

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA
AMBIENTAL**

Dissertação de Mestrado

FERNANDO CERRI COSTA

**SISTEMA DE ALERTA DE RISCO PARA CHUVAS INTENSAS NA BACIA
DO CÓRREGO GUARARÁ - SANTO ANDRÉ - SP.**

São Bernardo do Campo – SP

2019

FERNANDO CERRI COSTA

Dissertação de Mestrado

**SISTEMA DE ALERTA DE RISCO PARA CHUVAS INTENSAS NA BACIA
DO CÓRREGO GUARARÁ - SANTO ANDRÉ - SP.**

Dissertação apresentada ao Programa de Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal do ABC – UFABC, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental. Área de Concentração: Sistemas Ambientais.

Orientadora: Prof^a Dr^a Kátia Canil.
Co-orientador: Prof. Dr. Fernando Rocha Nogueira

São Bernardo do Campo – SP

2019

Sistemas de Bibliotecas da Universidade Federal do ABC

Elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica
da UFABC com os dados fornecidos pelo autor.

COSTA, Fernando Cerri

Sistema de alerta de risco para chuvas intensas na
bacia do córrego Guarará – Santo André – SP. /
Fernando Cerri Costa. – 2009.
74 fls. : il.

Orientadora: Kátia Canil.

Co-orientador: Fernando Rocha Nogueira

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do
ABC, Programa de Pós-Graduação em Ciência e
Tecnologia Ambiental, Santo André, 2019.

1. sistemas de alerta. 2. gestão de risco. 3.
córrego Guarará. 4. áreas urbanas. 5. DPDCSA. I.
Canil, Kátia. II. Programa de Pós-Graduação em
Ciência e Tecnologia Ambiental, 2019. III. Título.

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, de acordo com as observações levantadas pela banca no dia da defesa, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Bernardo do Campo, 24 de setembro de 2019.

Assinatura do autor: _____



Assinatura do orientador: _____





MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Fundação Universidade Federal do ABC
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental
Avenida dos Estados, 5001 – Bairro Santa Terezinha – Santo André – SP
CEP 09210-580 - Fone: (11) 4996-0017
pgcta@ufabc.edu.br

FOLHA DE ASSINATURAS

Assinaturas dos membros da Banca Examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Fernando Cerri Costa, realizada em 13 de junho de 2019:

Prof.(a) Dr.(a) **Kátia Canil** (Universidade Federal do ABC) – Presidente

Prof.(a) Dr.(a) **Vitor Vieira Vasconcelos** (Universidade Federal do ABC) – Membro Titular

Prof.(a) Dr.(a) **Ricardo de Sousa Moretti** (Universidade Federal do Rio Grande do Norte) – Membro Titular

Prof.(a) Dr.(a) **Luciana Rodrigues Fagnoni Costa Travassos** (Universidade Federal do ABC) – Membro Suplente

Prof.(a) Dr.(a) **Andréa de Oliveira Cardoso** (Universidade Federal do ABC) – Membro Suplente

Prof.(a) Dr.(a) **Maria Cleoffé Valverde Brambila** (Universidade Federal do ABC) – Membro Suplente



AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Helena e meu pai, José de Anchieta, por todo o apoio à minha educação.

Ao meu irmão Marcelo, companheiro de vida.

À minha orientadora Professora Doutora Kátia Canil, pela paciência e orientação durante todo o processo de elaboração dessa dissertação.

Ao Departamento de Proteção e Defesa Civil de Santo André – DPDCSA, pelo fornecimento de dados e apoio na realização de minha pesquisa.

À toda a comunidade da Universidade Federal do ABC, professores, técnicos administrativos, servidores e alunos.

Ao Laboratório de Gestão de Riscos da UFABC - LabGRis e todos os companheiros presentes desde a minha graduação.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental e todo o corpo docente, pela oportunidade de aprendizado.

Aos professores Ricardo de Sousa Moretti e Vitor Vieira Vasconcelos, pelo direcionamento e contribuições para a realização deste trabalho.

Aos familiares e amigos, pelo incentivo e apoio nos momentos mais difíceis.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

Sistemas de alerta são importantes instrumentos para a mitigação do risco, evitando perdas de vidas e prejuízos econômicos. O estabelecimento de critérios para emissão de alerta para deslizamentos ou inundações, principalmente em áreas urbanas, é um ponto crucial de um sistema de alerta. A bacia do córrego Guarará, Santo André - SP, altamente urbanizada, sofre com casos recorrentes de inundações e deslizamentos. Esta pesquisa buscou identificar elementos essenciais para a implantação de um sistema de alerta para a bacia do córrego Guarará. Foram feitas análises de precipitação e ocorrência, que identificaram os eventos extremos de precipitação e as áreas com maior densidade de inundações e deslizamentos. Realizou-se o cálculo de pontuações de probabilidade de detecção, de falsa detecção e alarme falso utilizando a relação precipitação-ocorrência e diferentes cenários. A partir dessas análises são sugeridos dois critérios de precipitação para a deflagração de deslizamentos ou inundações. Também foram apontadas ferramentas existentes, como o Plano “Operação Chuva de Verão” e mapas de suscetibilidade, aptidão à urbanização e risco, que podem ser utilizadas no sistema de alerta para área de estudo. O modelo proposto pode servir como guia para a elaboração e implantação de sistemas de alerta para áreas urbanizadas.

Palavras-chave: sistemas de alerta; gestão de risco; córrego Guarará; áreas urbanas; DPDCSA.

ABSTRACT

Early warning systems are important instruments for risk mitigation, avoiding loss of human life and economic resources. A crucial point of early warning systems is the establishment of thresholds that indicate the occurrence of landslides or floods, especially in urban areas. The Guarará river basin, Santo André - SP, is highly urbanized and presents recurrent cases of floods and landslides. This dissertation identified essential elements for the implementation of an early warning system in the Guarará watershed. Analysis of precipitation and occurrences were made, that identified the precipitation extreme events and the areas with greater density of floods and landslides. The calculation of skill scores of probability of detection, false detection and false alarm was performed using the precipitation-occurrence relation and different scenarios. From these analyzes two precipitation criteria are suggested for the outbreak of landslides or floods. Existing tools, such as the "Operation Summer Rain" Plan and susceptibility, aptitude to urbanization and risk maps that could be used on an alert system for the study area were pointed out. The proposed model can be helpful for elaboration e implantation of early warning systems in urban areas.

