carlos Alexandre Santos; QUERINO, Juliane Kayse Albuquerque da Silva; PEDREIRA JUNIOR, Altemar Lopes; MOURA, Aryanne Resende de Melo; MACHADO, Nadja Gomes; BIUDES, Marcelo Sacardi. **Validation of rainfall data estimated by GPM satellite on Southern Amazon region.** Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science, [S.L.], v. 14, n. 1, p. 1-1, 2 jan. 2019.

SANTA CATARINA (Estado) / CIASC. **Centro de Informática e Automação de Santa Catarina. Mapa Interativo.** Disponível em: <<http://www.mapainterativo.ciasc.gov.br/>>. Acesso em: 26 abril 2020.

SANTORO, Jair, Mendes, Rodolfo M., Pressinotti, Marcia M. N., Manoel, Gisele dos Reis (2010). **Correlação entre chuvas e deslizamentos ocorridos durante a operação do plano preventivo de defesa civil em São Paulo, SP.** Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Ambiental, 7, 2010, Maringá, Anais eletrônicos, CD-ROM, p.1-15.

SANTOS, Luiz Octavio Fabricio dos; QUERINO, Carlos Alexandre Santos; QUERINO, Juliane Kayse Albuquerque da Silva; PEDREIRA JUNIOR, Altamar Lopes; MOURA, Aryanne Resende de Melo; MACHADO, Nadja Gomes; BIUDES, Marcelo Sacardi. **Validation of rainfall data estimated by GPM satellite on Southern Amazon region.** Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science, [S.L.], v. 14, n. 1, p. 1, 2 jan. 2019.

SDS. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável. **Levantamento Aerofotogramétrico, restituição hidrográfica e MDT do Estado de Santa Catarina, realizado em 2009- 2010,** na escala 1:10.000. 2013.

SELBY, M. J. **Hillslope Materials & Processes.** Oxford: Oxford University Press, 1993.

SELUCHI Marcelo; BEU, CÁSSIA ; ANDRADE, KELEN M. . **Características das Frentes Frias Causadoras de Chuvas Intensas no Leste de Santa Catarina.** Revista Brasileira de Meteorologia, v. 32, p. 25-37, 2017.

SHARIFI, E.; STEINACKER, R.; SAGHAFIAN, B. **Assessment of GPM-IMERG and Other precipitation products against gauge data under different topographic and climatic conditions in Iran:** Preliminary results. Remote Sensing, v. 8, n. 2, 2016.

SHEPARD, F.P. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. Journal Sedimentary Petrology, 24:151-158. 1954.

SIDLE, R. C.; OCHIAI, H. **Landslides: Processes, Prediction, and Land Use.** . Water Resources Monograph 18, American Geophysical Union, Washington, DC, 312 pp 2006.

SILVA, Danúbia Teixeira. **CONTRIBUIÇÕES SOBRE PREVISÃO DE FLUXO DE DETRITOS.** 2016. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

SOARES, Fábio Lopes; RAMOS FILHO, Geraldo Moura. **Correlação entre movimentos de massa e pluviosidade nas encostas de João Pessoa-PB.** In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 17., 2014, Goiânia. Anais eletrônicos... Goiânia: COBRAMSEG, 2014.

SCHWAMBACK, DIMAGHI & BARBOSA, CAROLINA. (2018). **Análise multicritério de parâmetros fisiográficos influenciadores em deslizamentos na bacia do rio quandu-ES.**

TATIZANA, C.; OGURA, A.T.; CERRI, L.E.S.; ROCHA, M.C.M (1987a). **Análise de Correlação entre Chuvas e Escorregamentos – Serra do Mar – Município de Cubatão**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 5., 1987. São Paulo. Anais do 5º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. São Paulo: 1987.

TATIZANA, C., OGURA, AGOSTINHO T., CERRI, LEANDRO E. S., ROCHA, M. C. M. (1987b). **Modelamento numérico da análise de correlação entre chuvas e escorregamentos aplicado às encostas da Serra do Mar no município de Cubatão**. Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 5, 1987, São Paulo, Anais impressos, v. 2, p. 237-248.

TERLIEN, M.T.J. (1998). **The determination of statistical and deterministic hydrological landslide-triggering thresholds**. Environmental Geology, 35(2-3): 124-130.

TEODORO, Thales Alves; PASSOS, Robson Barreto dos; SILVA, Bruna Andreлина; SILVA, Benedito Cláudio da. **Análise das Estimativas da Precipitação Diária do Produto GPM-IMERG na Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí, Região Sudeste do Brasil**. Anuário do Instituto de Geociências - Ufrj, [S.L.], v. 43, n. 2, p. 449-459, 21 ago. 2020.

THANH, L.N. & DE SMEDT, F. (2013). **Slope stability analysis using a physically based model: a case study from A Luoi district in Thua Thien-Hue Province, Vietnam**. Landslides, 11(5): 897-907.

UNISDR - INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION, 2017. **Terminology on Disaster Risk Reduction**. Disponível em: <<https://www.undrr.org/terminology>>. Acesso em: 18 ago. 2019.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA (UFSC). CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES (CEPED) CEPED UFSC. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: 1991-2010**. Vol. Santa Catarina. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Florianópolis: CEPED UFSC, 2012. Disponível: <<http://www.ceped.ufsc.br/biblioteca>>. Acessado em: 08 ago. 2018.

USGS - United States Geological Survey. **Landslide types and processes**. U. S. Department of the Interior. Fact Sheet 2004-3072. 2004.

VARNES, D.J. (1978). **Slope movement types and processes**. Landslides, Analysis and Control, R. L. Schuster & R. J. Krizek (eds), Transportation Research Board – Commission on Sociotechnical Systems – National Research Council, National Academy of Sciences, Washington, USA, pp. 11-33.

VICTORINO, Mariana M.; SESTREM, Liamara Paglia; KORMANN, Alessandro C. M. **Definição de uma faixa pluviométrica crítica para a deflagração de movimentos de terra em taludes rodoviários localizados no trecho da serra do mar da rodovia BR – 376/PR**. Transportes, v. 25, n. 1, p. 113-120, 2017.

VIEIRA, R. **Um olhar sobre a paisagem e o lugar como expressão do comportamento frente ao risco de deslizamento**. 2004. 197f. Tese (Doutorado) – Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis, 2004.

WANG, F.W. & SHIBATA, H. (2007). **Influence of Soil Permeability on Rainfall-induced flowslides in Laboratory Flume Tests**. Canadian Geotechnical Journal, 44(1): 1128-1136.

WANG, G & SASSA, K. (2003). **Pore-pressure Generation and Movement of Rainfall-induced landslides: Effects of Grain Size and Fine-particle Content**. Engineering Geology, 69: 109-125.

WEI, G.; Lu, H.; Crow, W.T.; Zhu, Y.; Wang, J. & Su, J. (2018). **Evaluation of Satellite-Based Precipitation Products from IMERG V04A and V03D, CMORPH and TMPA with Gauged Rainfall in Three Climatologic Zones in China**. Remote Sensing, 10(1): 8-30.

WIECZOREK, G.F. (1987). **Effect of rainfall intensity and duration on debris flows in central Santa Cruz Mountains, California**. Debris Flow/Avalanches: Process, Recognition and Mitigation, J.E. Costa & G.F. Wieczorek (eds.), Geological Society of America, Boulder, USA, pp. 93-104

WIECZOREK, G.F., MORGAN, B.A. & CAMPBELL, R.H. (2000). **Debris-flow hazards in the Blue Ridge of central Virginia**. Environmental and Engineering Geoscience, 6(1): 3-23

WINGE, M. et al. (2001). **Glossário geológico dinâmico ilustrado**. Serviço Geológico Brasileiro - CPRM. Disponível em: <http://sigep.cprm.gov.br/glossario/>. Acesso em: 27/09/2022.

WOLLE, C.M. **Análise dos escorregamentos translacionais numa região da Serra do Mar no contexto de uma classificação de mecanismos de instabilização de encostas**. 394 f São Paulo: Escola Politécnica - USP, Tese de Doutorado. 1988.