Keywords: Early warning systems; risk management; Guararáriver; urban areas; DPDCSA.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Procedimento para proposição de sistema de alerta para bacia do córrego Guarará.	22
Figura 2 - Quadro esquemático de acertos e erros.	26
Figura 3 - Representação dos processos de inundação e enchente.	38
Figura 4 - Esquema de gestão e design de um sistema de alerta.	68
Figura 5 - Arquitetura simplificada de um sistema de alerta para inundações e deslizamentos	69
Figura 6 - Bacia do córrego Guarará.	73
Figura 7 - Unidades Geológico-Geomorfológicas.	75
Figura 8 - Uso do solo na bacia do córrego Guarará.	77
Figura 9 - Zoneamento Municipal do Plano Diretor.	79
Figura 10 - Diferentes usos na Bacia do Guarará.	81
Figura 11 - Vulnerabilidade física a enchentes (A) e adaptação (B).	82
Figura 12 - Localização dos Piscinões na Bacia do Guarará.	83
Figura 13 - Setorização de Risco - CPRM.	87
Figura 14 - Suscetibilidade às inundações e movimentos de massa - IPT.	88
Figura 15 - Aptidão à Urbanização da bacia do córrego Guarará.	89
Figura 16 - Organograma da estrutura do POCV.	91
Figura 17 - Rede de pluviômetros na área de estudo e vizinhança.	92
Figura 18 - Mensagem enviada pelo serviço de alerta do DPDCSA.	94
Figura 19 - Aplicativo AlertaABC.	95
Figura 20 - Ocorrências de deslizamentos.	106
Figura 21 - Ocorrências de inundações.	107
Figura 22 - Mapa da divisão para análise do tempo de concentração.	121
Figura 23 - Modelo de sistema de alerta para a bacia do córrego Guarará.	123

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Média de precipitação da região urbana de Santo André.....	84
Gráfico 2 - Média de precipitação para os postos Vila Vitória (2010-2018) e Utinga (1965-1993).	97
Gráfico 3 - Distribuição de ocorrências ao longo dos meses (2001-2018).	103
Gráfico 4 - Dias com ocorrência por mês (2001-2018).....	104
Gráfico 5 - Total de ocorrências por mês de 2011 a 2018	109
Gráfico 6 - Classificação das ocorrências de inundações e deslizamentos por precipitação diária.	109
Gráfico 7 - Dispersão de ocorrências de deslizamentos.	116
Gráfico 8 - Dispersão de ocorrências de inundação.....	119

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Índices de eventos extremos por ano - Vila Vitória.	98
Tabela 2 - Índices de eventos extremos por mês - Vila Vitória (nov/2010 - out/2018).	99
Tabela 3 - Precipitação total por estação (período 2010-2018).....	99
Tabela 4 - Índices de intensidade e acumulado de precipitação por ano – Vila Vitória	100
Tabela 5 - Índices de intensidade e acumulado de precipitação por mês – Vila Vitória.	101
Tabela 6 - Ocorrências de deslizamentos e inundações por ano.....	102
Tabela 7 - Dias com Ocorrências	104
Tabela 8 - Distribuição de dias com ocorrências por mês.	105
Tabela 9 - Distribuição de dias e ocorrências de deslizamento conforme precipitação diária.	110
Tabela 10 - Distribuição de dias e ocorrências de inundações conforme precipitação diária.	111
Tabela 11 - Dados de deslizamentos e chuva - 1º cenário	112
Tabela 12 - Pontuações para critérios de deslizamento - 1º cenário	112
Tabela 13 - Dados de inundações e chuva - 1º cenário.....	112
Tabela 14 - Pontuações para critérios de inundações - 1º cenário.	112
Tabela 15 - Dados de deslizamentos e chuva - 2º cenário.	114
Tabela 16 - Pontuações para critérios de deslizamento - 2º cenário.	114
Tabela 17 - Dados de inundações e chuva - 2º cenário	115
Tabela 18 - Pontuações para critérios de inundações - 2º cenário	115
Tabela 19 - Dados utilizados para dois critérios de deslizamento - 2º cenário..	117
Tabela 20 - Pontuações para dois critérios de deslizamento - 2º cenário.....	117
Tabela 21 - Dados de inundações e chuva - 3º cenário.....	118
Tabela 22 - Pontuações para critérios de inundações - 3º cenário.....	118
Tabela 23 - Dados das áreas de análise do tempo de concentração.....	120
Tabela 24 - Tempos de concentração para a bacia do córrego Guarará e suas seções.	122

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Parâmetros morfométricos propostos para a análise.....	23
Quadro 2 - Índices de precipitação extrema e definições.....	24
Quadro 3 - Índices de intensidade e acumulado de precipitação.....	24
Quadro 4 - Critérios para os índices de precipitação	26
Quadro 5 - Pontuações de eficiência.	27
Quadro 6 - Métodos de cálculo do tempo de concentração.....	29
Quadro 7 - Aspectos da Vulnerabilidade Global.....	34
Quadro 8 - Tipos movimentos de massa.....	39
Quadro 9 - Elementos e Atores chaves para um sistema de alerta.	49
Quadro 10 - Níveis de alerta e parâmetros monitorados.....	61
Quadro 11 - Organização do Plano Preventivo de Defesa Civil.	64
Quadro 12 - Dados do canal principal da bacia do Córrego Guarará.....	74
Quadro 13 - Parâmetros morfométricos da bacia do córrego Guarará.	76
Quadro 14 - Elementos e atores do sistema de alerta na bacia do córrego Guarará.....	124
Quadro 15 - Níveis de alerta e critérios para o sistema de alerta na bacia do córrego Guarará.....	127
Quadro 16 - Guia de composição para mensagens de alerta	129

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
CEPED - Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres
CGAU-SA- Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização de Santo André
CGE - Centro de Gerenciamento de Emergências
CI-ABC - Consórcio Intermunicipal do ABC
CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil
CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica
DPDCSA - Departamento de Proteção e Defesa Civil de Santo André
EM-DAT- *International Emergency Events Database*
GEE - Gases de Efeito Estufa
GPS - Sistema de Posicionamento Global
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICSU-LAC - Conselho Internacional para a Ciência - América Latina e Caribe
ICU - Ilha de Calor Urbano
IDNDR - Década Internacional para Redução de Risco de Desastre
IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas
MPA - Média de Precipitação Anual
MRM - Mapa de Riscos Múltiplos
NUPDEC - Núcleo de Proteção e Defesa Civil
ONU - Organização das Nações Unidas
PMRR - Plano Municipal de Redução de Riscos
PNPDEC - Plano Nacional de Proteção e Defesa Civil
POCV - Plano “Operação Chuvas de Verão”
PPDC - Plano Preventivo de Defesa Civil
RMSP - Região Metropolitana de São Paulo
SEMASA - Serviço Municipal de Saneamento Ambiental de Santo André
SIG - Sistemas de Informação Geográfica
UFABC - Universidade Federal do ABC
UNDRO - *United Nations Disaster Relief Office*
UNISDR - Escritório das Nações Unidas para Redução de Riscos de Desastres
WMO - Organização Meteorológica Mundial
ZCAS - Zona de Convergência do Atlântico Sul

SUMÁRIO

1. Introdução e justificativa.....	15
1.1 Objetivos.....	20
2. Métodos e procedimentos de pesquisa.....	21
2.1 Procedimentos metodológicos para o estudo da bacia do córrego Guarará.....	21
3. Revisão bibliográfica.....	31
3.1 Risco, ameaça, vulnerabilidade e desastres.....	31
3.1.1 Desastres.....	36
3.2 O processo de urbanização e a gestão de risco no Brasil.....	39
3.2.1 Enfrentando o risco.....	41
3.3 Mudanças climáticas, eventos extremos e monitoramento climático.....	44
3.3.1 Monitoramento e previsão do clima e do tempo.....	46
3.4 Sistemas de alerta.....	48
3.4.1 Conhecimento de risco.....	49
3.4.2 Monitoramento e previsão de ameaças.....	50
3.4.3 Níveis de alerta e tomada de decisão.....	60
3.4.4 Preparo e resposta.....	62
3.4.5 Disseminação e comunicação.....	65
3.4.6 Arquitetura de um Sistema de Alerta.....	67
4. Bacia do córrego Guarará.....	73
4.1 Meio físico.....	74
4.2 Aspectos da urbanização.....	76
4.3 Clima.....	84
4.4 Instrumentos existentes de um sistema de alerta.....	85
4.4.1 Ferramentas de identificação dos processos: mapas de suscetibilidade e risco na bacia do córrego Guarará.....	86
4.4.2 Programa Operação Chuvas de Verão.....	90
5. Resultados.....	97
5.1 Análise da precipitação e eventos extremos entre 2010 a 2018.....	97
5.2 Análise de Ocorrências de deslizamento e inundação entre 2001 e 2018.....	102
5.3 Relação entre precipitação e ocorrência.....	108
5.3.1 Identificação de critérios de precipitação para ocorrências de deslizamentos e inundações.....	111
5.4 Tempo de concentração na bacia do córrego Guarará.....	119
5.5 Modelo de sistema de alerta para bacia do córrego Guarará.....	123
5.5.1 Conhecimento de risco.....	124

5.5.2 Monitoramento e previsão	126
5.5.3 Disseminação e comunicação	128
5.5.4 Preparo e resposta	129
5.5.5 Avaliação do Sistema	130
6. Discussão.....	131
7. Considerações Finais.....	135
Referências bibliográficas	137

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Durante a primeira década do século XXI, a população urbana do mundo tornou-se maioria, uma vez que mais da metade da humanidade passou a viver em áreas urbanas (cerca de 54%, registrado em 2015) (ONU, 2017). No Brasil, o crescimento das áreas urbanas iniciou nos anos 1960-70, quando houve também um aumento demográfico, sendo que a população brasileira passou de 17 milhões em 1900 para 170 milhões no ano 2000 (VALLE SILVA; BARBOSA, 2006).

A urbanização pode ser considerada como um dos mais importantes processos da nossa civilização, influenciando no planejamento, desenvolvimento e gestão da sociedade (NOGUEIRA, 2002). Lavell (1996) descreve o processo de urbanização como a modificação ou transformação da natureza em que a terra, ar, água, fauna e flora servem de suporte, resultando num “novo” meio ambiente urbano, produto da combinação da sociedade com o meio natural.

O processo de urbanização no Brasil ocorreu, na maioria das vezes, de forma desordenada e sem controle e planejamento (VILLAÇA, 1997). O crescimento desordenado gera uma pressão demográfica e ambiental que levam a uma dinâmica de expansão urbana que, por sua vez, ocupa áreas impróprias à urbanização, caracterizadas por sua fragilidade ambiental, como áreas de mananciais, margens de córregos, encostas, áreas próximas a lixões, entre outras (MENDONÇA; LEITÃO, 2008; TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009; JACOBI, 2006). A ocupação desses espaços ambientalmente sensíveis muitas vezes leva à formação de áreas de risco¹, seja pela suscetibilidade do terreno à ocorrência de processos naturais ou pela sua indução pelas intervenções antrópicas (ocupação de várzeas e morros de forma inadequada). Com o aumento da concentração populacional e principalmente pela ocupação sem o devido cuidado de áreas ambientalmente frágeis, as cidades se tornam um dos espaços mais vulneráveis às ameaças naturais (HOGAN; MARANDOLA JUNIOR, 2012; MENDONÇA; LEITÃO, 2008).

O modo de vida das cidades coloca-se como um dos principais desafios do século XXI: tornar sustentável o uso e ocupação de seu território (HOGAN;

¹Áreas de risco: Locais em que há a possibilidade de ocorrência de algum fenômeno físico ou acidente tecnológico que possa resultar em danos e perdas para a população, inclusive de vidas (TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009).

MARANDOLA JUNIOR, 2012). Um dos aspectos da sustentabilidade de áreas urbanas é a convivência com o risco. O ideal na gestão de risco é a prevenção, evitar que qualquer dano ocorra, seja por meio de intervenções estruturais ou remoções, mas nem sempre isso é possível (MARCHIORI-FARIA; SANTORO, 2009).

Devido à impermeabilização do solo, deficiência e/ou bloqueio das galerias de águas pluviais e retificação e assoreamento dos córregos, reflexo do processo de urbanização, há uma intensificação dos fenômenos de inundações em áreas urbanas (AMARAL; RIBEIRO, 2009). A maior frequência de eventos extremos de precipitação, um indicador de mudanças climáticas, também reflete no aumento do risco (SENEVIRATNE *et al.*, 2012). Esses fatores somados, processo de urbanização e aumento de eventos extremos, resultam num incremento do risco de inundações (HAPUARACHCHI; WANG; PAGANO, 2011). De forma semelhante, a ocupação em encostas, em que muitas vezes há alterações na sua geometria sem o devido cuidado, pode gerar áreas de risco de deslizamentos (MENDES *et al.*, 2018; GUIDICINI; IWASA, 1976).

Os principais agentes deflagradores de deslizamentos e inundações são chuvas intensas, que podem até resultar na ocorrência desses eventos concomitantemente (CALVELLO *et al.*, 2015; CASTELLANOS ABELLA; VAN WESTEN, 2007). No caso dos deslizamentos as chuvas de longa duração com picos de alta intensidade são as com maior influência na ocorrência desses fenômenos (TATIZANA *et al.*, 1987a). As inundações podem ser ocasionadas tanto por chuvas de longa duração e baixa intensidade quanto de pequena duração e alta intensidade (KOBIYAMA *et al.*, 2006).

Eventos climáticos extremos² podem ser os deflagradores de desastres³. O quinto relatório do IPCC⁴ (2013) aponta que os eventos de clima extremo estão aumentando, em parte, devido às mudanças climáticas. No Brasil, embora não

² Um Evento Climático Extremo ocorre quando uma variável do clima se comporta de maneira próxima a seus limiares históricos, como uma chuva muito intensa (SENEVIRATNE *et al.*, 2012).

³ Desastre: Evento ou fenômeno, natural ou induzido, que causa interrupção do funcionamento de uma comunidade devido a perdas humanas, materiais, econômicas ou ambientais, que excedem a capacidade local de lidar com o problema com seus recursos próprios (UNISDR, 2009).