XU, R. TIAN, F. YANG, L. HU, H. HUI, L. HOU, H. **Ground validation of GPM IMERG and TRMM 3B42V7 rainfall products over Southern Tibetan Plateau based on a high-density rain gauge network**. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, v. 122, n. 2, p. 910-924, 2017

APÊNDICE A- CÓDIGO COMPLETO PARA A EXTRAÇÃO DO VALOR DO PIXEL EM MM/DIA

```

Imports (1 entry)
1  /*****DISSERTAÇÃO MATHEOS*****/
2  *****/
3  /*****/
4  // DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO
5  var area_estudo = ee.FeatureCollection(pluviometro)
6
7  //Adicionar os layers
8  Map.centerObject(area_estudo,7)
9
10 //IMERG data
11 var GPM = ee.ImageCollection('NASA/GPM_L3/IMERG_V06')
12   .filterDate('2013-01-01', '2020-01-01') // não pega a última data escrita
13   .select(['precipitationCal']) //só inserir outras bandas caso queira
14   .filterBounds(pluviometro)//filtra só as imagens da nossa região
15   .sort('system:time_start')//ordena pela data crescente
16   .map(function(img) { //função para agregar a propriedade dia do ano no formato ano/mês/dia
17     return img.clip(area_estudo).set('Day', img.date().format("YYYY-MM-dd")); // .set('DateH', img.date().format("YYYY-MM-dd HH"))
18   });
19
20 //Remove duplicatas de uma coleção.
21 //Observe que as duplicatas são determinadas usando um hash forte sobre a forma serializada das propriedades selecionadas.
22 var dates = GPM.distinct('Day').aggregate_array('Day');// isso vira uma lista de dados por data
23 var dailyGPM = ee.ImageCollection.fromImages(
24   dates.map(function(d) {
25     var collection2 = GPM.filter(ee.Filter.eq('Day', d))//filtra por tudo que tem a propriedade Day
26     .sum()//acumular dados diários
27     .divide(2);
28     return collection2.set('Day', d);//fecha o dado com a precipitação acumula por dia e
29   }).flatten()); // insere uma data
30
31 Map.addLayer(GPM.select('precipitationCal').mean(
32   ,{min:5,max:8,palette:['ff0202','ffb13d','e8ff2b','8cff66','7cf3ff','47a1ff','2d64ff','0400ff']},'Precipitação')
33
34 //Obter os valores para os pontos no atual img
35 var prec = function(img) {
36
37   var vals = img.reduceRegions({
38     collection: area_estudo,
39     reducer: 'mean', //neste usamos 'so a média porque é só um ponto e o pixel é sempre o mesmo
40     scale: 5000 //escala do satélite
41   });
42
43   return vals.map(function(f){
44     return f.set({
45       "Data": ee.String(img.get('Day'))
46     });
47   });
48 };
49
50 //Itera sobre o ImageCollection
51 var newft = dailyGPM.map(prec).flatten().select(['LABEL','Data','mean'],['LABEL','Data','precipitationCal'])
52 print(newft.limit(10));
53
54 //////////////////////////////////////////////////Export////////////////////////////////////
55
56 Export.table.toDrive({
57   collection: newft,
58   description: "IMERG_PLUVIO",
59   folder: "DISSERTAÇÃO_MATHEOS",
60   fileNamePrefix: "jan2013-jan2020",
61   selectors:['NOME','Data','precipitationCal']
62 });
63

```

APÊNDICE B- TABELA DE REGISTRO DE Ocorrências de Deslizamentos

DATA	SOLICITANTE	ENDEREÇO	COORDENADA S		HORÁRIO
07/04/2019	Nelania Aparecida Fererira	Rua Nereu Ramos, nº 478, Operário	647196.42	7007345.91	08:30
06/03/2019	CBVI				02:00
06/03/2019	Robson Alexandre Kruger	Br 470, km 117, casa nº 436 (passou a ponte, 3ª entrada a direita)	649520.55	7004002.90	02:00
06/03/2019	Klaus Brodwolf	Rua Júlio Lunelli, nº 60	648329.63	7007554.77	02:00
31/05/2019	Obras	Rua Iguaçu, Centro	646923.08	7006882.02	09:30
31/05/2019	Cristian Ferrari	Rua Conrad Koepsel, nº459, Taquaras	648001.62	7006731.10	09:45
31/05/2019	CBVI	Br-470			09:30
31/05/2019	Gervazio Hendel (Emersos Rengel)	Rua Pouso Redondo , nº 76	644339.46	7006095.95	09:45
DATA	SOLICITANTE	ENDEREÇO	COORDENADA S		HORÁRIO
20/02/2018	Rosilene Manent	Rua Santa Cruz, nº 1023, Progresso	644999.31	7008037.86	11:19
20/02/2018	Claudelina Constantino	Rua Rio de Janeiro, nº 326	646589.57	7002885.71	11:00
03/09/2018	Moradores	Rua João Aurich, via de trafego local, Ponto Chic	644702.1592	7005225.947	10:00
03/09/2018	Ivanildo	Rua Mirador, nº 922, Ponto Chic	644691.22	7005235.31	00:00
03/09/2018	André Florencio	Rua Salvador, nº 215	646673.97	7003035.52	00:00
18/09/2018	Josenir de Souza	Rua Enersto Braatz n.170, Bela Vista	645488.95	7007326.98	10:30
DATA	SOLICITANTE	ENDEREÇO	COORDENADA S		HORÁRIO
06/06/2017	Renato Bratz	Rua Blumenau prox ponte pencil	6485021.889	7005858.6444	04:54
06/06/2017	x	Rua XV			00:00
06/06/2017	x	Rua Dr Getúlio Vargas Próx forum	646445.49	7006338.36	23:30
06/06/2017	x	Pereira (prox scursel)	645838.89	7005908.71	23:30
04/06/2017	x	Rio Rafael 10 deslizamentos			00:00
04/06/2017	x	Sellin 5 Deslizamentos			00:00
06/06/2017	Hildo Broca	Rodolfo Koeps n. 1255 Taquaras	6480288.426	7007297.4602	09:09
06/06/2017	Vicente Marafigo	R Blumenau			02:00
06/06/2017	André Grassmann	Rodovia sc 421 KM12 Dalbérgia	6414380.317	7007267.6325	11:20
05/06/2017	Maria de Lurdes	Princesa Isabel (entrada) n.48	6453781.619	7006770.3774	21:00
05/06/2017	Luciana Spliter	Marques do herval - prox selva de pedra	6430611.220	7007080.2888	21:00

05/06/2017	Rosinere	Indio xokleng n.68			21:00
05/06/2017	DNIT	BR 470			06:00
05/06/2017	dnit	BR 470			03:30
05/06/2017	Prefeitura Municipal				23:00
05/06/2017	x	Castelo Branco			03:30
05/06/2017	x	Taquaras			02:45
05/06/2017	x	SC 340 - Nova Stettin			03:00
05/06/2017	Fórum	Rua Dr Getúlio Vargas			03:15
04/06/2017	Prefeitura Municipal				23:15
01/06/2017	Ronaldo Karsten (prefeitura)		6478797 502	7007212 0074	00:15
01/06/2017	Giovanni Boneti	Ernesto Braatz n.52 - Bela Vista	6453694 188	7007386 9726	00:15
01/06/2017	Marcondes Ferreira	Anchietta n.380	6504866 493	7003880 8249	00:15
01/06/2017	Anair Bertoti	Loteamento Luizinho	6465037 422	7002934 3584	02:00
31/05/2017	Silvia e Fernando	Progresso (prox mercado policarpo)			15:02
31/05/2017	Ramon	Rua Princesa Isabel			20:00
31/05/2017	Nilson (vizinho)	Outro lado Casan			13:15
31/05/2017	José Silveira	João Aurich	6443339 565	7005924 6802	13:15
31/05/2017	José Hermann	Arthur Herman - Bela vista	6445459 493	7007622 0566	13:00
31/05/2017	Marcons Ulhman	Próximo ao forum - belavista	6466033 463	7006315 1288	14:00
29/05/2017	Débora Aparecida Guimarães	Adolfo Koebel n,213	644649. 92	7007851 .10	09:20
06/04/2017	Iracema Carvalho	Progresso n.170	644716, 439	7007884 ,183	
18/01/2017	Ivone Siqueira	Rua Blumenau	648781. 39	7005244 .65	19:00
18/01/2017	Prefeitura Municipal	Morro do coxo	650039, 973	7007131 ,982	19:00
DATA	SOLICITANTE	ENDEREÇO	COORDENADA S		HORÁ RIO
29/01/2016	Márcio Kounecke	Rua Professora Nair Ribeiro, nº 205	645846. 73	7005705 .09	
03/03/2016	Silvana Karten		643311, 459	7006964 ,77	08:30
19/06/2016	PDC	Br-470 (km 113-114) diversos			15:45
19/06/2016	Escola Nova Stettin	Nova Stettin	642268, 767	7006385 ,783	15:00
19/08/2016	Maria Salete de Lima	Rua José Boiteux, nº 170	647651, 247	7006006 ,301	19:30
20/08/2016		Rua Blumenau	648880. 31	7004400 .52	01:30
20/08/2016	PDC	Br-470 (km 113-114) diversos			01:00
21/08/2016	x		647298,	7007186	09:40