⁴ *Intergovernmental Panel on Climatic Change* – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas.

exista a ocorrência frequente de fenômenos extremos como tornados e furacões, eventos de seca e chuvas intensas são periodicamente recorrentes. Mudanças climáticas, exploração inadequada dos recursos naturais e uso do solo de forma inapropriada alteram a dinâmica do ambiente, o que em conjunto com uma população vulnerável (características e circunstâncias que aumentam a possibilidade de perdas frente a eventos adversos) e normalmente despreparada para lidar com situações de risco, como inundações ou deslizamentos, pode resultar em desastres (ACOSTA-COLL et al., 2018). No Brasil o número de desastres está em crescimento desde a década de 1960, devido em grande parte ao processo de urbanização que ocorreu após essa década (TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009).

O desastre de Angra dos Reis em 2010, em que deslizamentos causados por chuvas torrenciais resultaram na morte de mais de 50 pessoas, e as inundações e deslizamentos em Santa Catarina, em 2008, inundações em Alagoas e Pernambuco, em 2010, e deslizamentos na região serrana do Rio de Janeiro, em 2011, causaram uma comoção na população e opinião pública. Como resposta do governo, a lei federal nº 12.608 de 2012, que estabelece a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), foi criada, principalmente com o intuito de diminuir a ocorrência de desastres (KILL, 2016). A prevenção dos riscos tem como foco evitar o estabelecimento e criação de novas áreas de risco, com base na gestão ambiental, planejamento urbano e de uso do solo, e métodos construtivos seguros (UNISDR, 2004), e é incluída na lei federal em questão a partir do estabelecimento de alguns instrumentos como as cartas de suscetibilidade e cartas geotécnicas de aptidão à urbanização (BRASIL, 2012). Além de estabelecer instrumentos para uma gestão de risco preventiva, a lei federal nº 12.608 de 2012, também inclui medidas para a mitigação dos riscos, que visam reduzir riscos já existentes, e uma delas é a criação de uma rede de monitoramento meteorológico, com o objetivo de alertar antecipadamente a ocorrência de eventos climáticos intensos (BRASIL, 2012).

Um sistema de alerta é uma medida de mitigação de risco, que permite que pessoas tomem precauções e ações quando há a iminência de um evento que possa causar perdas (CALVELLO et al., 2015; SABER; YILMAZ, 2018). Esses sistemas têm como objetivo minimizar as perdas e proteger vidas, sendo importante para as ações de preparo e resposta a desastres (ACOSTA-COLL et al. 2018). Com

o conhecimento das áreas de risco e levantamento de agentes deflagradores é possível prever a ocorrência de fenômenos geo ou hidrodinâmicos que podem resultar em desastres, e um sistema de alerta trata de avisar a população da iminência de ocorrência desses eventos (SORENSEN, 2000).

Em 1989, foi estabelecido o primeiro Plano Preventivo de Defesa Civil (PPDC) do Estado de São Paulo, que abrangia as áreas da Serra do Mar e estabelece critérios para a previsão de escorregamentos, com base em coeficientes e limiares de precipitação (SÃO PAULO, 1989). Os critérios adotados nos PPDCs servem de base para os sistemas de monitoramento e alerta.

Com a evolução tecnológica foram criados sistemas de monitoramento e alerta no decorrer da década de 1990, como o ALERTA-RIO, estabelecido em 1996 na cidade do Rio de Janeiro (DOLIF et al., 2012) e o Centro de Gerenciamento de Emergências (CGE), criado em 1999 e estabelecido em caráter permanente no ano de 2000 (SÃO PAULO, 2000). Os dois sistemas tem como objetivo a emissão de boletins de alerta à sociedade sempre que houver previsão de chuvas intensas que possam gerar inundações ou deslizamentos.

Bacias hidrográficas⁵ de pequeno porte em áreas urbanas sofrem com fenômenos de pequena escala (inundações e alagamentos rápidos; deslizamentos rasos) ocasionados por chuvas intensas locais (KOBAYAMA et al., 2006). Estabelecer sistemas de alerta para tais fenômenos ainda é um desafio atual, tanto na questão do uso de previsões meteorológicas, quanto de dados em tempo real (ALFIERI et al., 2012).

As altas densidades populacionais e a infraestrutura presente em áreas urbanas normalmente resultam em maiores perdas e prejuízos quando ocorrem inundações e deslizamentos do que em áreas não urbanas (HAPUARACHCHI; WANG; PAGANO, 2011). Embora o aumento nas perdas causado por desastres no começo do século XXI ainda estejam mais associadas ao maior número de pessoas que vivem em áreas de risco, as mudanças climáticas trazem uma perspectiva de probabilidade de aumento nos prejuízos (BARREDO, 2009). Esse fato deve-se à influência que as mudanças climáticas podem ter no aumento do número, escala, extensão espacial e frequência de ocorrências, como deslizamentos (CHOI; CUI e

⁵ “As bacias hidrográficas são unidades espaciais de dimensões variadas, onde se organizam os recursos hídricos superficiais em função das relações entre a estrutura geológica-geomorfológica e as condições climáticas” (CARVALHO, 2014)

ZHOU, 2018). Dessa forma, as mudanças climáticas se apresentam como um desafio do século XXI, pois, além dos efeitos expostos, geram impactos ao meio ambiente, pela alteração da biodiversidade, à sociedade, aspectos da saúde pública, e à economia, agricultura e produção de energia (KLIJN et al., 2015a).

Um sistema de alerta pode reduzir boa parte dos estragos causados por desastres (DIXON et al., 2018) e a prevenção e mitigação de risco passam pela adaptação e inclusão de medidas como a criação de sistemas de alerta (NIELAND; MUSHTAQ, 2016; ALFIERI et al., 2012). Na maioria dos casos, os custos de implantação de um sistema de alerta, que são menores do que medidas estruturais, são superados significativamente pelos benefícios trazidos, embora ainda sejam necessárias melhores avaliações para medir a eficiência desses sistemas (ACOSTA-COLL; BALLESTER-MERELO e MARTINEZ-PEIRO, 2018; CHOI; CUI e ZHOU, 2018).

Este trabalho buscou identificar os elementos essenciais aos sistemas de alerta, considerado parte importante da gestão de risco, e discutir como esses aspectos podem ser tratados para pequenas bacias hidrográficas em áreas urbanas. Como área de estudo foi escolhida a bacia hidrográfica do córrego Guarará, localizada no município de Santo André, estado de São Paulo. Trata-se de uma bacia de pequeno porte (13km²) que possui um relevo movimentado em suas cabeceiras e que, em conjunto com as precipitações, resulta em casos frequentes de deslizamentos e inundações (RODRIGUES; VALVERDE, 2017). Além disso, é uma região altamente urbanizada, com três diferentes níveis de adensamento urbano e de padrão construtivo. Também foi levado em consideração para a escolha dessa área a existência de dados de precipitação horária e registro de ocorrências.