			687	,149	
21/08/2016	Fábio		647298,687	7007186,149	09:40
21/08/2016	Fórum	Rua Dr. Getúlio Vargas	646573,027	7006403,716	13:30
21/08/2016	Pedro Fausto da Silva	Rua Presidente Jucelino	647369,352	7007570,029	11:30
21/08/2016	Maicon Schlichting	Rua João Wendmann nº 346	646389,965	7005596,429	09:40
21/08/2016	Valdemiro Marchette		643311,459	7006964,77	13:30
30/08/2016	Diomar Pereira	Rua Professor Walter Kietzer, n. 84	645716,363	7008555,807	21:30
30/12/2016	Diversos (7)	Sellin e outros			20:45
DATA	SOLICITANTE	ENDEREÇO	COORDENADAS		HORÁRIO
30/11/2015	Jonas Fossa	Rua rodeio n.25 Dalbérgia	6422858318	70076511617	12:03
22/10/2015	Dulcineia Da Conceição	Rua Salvador - Areado			15:20
22/10/2015	Idalvino das Gonçalves	Heins otto dieling n.355 Ponto Chic	6439310837	70062098931	18:20
22/10/2015	Rosimere Mensor	Indio Choclen n.68	6464849879	70050573821	11:27
22/10/2015	Valdir da Costa	Rua Paulo Muller prox capela Anchieta	6493251741	70042791481	
22/10/2015	Eli Lucia Massman	Rua Adolfo Fiedler n. 354 Centro	6467410071	70047468187	09:15
22/10/2015	Roseli Rengel	João Aurich n. 30	6442821879	70061215171	
22/10/2015	Paula Vansuita	Rua Blumenau n.998 (Prox ponte penci)	6482797641	70061886174	
22/10/2015	Flavio Segundo	Rua João Aurich prox deucher	6443949557	70065250630	
22/10/2015	Aroldo de Souza	Rua Belem n.45 Areado	6468920971	70031453503	
22/10/2015	Mafalta Tambozi	Rua das Palmeiras n.281 Nova Sttetin	642906,08	7006215,391	
22/10/2015	Aquiles dos Santos	João Aurich (frente ao Crislei)	6441147719	70058542761	04:45
22/10/2015	Maria Janete Reblin	João Aurich (frente ao Crislei)	6441168790	70058736247	08:00
22/10/2015	OBRAS	Princesa Isabel (próximo a ponte)	645474,871	7008407,814	05:30
22/10/2015	Marcos Hoppe	Sellin	647342,751	7010223,318	16:02
22/10/2015	Carmelino Idineia	João Aurich 4180 prox E.M	643577,748	7009516,16	04:00
22/10/2015	Lucas	Rua Parana Loteamento Luzinho	6463711967	70029557093	04:00
22/10/2015	Neuza Nogueira	Rua Don Pio Freitas - Centro	6470531407	70058487139	07:00

22/10/2015	Pedro Schnen	Rua Mirador n. 628	6449832 778	7005493 2053	04:15
22/10/2015	Roland Fanslau	Rua Professora Nair Ribeiro n.217	6458216 335	7005711 9921	05:00
22/10/2015	Idalvino Gonzalez	Rua Heins Otto Delling n.355	6439310 837	7006209 8931	14:00
22/10/2015	Cristiano Alves	Rua das Palmeiras n.87 Nova Sttetin	642964, 583	7006993 ,366	05:00
22/10/2015	Simone Maria Ramos	Rua Rodolfo Reineke n.80 Ponto Chic	645770, 03	7005597 ,527	04:30
22/10/2015	Rosangela da Silva	Ao lado Igreja Assembleia no Luizinho	6466811 405	7003030 2725	13:35
22/10/2015	Valdomiro Marquetti	Rua 17 de março n.176	643300, 297	7006952 ,587	04:00
22/10/2015	Posto de Saúde	Sc 340 Nova Stettin	642173. 49	7007573 .61	10:45
22/10/2015	Volnei Garcia	Rua Blumenau n.1331	6486489 238	7005671 0628	04:30
22/10/2015	Emilia Medeiros	Rua Rodeio n. 41 Nova Stettin	6422834 303	7007668 0456	15:35
22/10/2015	Osmar Uhlmann	Rua Indio Xoclung n. 127	646620, 964	7005088 ,975	04:30
22/10/2015	Bombeiros	SC-340 Bairro São Cristóvão			12:00
22/10/2015	OBRAS	Rua Marechal Rondon - Ponto Chic			14:00
22/10/2015	OBRAS	Ribeirao do Cocho - Ponto Chic			09:11
22/10/2015	OBRAS	Rua Salete n. 150 Ponto Chic	644657, 828	7005441 ,191	14:00
16/10/2015	David Wiese	Rua Roberto Reblin n. 51 Ponto Chic	6447299 517	7005292 2661	14:00
16/10/2015	Maria Isolete de Souza	Rua Roberto Reblin n. 66 Ponto Chic			13:15
16/10/2015	Juventino Candido	Rua Salete	6492091 090	7008198 5663	15:00
16/10/2015	Altair de Borba	Rua Nereu Ramos Operário n.1186	6473111 771	7007867 1687	16:00
14/10/2015	OBRAS	BR 470 - caldo de cana			03:00
14/10/2015	Anderson	Rudolf Koepsel n.300			02:00
27/05/2015	Rubens de Souza	Br 470 km 120			14:30
25/05/2015	Neri	Rua Ituporanga			03:00
DATA	SOLICITANTE	ENDEREÇO	COORDENADA S		HORÁRIO
13/01/2014	Altibano Heusser	Rua Presidente Costa e Silva, n.38	6445733 608	7006442 2376	17:30
13/01/2014	Iris Denzer	Rua Pedro Ringenberg, s/n			17:30
08/06/2014	Maicon Ignaezuk	Rua João Aurich, n959	644220, 51	7005984 ,843	19:00
08/06/2014	PDC	Caminho Carrapato, Rafael Baixo	642171, 108	7008458 ,142	19:00
08/06/2014	PDC	Caminho do Meio	641148, 876	7009940 ,826	14:15
08/06/2014	PDC	Caminho do Meio	641398,	7012292	14:15

			702	,373	
08/06/2014	PDC	Caminho do Meio	642266,059	7012445,659	14:15
08/06/2014	PDC	Caminho do Meio	642406,611	7012684,114	14:15
08/06/2014	PDC	Caminho do Meio	644205,441	7012084,927	14:15
08/06/2014	PDC	Rua Santa Cruz	646809,767	7008259,865	13:15
08/06/2014	PDC	Rua Santa Cruz	645884,654	7009043,195	13:15
08/06/2014	PDC	Rua Santa Cruz	645713,148	7008752,816	13:15
08/06/2014	Jorge Mercias	Rua Salvador, n. 450	646396,029	7003060,33	13:00
08/06/2014	Solange dos Santos	Rua Guilher Kis., s/n	648431,062	7006240,196	13:00
08/06/2014	Edina Feliciano	Rua Salvador, n.588	646224,355	7002985,401	13:00
08/06/2014	Ronilda Kertzendorff	Rua Leopoldo Schifter, n.1565	641430,598	7005853,64	13:00
08/06/2014	Asta Werling	Estrada Geral Sellin	647126,341	7009868,854	13:00
10/06/2014	Cecilio Augusto dos Santos	Rua Nereu Ramos, n.1591	647024,667	7008020,356	13:00
27/06/2014	Valdecir Ribeiro dos Santos	Rua Princesa Isabel, s/n			05:00
27/06/2014	Fabricio Ferrari Floriani	Rua Duque de Caxias , n.491	647718,067	7006996,534	22:40
28/06/2014	Prefeitura Municipal	Estrada Geral Caminho do Meio			22:00
28/06/2014	Adriana Waltrich Bemert	Rua Almirante Tamandaré, n. 735	644450,173	7006068,363	23:00
28/06/2014	Rosa Leandro	Rua 25 de Julho, s/n	647736,544	7005996,059	22:45
28/06/2014	Ingomar Braatz	Rua Alfredo Henschel, n.78	646796,346	7007352,102	22:00
28/06/2014	PDC	Rua Santa Cruz	645088,49	7008123,004	23:00
03/09/2014	Idalvino Dias Gonçalves	Rua Heinz Otto Link, s/n	643980,943	7006236,898	
03/09/2014	Mercedes Dallabona	Rua Itupornga, n. 107	646913,554	7005368,684	
DATA	SOLICITANTE	ENDEREÇO	COORDENADAS		HORÁRIO
21/06/2013	Jardel Fernandes	Rua Piratuba n.19, Operário (proximo a casa popuulares)	6468590153	70084163194	17:30
21/06/2013	Edson Carlos	Rua Marcos Grankow	6477467423	70067846153	16:20
26/08/2013	Helena Cassol Tessele	Rua Arthur Schifter n. 98	6476657214	70068556199	17:00
16/10/2013	Carlos Eduardo Alfarth	Rua Blumenau n.2439	648857,07	7004438,34	20:00