O capítulo 1 traz a introdução e a justificativa para o trabalho realizado. O capítulo seguinte apresenta os fundamentos da pesquisa, os objetivos e o método utilizado em cada etapa.

O capítulo 3 traz a revisão bibliográfica. A primeira parte define alguns conceitos importantes e estabelece o contexto no qual os sistemas de alerta estão inseridos. Nela foi ressaltada a relevância dos sistemas de alerta dentro da gestão de risco e apresentados assuntos importantes para o tema de estudo, como as mudanças climáticas e os eventos extremos. A seção seguinte condensa as informações sobre os sistemas de alerta, com foco em sistemas utilizados para prever casos de deslizamentos e inundações. Foram elencados aspectos

importantes de cada etapa necessária para o estabelecimento e funcionamento de um sistema de alerta. Com base nessas questões é apresentada ao final do capítulo um modelo genérico com os elementos essenciais de um sistema de alerta.

O quarto capítulo apresenta a caracterização da bacia do córrego Guarará, e nele são destacados elementos dos aspectos naturais e antrópicos. São descritos o meio físico, o clima e alguns parâmetros morfométricos, relacionados aos aspectos naturais. Além disso, é caracterizada a urbanização da área e levantadas ferramentas e práticas existentes na área de estudo, que podem ser utilizadas para a implantação de um sistema de alerta.

No capítulo seguinte são apresentados os resultados da análise dos históricos de precipitação e de ocorrências. E é apresentado um modelo de sistema de alerta para a bacia do córrego Guarará, considerando elementos existentes e novos limiares.

O capítulo seis apresenta a discussão, em especial, dos desafios para o funcionamento de um sistema de alerta em pequenas bacias hidrográficas em áreas urbanas. O capítulo sete traz as considerações finais do trabalho.

1.1 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é propor um sistema de alerta para a bacia do córrego Guarará.

Os objetivos específicos consistem em:

- a) Analisar o histórico de precipitação da área de estudo e levantar os índices relacionados a eventos extremos;
- b) Observar e identificar padrões, temporais e espaciais, presentes no registro de ocorrências de deslizamentos e inundações;
- c) Estudar e avaliar o tempo de concentração e os limiares para previsão e alerta de deslizamentos e inundações na bacia do córrego Guarará, com base no levantamento de ocorrências e histórico de precipitação;
- d) Analisar ferramentas e práticas existentes que podem ser utilizadas na implantação de um sistema de alerta para a área de estudo.
- e) Avaliar quais aspectos do modelo proposto podem ser replicados para outros sistemas de alerta;

2. MÉTODOS E PROCEDIMENTOS DE PESQUISA

Para o desenvolvimento dessa pesquisa apresenta-se a estrutura da revisão bibliográfica e as atividades relacionadas ao estudo da bacia do córrego Guarará. A revisão bibliográfica está fundamentada em quatro temas:

1. Conceitos de risco, ameaça, vulnerabilidade e desastres;
2. O processo de urbanização e a gestão de risco no Brasil;
3. Mudanças climáticas e eventos extremos;
4. Sistemas de alerta, com foco nos casos relacionados a inundações e deslizamentos;

Para a pesquisa e desenvolvimento do tema dos sistemas de alerta, algumas perguntas nortearam o desenvolvimento da revisão bibliográfica:

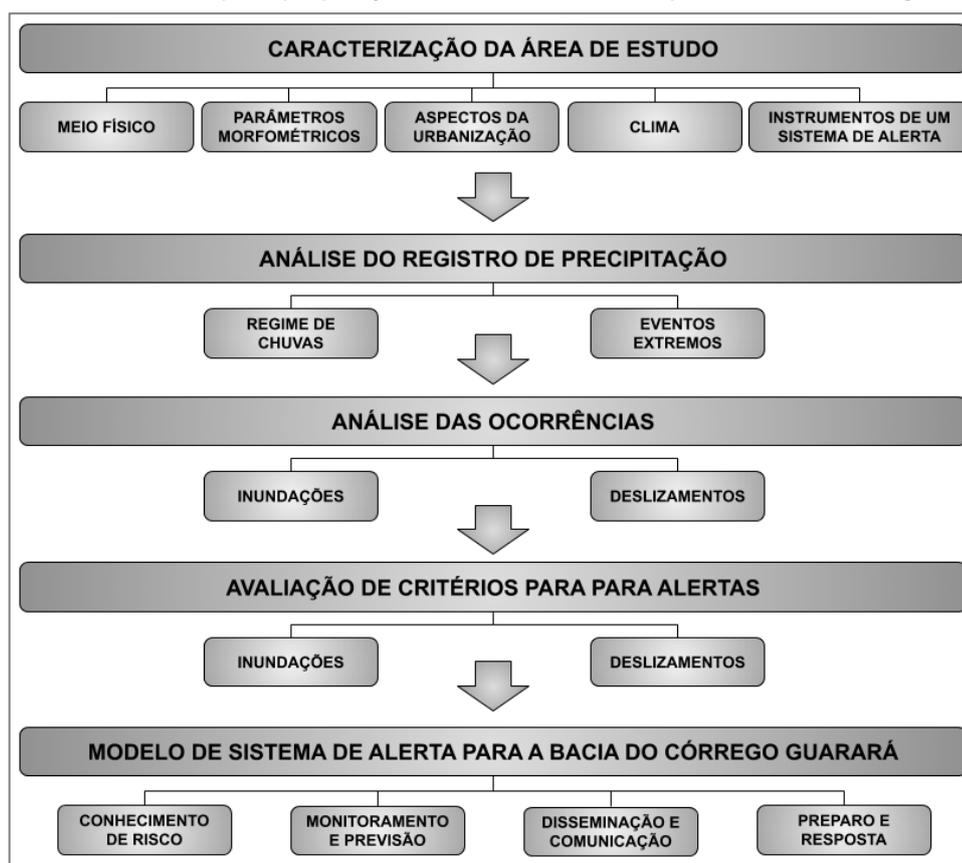
- ❖ Como identificar os processos presentes que se pretende alertar?
- ❖ Quais áreas podem ser atingidas, de acordo com a intensidade?
- ❖ Quando devem ser emitidos os alertas?
- ❖ Para quem devem ser enviados os alertas e qual a forma de comunicação?
- ❖ Quais os recursos humanos, tecnológicos e institucionais essenciais para o funcionamento de um sistema de alerta?

Com essas perguntas respondidas pela revisão da literatura, foram definidas as etapas e procedimentos necessários para a análise dos aspectos essenciais de um sistema de alerta na bacia do córrego Guarará.

2.1 Procedimentos metodológicos para o estudo da bacia do córrego Guarará

Com maior entendimento sobre sistemas de alerta, o próximo passo foi a análise da bacia do córrego Guarará em relação aos aspectos principais de um sistema de alerta, como descrito na Figura 1.