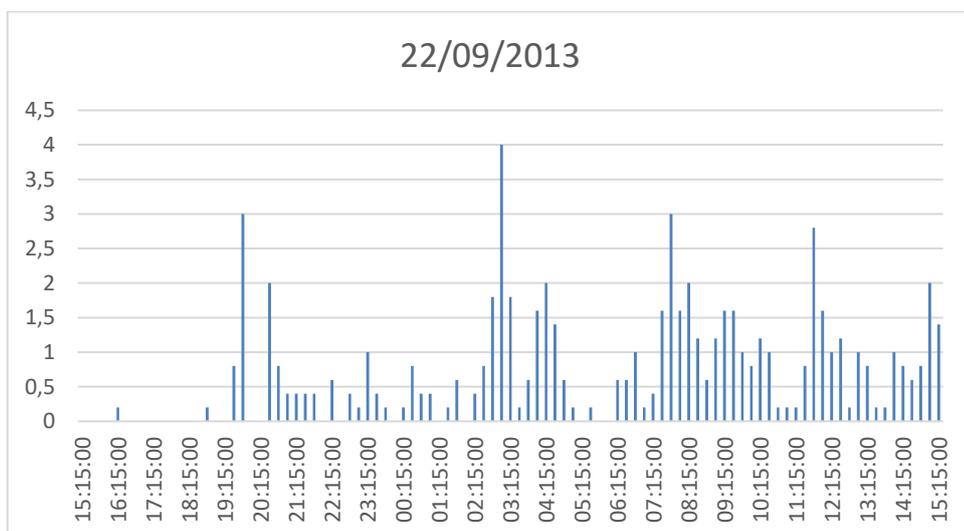
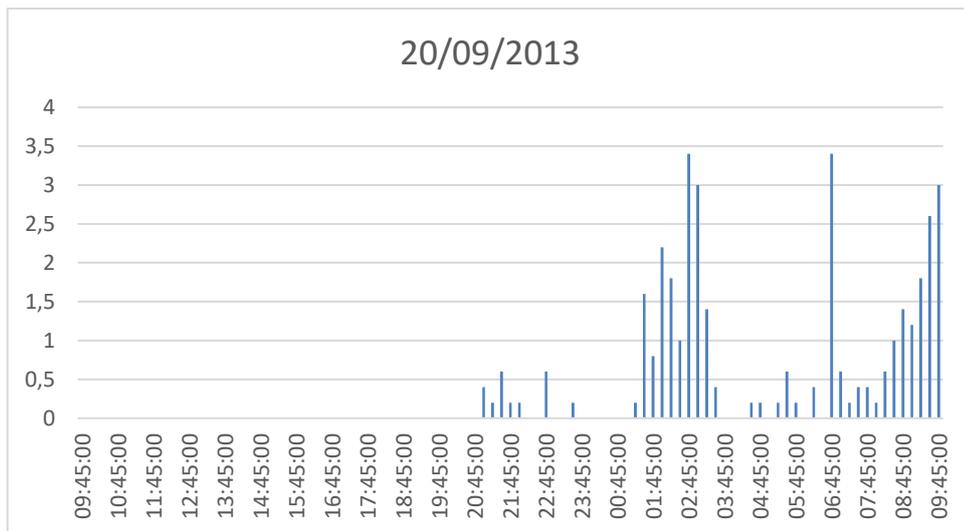
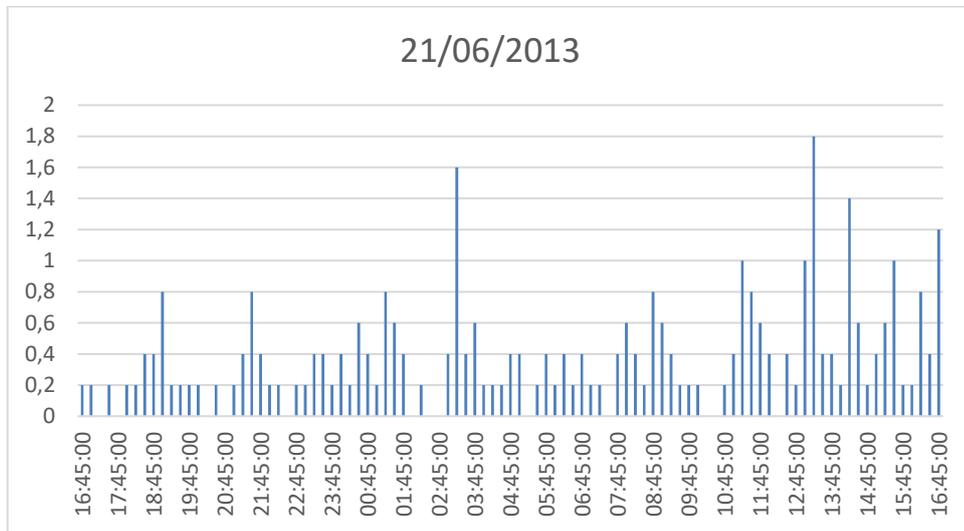
16/10/2013	Jaqueline Conzatti	Rua Blumenau n.2547	648854. 69	7004515 .93	20:00
20/09/2013	x	Rua Blumenau	648819. 42	7004617 .62	09:45
20/09/2013	x	Rua Blumenau	648828. 00	7004603 .00	09:45
20/09/2013	Obras	Vários			10:15
22/09/2013	Obras	Vários			12:30
22/09/2013	Obras	Vários			15:15

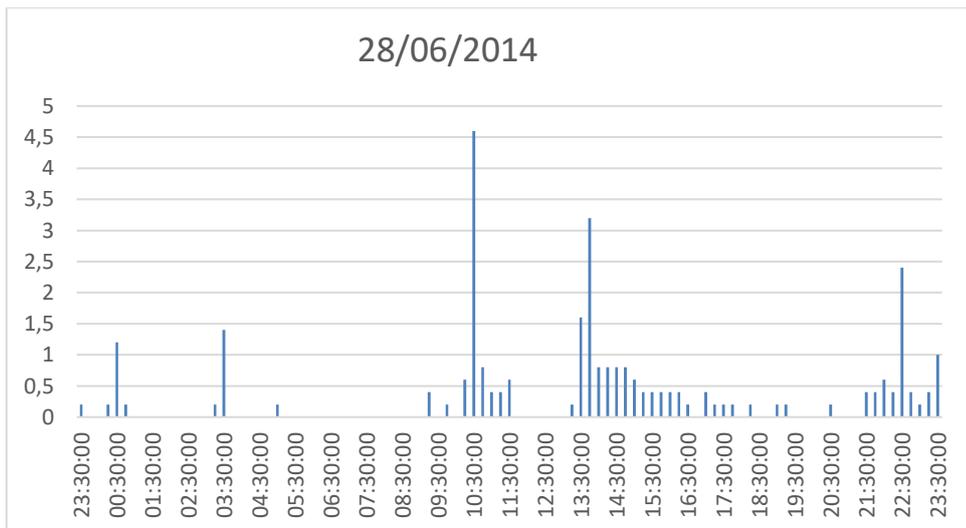
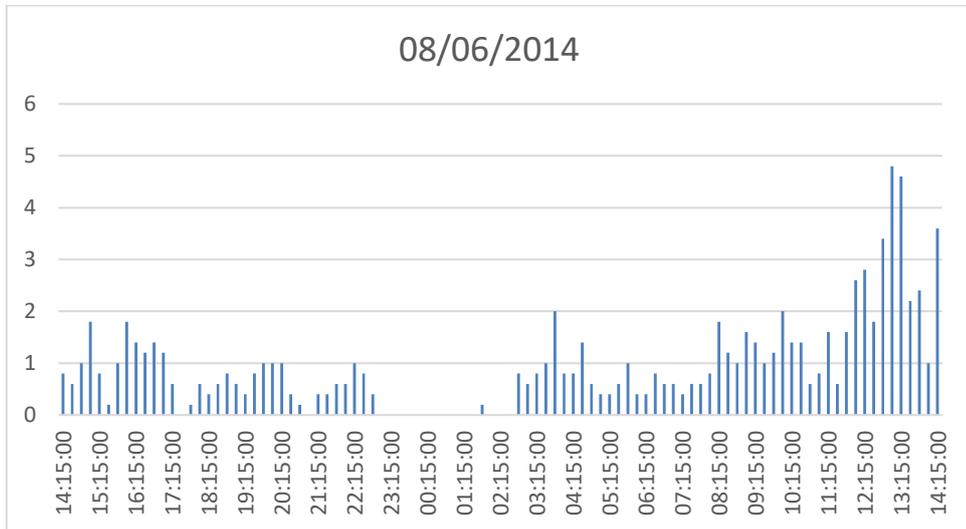
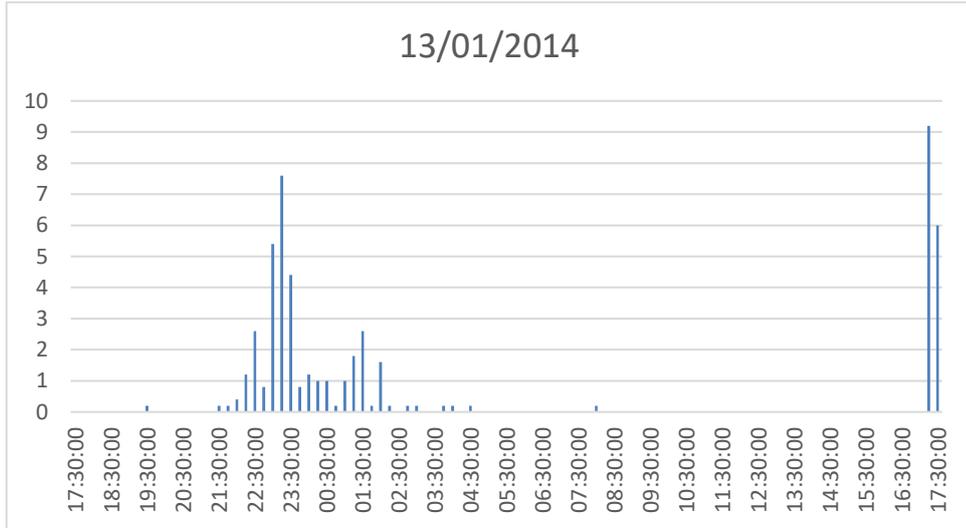
APÊNDICE C- ACUMULADOS DE PRECIPITAÇÃO