Figura 1 - Procedimento para proposição de sistema de alerta para bacia do córrego Guarará.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A caracterização da área de estudo considerou aspectos naturais, meio físico, análise morfométrica e clima, urbanização e instrumentos existentes relacionados ao sistema de alerta. Os parâmetros morfométricos analisados estão descritos no Quadro 1 e foram obtidos por meio de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), utilizando o *software ArcGis*. Os aspectos apresentados da urbanização são o uso do solo, zoneamento municipal e estruturas de retenção existentes. Foram investigados e analisados instrumentos de um sistema de alerta presentes na área de estudo: mapeamentos de suscetibilidade e risco, rede de monitoramento e previsão, ferramentas de disseminação da informação e aspectos de preparo e resposta às ocorrências.

Quadro 1 - Parâmetros morfométricos propostos para a análise.

Parâmetro	Unidade	Símbolo	Fórmula
Densidade de Rios	Nº/km ²	D_r	N/A
Densidade de Drenagem	m/m ²	D_d	L_t/A
Declividade média	m/m	S_m	$\Delta h/L$
Declividade equivalente	m/km	S_e	$\Delta h/L^{10^{-3}}$
Índice de sinuosidade	Adimensional	IS	L/dv
Coefficiente de Compacidade	Adimensional	K_c	$0,28 \times \left[\frac{P}{\sqrt{A}} \right]$
Fator de forma	Adimensional	F	A/L^2
Índice de circularidade	Adimensional	IC	$12,57 \times \left[\frac{A}{P^2} \right]$

Fonte: Elaborado pelo autor com referências de Souza et al., (2015); Vicens e Marques, (2006); Pinto Jr. e Rossete, (2005).

Em que N é a quantidade de cursos d'água na área da bacia hidrográfica, A (km²) é a área total da bacia, L_t(m) é a somatória do comprimento de todos os corpos d'água expresso em metros, Δh (m) é a diferença entre altura da nascente e da foz do canal principal, L (m) é o comprimento do canal principal, dv (m) é distância vetorial (distância de um segmento reto entre a nascente e foz), e P (km) é o perímetro da bacia hidrográfica.

As densidades de drenagem e de rios indicam se a área analisada possui uma rede de drenagem pobre ou bem drenada (SOUZA et al., 2015). As declividades apontam os desníveis presentes na bacia, em que baixas declividades apontam maior chance de ocorrência de inundações, enquanto as altas declividades aumentam o risco de deslizamentos (VICENS; MARQUES, 2006). O índice de sinuosidade permite identificar o quão tortuoso é um corpo d'água (PINTO JUNIOR; ROSSETE, 2005). O coeficiente de compacidade, o fator de forma e o índice de circularidade analisam a forma da bacia hidrográfica, que está relacionada a suscetibilidade à inundações, por exemplo, formatos alongados ou circulares, que representam menor e maior suscetibilidade, respectivamente (SOUZA et al., 2015). Os parâmetros levantados auxiliam no entendimento de como os processos de inundação ocorrem na bacia do córrego Guarará.

Foi realizado trabalho de campo para observar os aspectos relacionados ao uso do solo e zoneamento, às unidades geomorfológicas, às ocorrências de inundação e deslizamento e aos reservatórios de retenção.

Para realizar a análise de eventos extremos e regime de chuvas foram obtidos dados de precipitação junto ao Departamento de Proteção e Defesa Civil de

Santo André (DPDSCSA). Os dados disponibilizados são de chuva horária e correspondem ao período de novembro de 2010 até setembro de 2018.

Foram calculados e analisados os valores das chuvas por dia, mês, ano e período (seco e chuvoso). Em seguida foram levantados índices de eventos extremos conforme o Quadro 2. Para identificar o regime de chuvas no município foram obtidos dados de precipitação junto ao Laboratório de Integração de Sistemas Ambientais e Urbanos-UFABC, provenientes do DAEE.

Quadro 2 - Índices de precipitação extrema e definições.

Índice	Definição	Significado
PRCPTOT	Precipitação total no ano (mm)	Representa se foi um ano de muita chuva ou de seca
R10mm	Dias com precipitação acima de 10mm (nº de eventos)	Frequência de dias com chuva significativa
R20mm	Dias com precipitação acima de 20mm (nº de eventos)	Frequência de dias com chuva bastante significativa
R25mm	Dias com precipitação acima de 25mm (nº de eventos)	Frequência de dias com chuva muito significativa
RX1day	Chuva máxima em 1 dia (mm)	Importante para ocorrência de inundações bruscas
RX5day	Acumulado máximo de 5 dias consecutivos (mm)	Importante para a ocorrência de deslizamentos
R95p	Total de precipitação de dias acima do 95 percentil (mm)	Indica acumulado de precipitação extrema
R99p	Total de precipitação de dias acima do 99 percentil (mm)	Indica acumulado de precipitação muito extrema

Fonte: Adaptado de CPTEC (2018).

Com o objetivo de identificar limiares de eventos extremos relacionados com a ocorrência de deslizamentos ou inundações, foram levantados os índices apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 - Índices de intensidade e acumulado de precipitação.

Índice	Definição
lmax1h	Intensidade máxima de 1 hora
lmax3h	Intensidade máxima de 3 horas consecutivas
l1h>10mm	Número de vezes que a intensidade de precipitação da hora passou de 10mm
l1h>20mm	Número de vezes que a intensidade de precipitação da hora passou de 20mm
Ac72h>40mm	Número de dias com chuva acumulada acima dos 40mm
Ac72h>60mm	Número de dias com chuva acumulada acima dos 60mm
Ac72h>80mm	Número de dias com chuva acumulada acima dos 80mm
Ac72h>100mm	Número de dias com chuva acumulada acima dos 100mm

Fonte: Feng e Li (2018); Deoet al., (2018); Mendes et al., (2015); Molina, Cardoso e Nogueira (2015).

Os índices relacionados com as intensidades podem influenciar inundações, enquanto os acumulados de precipitação refletem maiores chances de deslizamentos (DEO et al., 2018; TATIZANA et al., 1987a; TATIZANA et al., 1987b).

Foi adquirido junto ao DPDSCSA o registro de ocorrências de deslizamentos e inundações na área da bacia do córrego Guarará. O cadastro de ocorrências se

iniciou em 2001 e se estende até 2018, possuindo dados de ordem de serviço, tipo de ocorrência, data, hora de chamado na central telefônica e endereço. Na classificação da DPDCSA há uma categoria que considera em conjunto inundações, enchentes e alagamentos, e outra categoria que agrega os processos de deslizamentos, escorregamentos e desbarrancamentos. Dessa forma, não é possível diferenciar alagamentos de inundações, por exemplo.

Desses dados foram levantadas as quantidades de deslizamentos e inundações por ano, por mês, o total de dias com ocorrências, identificando dias com apenas uma ou com mais de uma ocorrência.

A espacialização das ocorrências via SIG, foi o passo seguinte. Por meio do *software* Qgis, e seu plugin MMQGIS, as ocorrências foram espacializadas a partir dos endereços de registro.

Com as ocorrências espacializadas foi possível analisar a intensidade de ocorrência de deslizamentos ou inundações, por meio de mapas de calor, ou mapas de Kernel, para os dois tipos de processos. O mapa de calor identifica a densidade de ocorrências numa determinada área (DEBOER; 2015). A densidade foi calculada a partir da contagem do número de ocorrências presentes num raio de 200m para cada pixel do mapa. Além do mapa de calor também foi possível analisar as ocorrências por ano e local, para identificar se há mudanças no padrão espacial de ocorrências ao longo do período de análise.

A próxima etapa consistiu na avaliação dos dados de chuva em conjunto com os dados de ocorrência. É importante ressaltar que para as análises seguintes foram utilizados apenas os registros de ocorrências do período em que há dados de chuva, de janeiro de 2011 a setembro de 2018.

Primeiramente foram estabelecidos os dados de precipitação (chuva diária e horária, acumulado de 72h e do período chuvoso anterior ao evento, intensidade, duração e acumulado do evento chuvoso) para cada ocorrência. Nos dados de precipitação foi identificado se houve ou não ocorrência no dia, e quantas ocorreram.

A primeira análise realizada foi a classificação dos dias com ocorrências segundo a precipitação diária conforme as classes: igual a zero (sem chuva); acima de zero e abaixo 10mm (leve); acima de 10mm e abaixo de 30mm (moderada); e acima de 30mm (intensa) (RAIMUNDO; SANSIGOLO; MOLION, 2014).

Com base na revisão bibliográfica e nos critérios utilizados atualmente pelo DPDCSA (DEO et al., 2018; MENDES et al., 2015; SANTO ANDRÉ, 2019), os

limiares foram analisados quanto a sua eficiência, e estão apresentados no Quadro 4. Para análise seguinte foram excluídas as ocorrências que tinham registro de precipitação igual à zero.

Quadro 4 - Critérios para os índices de precipitação

Intensidade de 1h	Acumulado de 72h
Acima de 50mm	Acima de 100mm
Acima de 30mm	Acima de 80mm
Acima de 20mm	Acima de 60mm
Acima de 10mm	Acima de 40mm

Para verificar a eficiência desses critérios foram calculadas pontuações (*skill scores*) para as situações de acertos e erros quanto às previsões de ocorrências. Os acertos são os Verdadeiros Positivos (VP), índice acima do critério estabelecido e foi observado o fenômeno, e Verdadeiros Negativos (VN), índice abaixo do limiar e não foi observado evento. Enquanto os erros são os Falsos Positivos (FP), em que foi previsto a ocorrência do fenômeno mas este não aconteceu (alarme falso), e os Falsos Negativos (FN), índice abaixo do critério utilizado e foi registrado ocorrência (GARIANO et al, 2015). A Figura 2 apresenta o esquema para determinação dos acertos e erros.

Figura 2 - Quadro esquemático de acertos e erros.

		OCORRÊNCIAS	
		SIM	NÃO
LIMIAR	ACIMA	VP	FP
	ABAIXO	FN	VN

Fonte: Adaptado de Gariano et al. (2015).

Com a obtenção dos valores de VP, VN, FP, e FN foi possível calcular as pontuações de probabilidade de detecção, probabilidade de falsa detecção, e probabilidade de alarme falso, e estão apresentados no Quadro 5, com fórmula, variação e valor ótimo.

Quadro 5 - Pontuações de eficiência.

Pontuação	Fórmula	Variação	Valor ótimo
Probabilidade de detecção	$PD = \frac{VP}{VP + FN}$	[0,1]	1
Probabilidade de falsa detecção	$PFD = \frac{FP}{FP + VN}$	[0,1]	0
Probabilidade de alarme falso	$PAF = \frac{FP}{FP + VP}$	[0,1]	0

Fonte: Adaptado de Gariano et al. (2015).

Nessa pesquisa a probabilidade de detecção (PD) indica a quantidade de ocorrências para o qual teria sido emitido um alerta corretamente, representado pelo número de dias com ocorrências e limiar acima do critério estabelecido, dividido pelo total de dias com ocorrências. A probabilidade de falsa detecção (PFD) identifica quantos dias de precipitação teriam provocado alarmes falsos, ou seja, de todos os dias que houve alguma precipitação quantos alarmes falsos seriam emitidos. E a probabilidade de alarme falso mostra a proporção de alarmes falsos em relação a todos os alertas que seriam emitidos, de todos os dias que houve precipitação acima do limiar, quantos desses dias não houve ocorrência (alarme falso).

As pontuações foram calculadas para três diferentes cenários. Esses três cenários foram estabelecidos para adequar o registro de precipitação e ocorrência, de forma a identificar da melhor maneira possível a influência das precipitações na ocorrência de deslizamentos ou inundações.

No primeiro cenário foram excluídos os dias com precipitação registrada igual a zero, inclusive os dias com registro de ocorrências. Apesar de haver o registro de inundações e deslizamentos em dias sem precipitação, essas ocorrências não auxiliam na avaliação dos critérios e iriam distorcer os resultados. Esses casos podem ser de ocorrências causadas por falha no equipamento de medição da precipitação ou registro da inundação, deslizamento em dia posterior a chuva, por influência antrópica, por exemplo, um talude de corte mal executado ou disposição inadequada de águas servidas ou lixo.

O segundo cenário desconsiderou os dias com apenas uma ocorrência e os dias com precipitação igual a zero. Tem como premissa de que dias com mais de uma ocorrência resultam de precipitações mais intensas e possuem menor chance de influências antrópicas.

No histórico de inundações foi possível identificar ocorrências que tinham sido registradas em dias posteriores à precipitação que resultou na inundação, pois havia anotações claras indicando essa situação. Dessa maneira, foi feito o cáculo das pontuações para os critérios para um terceiro cenário, excluindo-se os dias das ocorrências relativas a precipitações de dias anteriores. O mesmo tipo de informação não foi encontrado no registro de deslizamento, por isso o terceiro cenário são foi aplicado para as inundações.

Após o cáculo das pontuações, foram elaborados gráficos de dispersão das ocorrências. Para os deslizamentos, as variáveis utilizadas foram os acumulados de precipitação de 72h e precipitação diária (MENDES et al., 2015), utilizando os dados do cenário dois, que melhor representa a relação das precipitações com as ocorrências. No caso das inundações, o eixo X representa a precipitação diária e o eixo Y a intensidade de uma hora de precipitação e foi considerado o terceiro cenário, que melhor indicou a relação da intensidade da precipitação com as ocorrências.