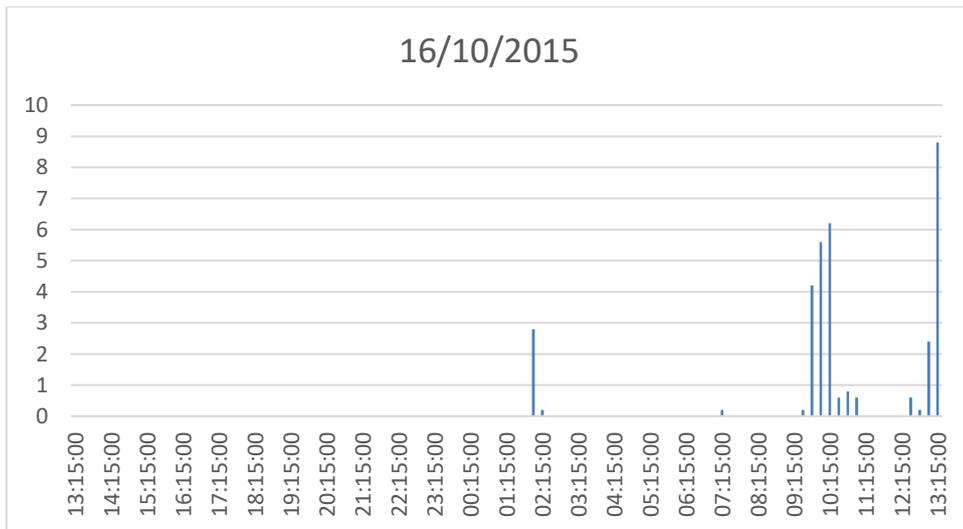
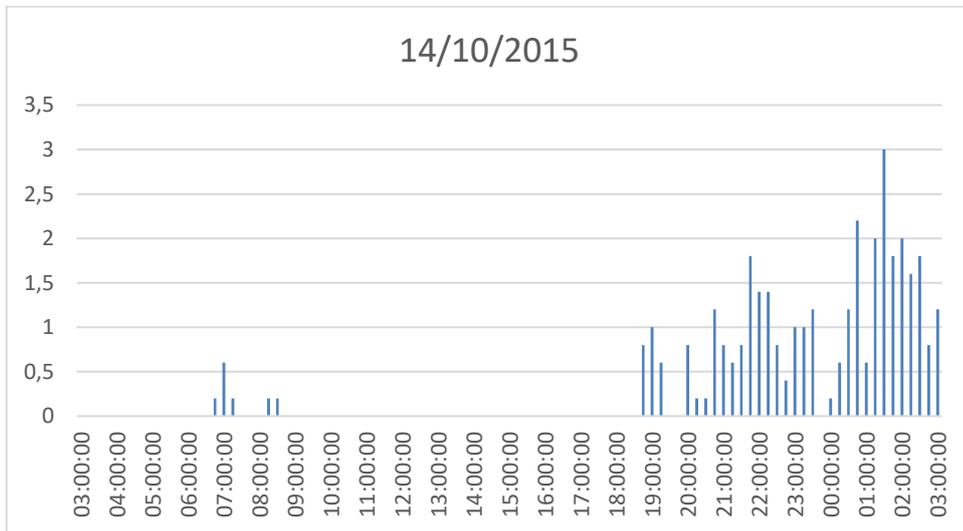
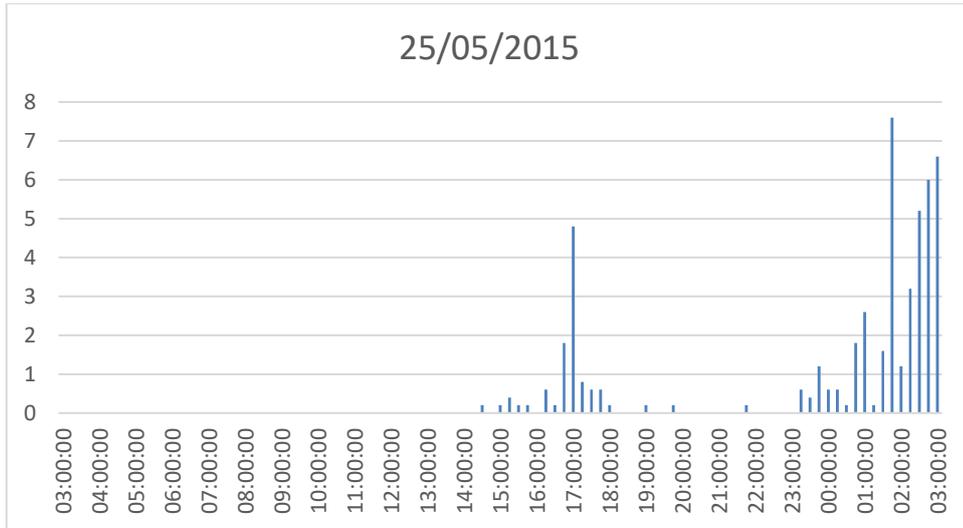
ACUMULADOS DE PRECIPITAÇÃO								
2013	mm/min	01h	03h	06h	24h	48h	72h	96h
	0,4	2,6	6,8	13,6	35,2	50,6	83,4	83,4
	0,2	2,2	6,2	13,8	36,6	52,4	85,2	85,2
	0,4	1,6	3,6	7,4	52,4	52,4	54	54
	2	9,6	15	31,8	39	39	40,4	71,8
	3	10	16,8	18,6	36,8	36,8	46	70,6
	1,2	7,4	13,6	28,6	58,8	80,2	120,4	120,4
	1,4	5,6	11,2	24,2	67,8	89,2	129,4	129,4
2014	6	15,2	15,2	15,2	51	79,4	92,2	92,2
	4,8	15,4	25,4	37,6	84	113	127	127,4
	4,6	17,4	28	41,6	87,4	117,6	131,6	132
	3,6	13,8	33	48,4	91	126,8	140,8	141,2
	3,2	3,6	8	32,2	88,2	165,4	147,2	154,8
	1,2	5,8	17,2	24,4	36,4	50,6	50,8	50,8
	1	4,4	6,4	7,4	30,6	71,2	89,2	98,6
2015	mm/min	01h	03h	06h	24h	48h	72h	96h
	6,6	22,2	37,4	37,8	51	51	51,4	51,8
	2,6	6	6,2	6,4	34,8	35,6	97,8	97,8
	2	9,4	16,8	27,2	31	36	48,6	64
	1,2	7,4	19	30,2	36,4	40,8	52,6	69,4
	8,8	12	20,2	30,4	33,4	34,6	71	73,2
	0,4	2	17,2	35,4	38,6	39,8	76,2	78,4
	2,6	4,4	20,4	35	42,6	43,8	80,2	82,4
	4,2	5,2	28,8	28,8	58,4	59	61	61,4
	7,6	12,8	36,9	36,9	66	66,6	68,6	69
	0	12,4	18,8	36,8	64,6	67	69	69,2
	2	4,4	16,8	41,2	55	71,4	73,4	73,6
	4	8,2	10,6	29,4	61,8	77,8	79,6	79,8
	0,4	4	14,6	27,8	65,6	81,6	83,6	83,8
	1,4	5,4	15,8	21,8	66,4	88,4	90,4	90,6
	1	7	12,2	26,8	63,4	79,2	81,2	81,4
	0,4	5,6	13,6	42,4	56,8	72,6	74,6	74,8
	0,4	13,2	27,8	36,8	66,2	67	69	69,2
2016	1,6	11	28	32,6	44,8	44,8	44,8	48,4
	0,2	3	13	18,6	44	45,2	59,8	59,8
	0,6	3,2	10,6	18,6	45,2	46,4	61	61
	0,8	4,2	11,6	20,8	34,8	84,8	86	100
	0,4	2,8	7,8	16,6	33,2	86,6	86,6	103,6
	0,8	3,4	9,6	17,8	33,2	85,2	86,6	101,6
	20,6	47,2	47,2	48,6	55,8	66,2	98,4	98,4
	5,8	53	53	54,4	61,6	61,8	104,2	104,2
2017	3	7,6	24,4	27,4	40,8	48	49	84

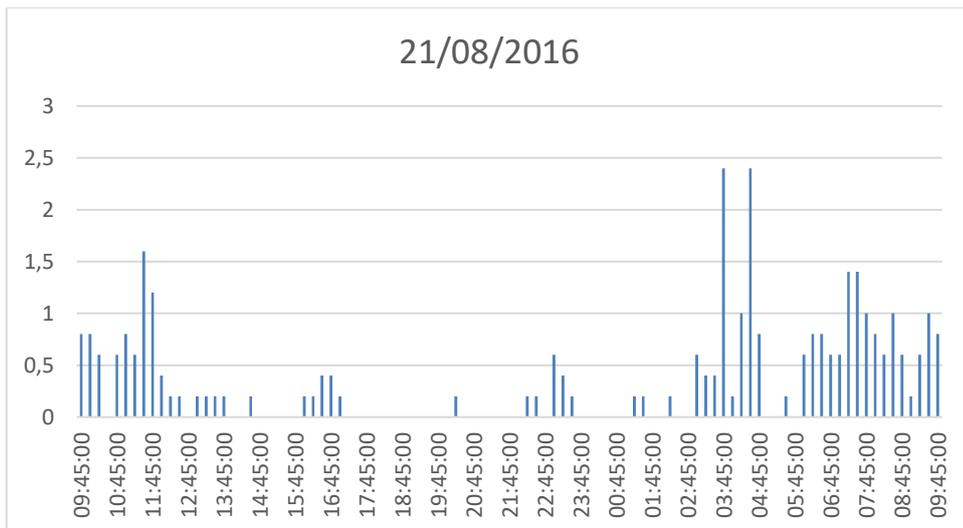
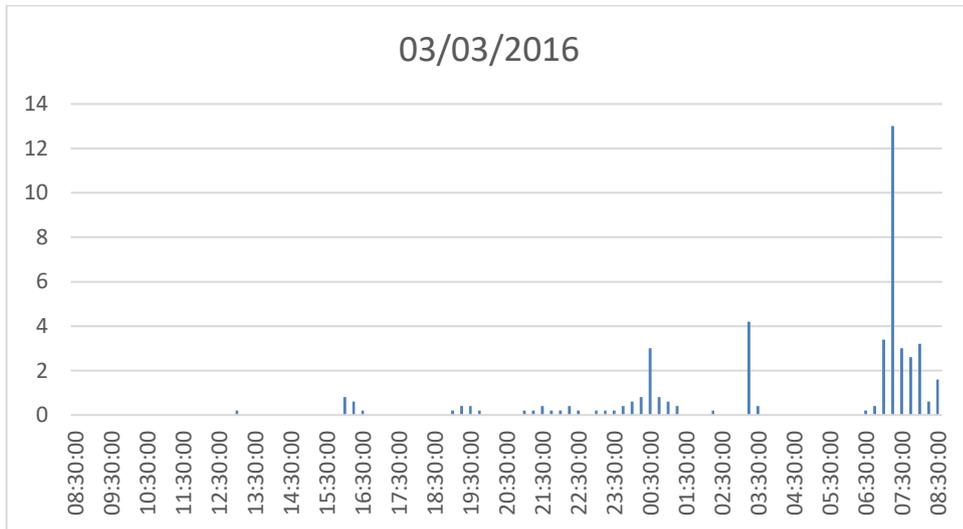
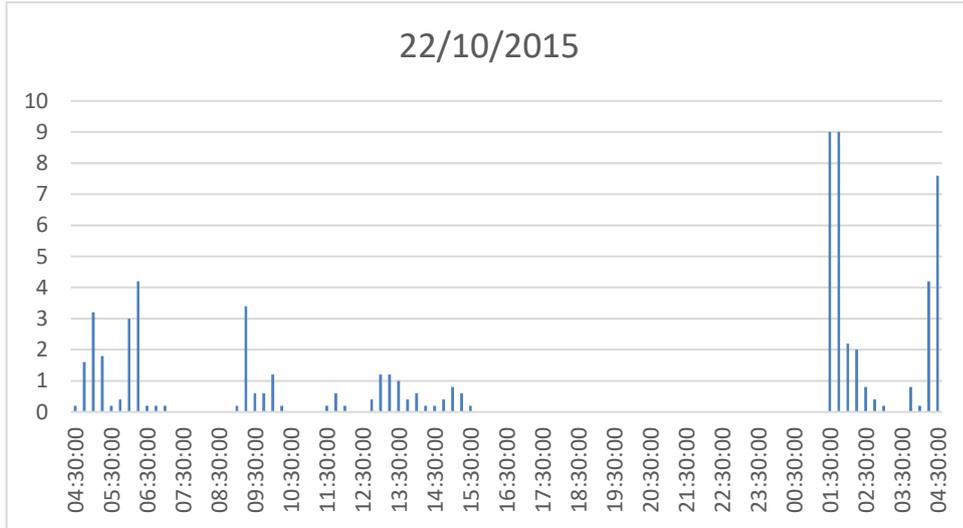
	2,6	8,6	23,2	29,2	43	50,6	51,6	86,4
	3,4	15,2	26,8	37	52	60,2	61,2	96
	1	7,4	25,6	44	58,8	67,4	68,6	103,2
	0,8	4,6	8,8	32,4	65,8	77,2	77,6	112
	3,2	4,2	5,2	11	63,4	82,4	82,6	91,2
	0,4	2,2	7,4	8,6	66,4	86	86,2	93
	1,8	10,2	28,4	28,4	29,8	29,8	29,8	39
	5,6	9,2	9,2	20,8	39,4	39,4	39,4	40
	4,8	14	14,2	39,2	44,2	44,2	44,2	44,8
	5,2	18,8	19,4	40,2	49,4	49,4	49,4	50
	0,8	16,8	20	33,2	50,2	50,2	50,2	50,8
	0	3	18,4	27,8	57,2	57,8	57,8	58,4
	0	0,6	3,6	28,2	57,8	58,4	58,4	59
	9,4	21,6	24,8	25,4	82,4	83,8	83,8	83,8
	0,4	6	22,8	32,4	65	91,4	91,4	91,4
	1	8,2	10,6	11,2	68,2	69,6	69,6	69,6
	4,8	13	15,4	16	73	74,4	74,4	74,4
	9,4	21,6	24,8	25,4	82,4	83,8	83,8	83,8
	1,2	1,4	24,6	28,2	64,6	86,8	86,8	86,8
2019	mm/min	01h	03h	06h	24h	48h	72h	96h
	5,8	51,2	53,8	53,8	53,8	53,8	53,8	53,8
	4	10,8	13,2	17	47,6	72	73,6	94
	3,8	13,2	17	20,2	51,2	75,8	76,8	97,8

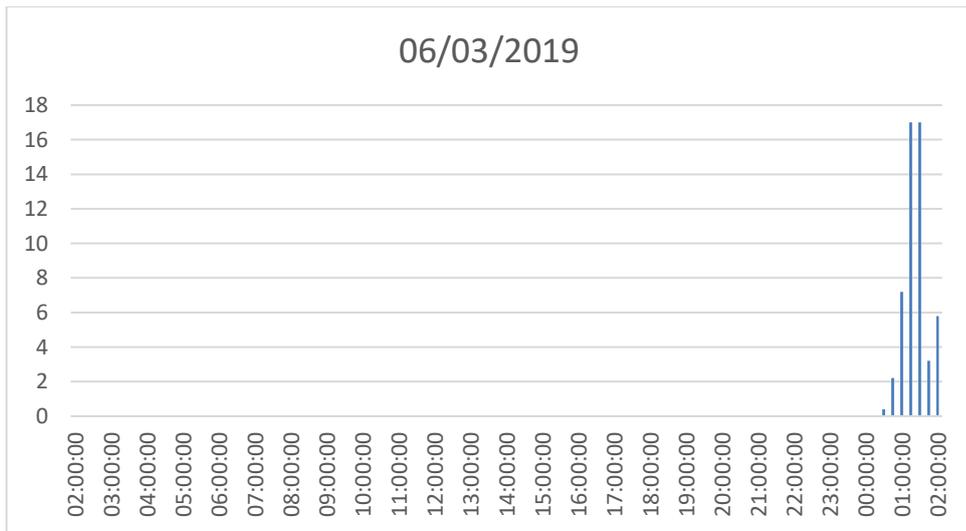
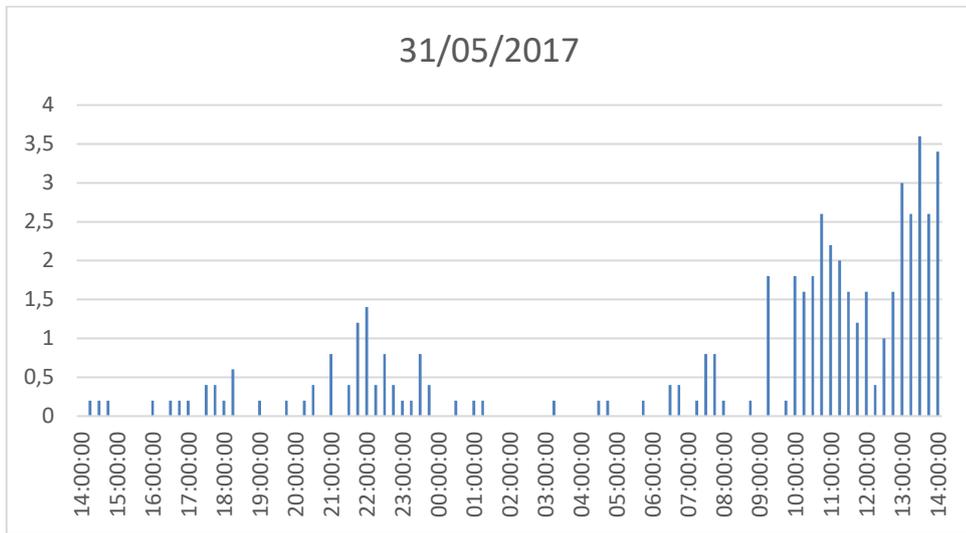
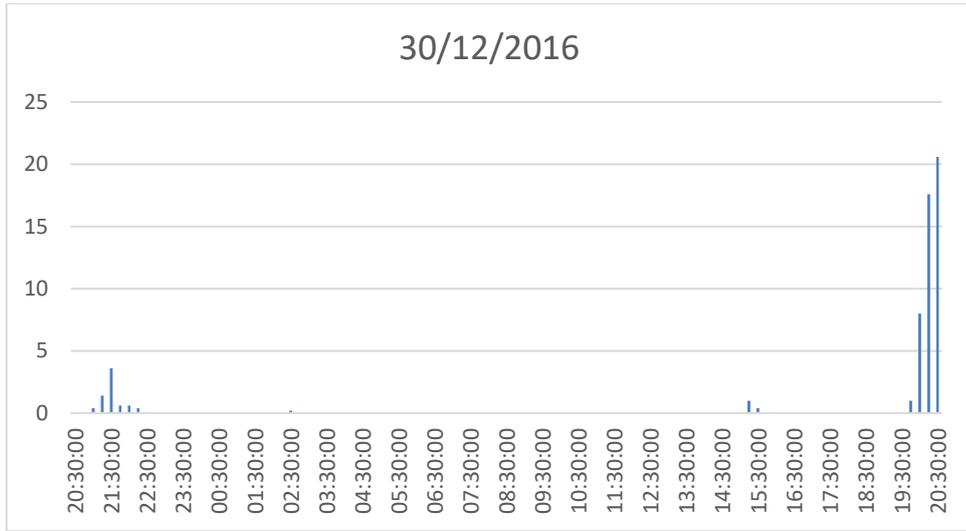
APENDICE D- DISTRIBUIÇÃO DE CHUVAS EM ACUMULADOS DE 24H

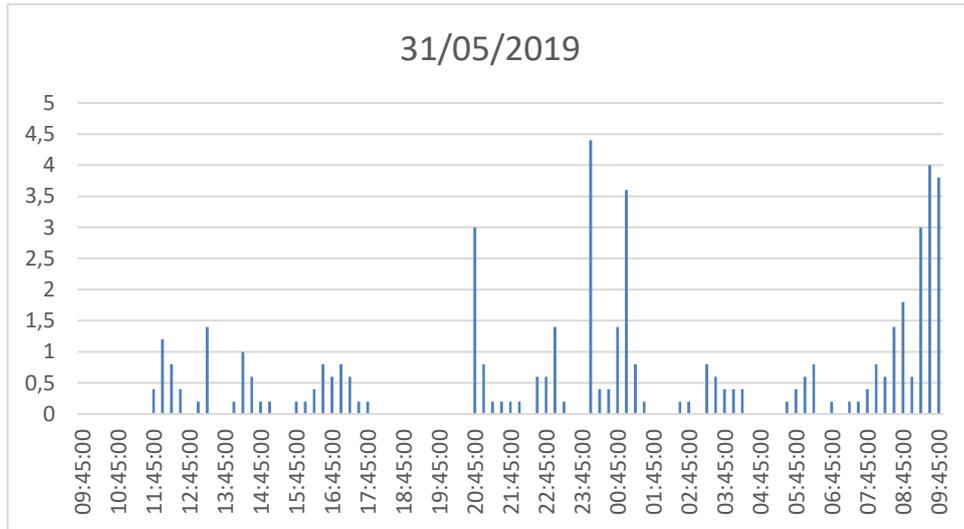




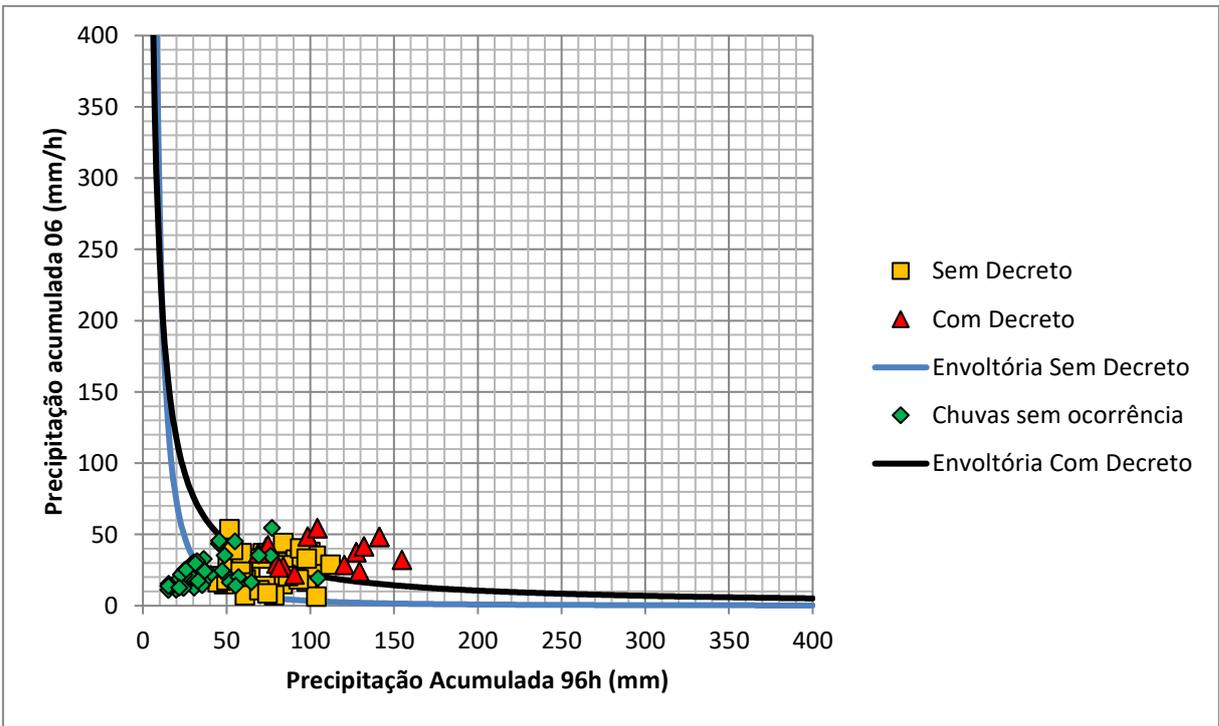
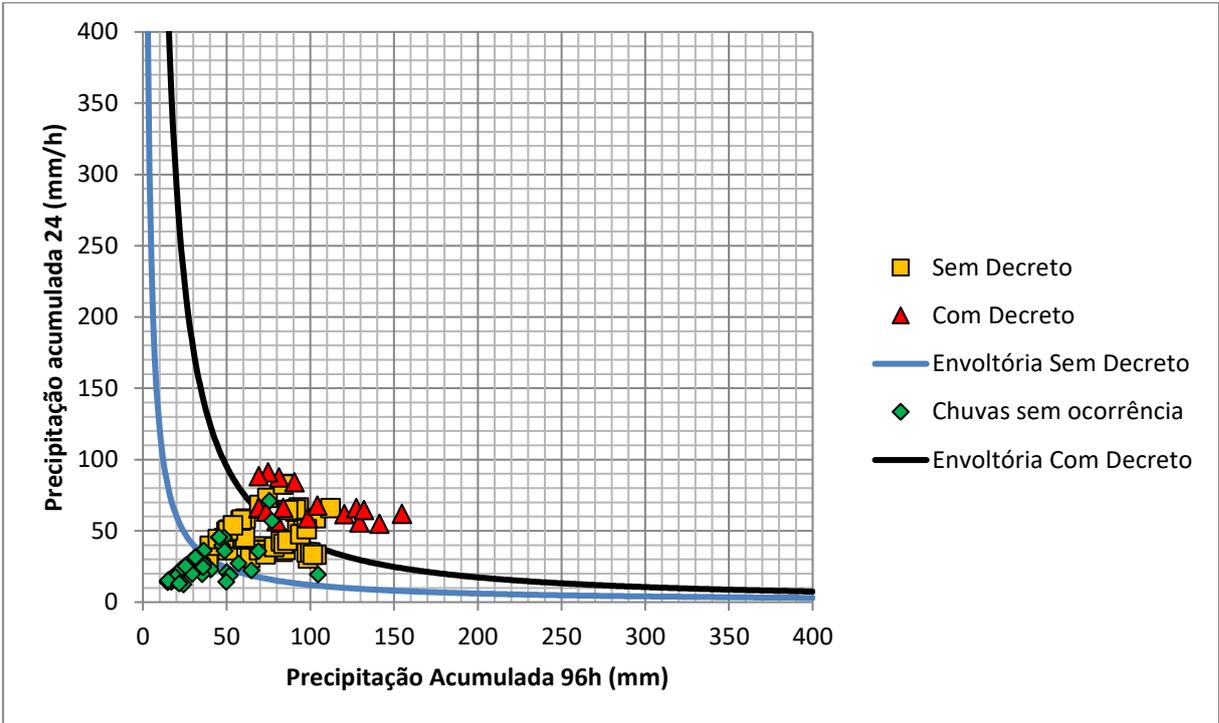


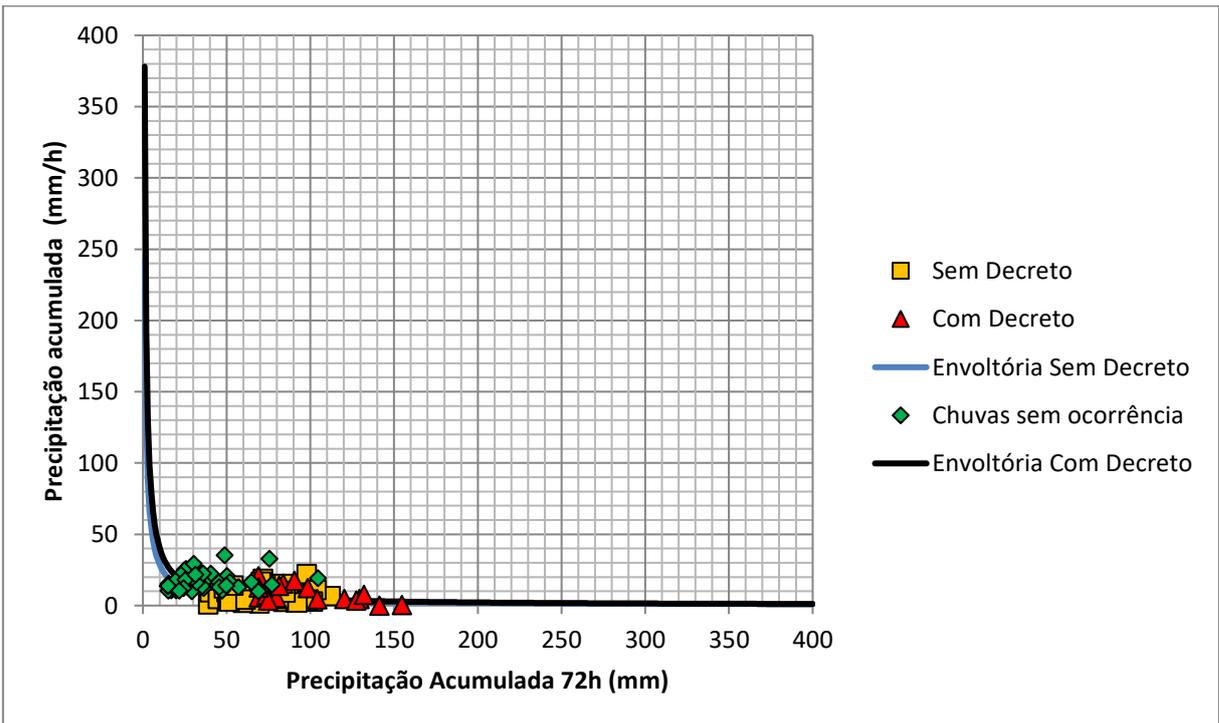
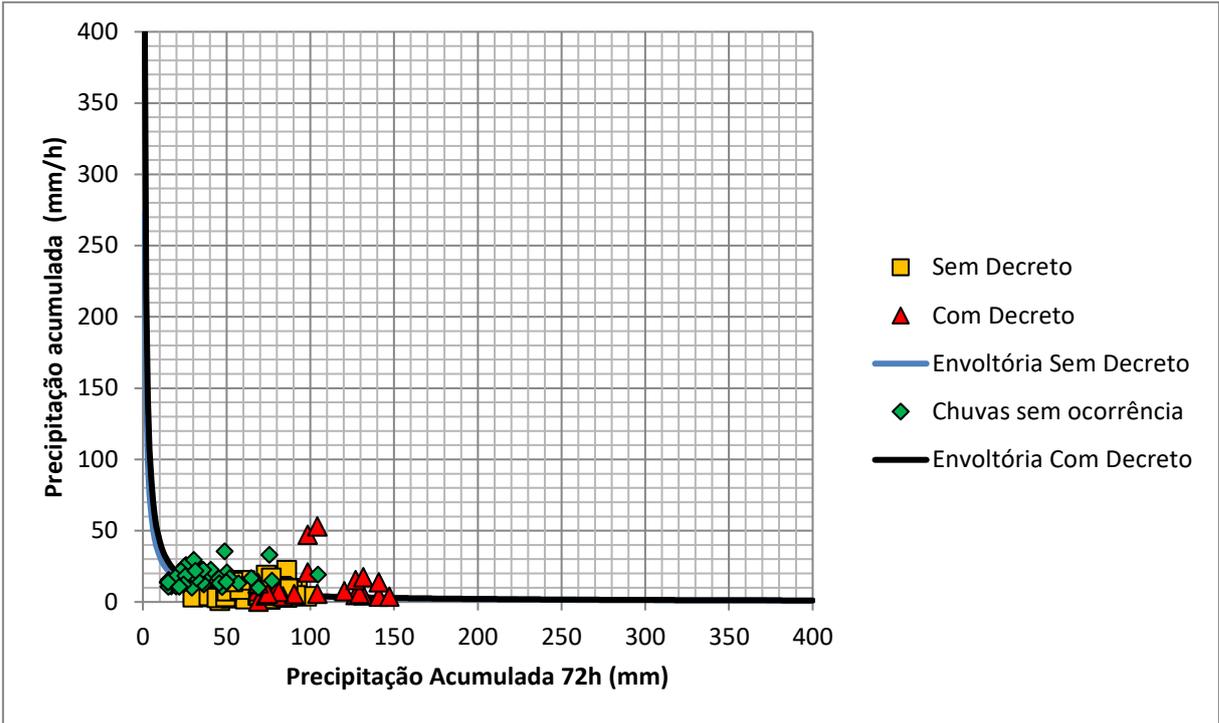






APENDICE E- DEMAIS PARES PLUVIOMÉTRICOS DE CORRELAÇÃO





ANEXO 01- CARTAS SINÓTICAS DOS DIAS DAS OCORRÊNCIAS