Para auxiliar na determinação das previsões de inundações foi calculado o tempo de concentraç o⁶ da bacia inteira do córrego Guarará, bem como para quatro seções parciais, considerando os bairros mais atingidos por inundações ao longo do canal principal do córrego Guarará. Foram utilizados três diferentes métodos para calcular o tempo de concentração, que estão apresentados no Quadro 6. Esses métodos foram escolhidos conforme o estudo de Silveira (2005), que faz uma revisão e identifica para quais situações cada método é mais adequado, conforme tamanho da bacia e se esta é urbana ou rural. Os métodos são obtidos de forma empírica, por isso é sugerido que seja calculado o tempo de concentração por mais de uma metodologia.

⁶ “Tempo de concentração é o tempo em que leva para que toda a bacia considerada contribua para o escoamento superficial na seção estudada.” (TOMAZ, 2011, p. 1)

Quadro 6 - Métodos de cálculo do tempo de concentração.

Método	Classe	Tamanho	Unidade	Fórmula
Kirpich	Rural ou Urbana	<27km ²	min	$0,019 \times L^{0,77} \times S_m^{-0,385}$
Carter	Urbana	<11km ²	H	$0,0977 \times L^{0,6} \times S_m^{-0,3}$
Desbordes	Urbana	<51km ²	H	$0,0869 \times A^{0,3039} \times S_m^{-0,3832} \times A_{imp}^{-0,4523}$

Fonte: Tomaz, (2011); Almeida et al., (2014); McCuen, Wong e Rawls (1984).

Em que L (m) é o comprimento do canal, S_m (m/m) é a declividade, A (km²) é a área da bacia e A_{imp} (adimensional) é a fração da área impermeável. Os parâmetros de entrada das fórmulas foram obtidos por meio de *software ArcGis*. A área impermeável foi obtida por meio do levantamento de índices de impermeabilidade com base no uso do solo, encontrando valores máximos e mínimos sugeridos para cada tipo de uso (CALIFÓRNIA; CWB, 2009).

A partir das análises realizadas é proposto um sistema de alerta para a bacia do córrego Guarará. As etapas para elaboração do modelo foram identificação dos processos, monitoramento e previsão, disseminação e comunicação, e preparo e resposta. A identificação dos processos se baseou no levantamento de ocorrências e nos mapeamentos de suscetibilidade e risco. A seção de monitoramento e previsão foi embasada nas análises de critérios de precipitação para deslizamentos e inundações, além dos tempos de concentração e rede de monitoramento existente. A disseminação e o preparo e resposta foram fundamentados essencialmente em aspectos já existentes na bacia do córrego Guarará.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os sistemas de alerta são parte importante da gestão de riscos e no plano de ação da defesa civil. Esse capítulo apresenta alguns conceitos importantes para entender o contexto no qual os sistemas de alerta estão inseridos. Primeiro são expostos alguns conceitos como risco, vulnerabilidade, ameaças e desastres. Em seguida é apresentado um histórico da urbanização e gestão de risco no Brasil. Na terceira parte são discutidos os temas das mudanças climáticas, eventos extremos e monitoramento climático. E por último são abordados os sistemas de alerta.

3.1 Risco, ameaça, vulnerabilidade e desastres

Para a existência do risco é necessário que exista algum tipo de fenômeno que possa resultar em alguma consequência, como no caso da previsão do tempo. Quando há previsão de chuva, o fenômeno, há o risco de diversas consequências, como aumento do trânsito, falhas no fornecimento de energia e ocorrências como os deslizamentos e inundações. Mas nem toda chuva resulta em todos esses transtornos. Dessa forma, a previsão de chuva indica a possibilidade ou risco de certas consequências, apresentando um cenário de incerteza. Partindo dessa ideia, Cardona (2006) discute o conceito de risco:

“Para que o risco seja reconhecido e uma preocupação - para que seja determinante em tomadas de decisão - é necessário que se manifeste. Sem seu reconhecimento não há ação, mas o risco é um conceito estranho, representa algo irreal, na medida em que está sempre relacionado ao acaso, à possibilidade, a algo que ainda não aconteceu. É uma abstração de um processo de transformação que denota simultaneamente a possibilidade e a realidade. É algo imaginário e indescritível que parece existir apenas no futuro e que reflete um estado indesejável da realidade, mas sua existência complexa é consubstancial ao homem. O risco é dimensionado delimitando no tempo um estado de realidade indesejável, consequências ou efeitos adversos resultado de eventos naturais ou atividades humanas.” (CARDONA, 2006, p.2, tradução do autor).

De forma semelhante, Beck (2011) aponta o risco como algo relacionado ao futuro, relativo aos processos que ainda não aconteceram, mas que são eventos próximos, e ao serem alvo de ações de prevenção, por exemplo, fazem parte da realidade do presente e não apenas do futuro. Apesar de ser caracterizado de forma abstrata, Beck (2011) e Cardona (2006) defendem que o risco pode ser dimensionado pelas consequências resultantes de eventos adversos. O principal

desafio que se apresenta é como transformar o risco, conceito abstrato, em algo quantificável, tornando-se concreto.

Durante a segunda metade do século XX, era muito comum a definição de risco apenas pela probabilidade de ocorrência de certo fenômeno físico ou social (ICSU-LAC, 2010), que pode ser entendido como uma ameaça. O termo ameaça ou perigo deriva do termo em inglês *hazard*. No glossário de seu relatório especial *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation (SREX)*, IPCC (2012, p. 560) define-se *hazard* como:

“A possibilidade de ocorrência de um evento natural ou antrópico que possa causar perda de vidas, e outros danos à saúde e integridade física de pessoas, assim como perdas e danos à propriedade, infraestruturas, prestação de serviços e recursos ambientais” (IPCC, 2012, p.560, tradução do autor).

Segundo Lavell (1996), há uma divisão comum das ameaças apenas entre naturais e antrópicas (tecnológicas), e o próprio autor propõe uma classificação que busca entender de forma mais detalhada as causas e relações das ameaças com os desastres, de forma a poder buscar melhores ações para a mitigação destas. A partir dessa ideia ele separa as ameaças em quatro grupos: naturais; sócionaturais; antrópico-contaminantes e; antrópico-tecnológicas. As ameaças naturais se diferenciam das sócionaturais pela presença de uma indução social nas últimas, de forma que as naturais são aquelas inevitáveis como terremotos e furacões, em que não há como evitá-las, apenas mitigar seus efeitos sobre a população. E as ameaças sócionaturais poderiam ser evitadas, como deslizamentos induzidos por aterros inadequados, e alagamentos causados por falhas no sistema de drenagem (LAVELL, 1996).

Há dois tipos de ameaças relacionadas apenas com ações da humanidade: as ameaças antrópico-contaminantes, caracterizadas pela emissão ou despejo de poluentes em alguma parcela do meio natural (ar, solo e água) de forma a representar algum risco à população humana; e as antrópico-tecnológicas: relacionadas diretamente ao mau funcionamento ou acidente com alguma estrutura tecnológica construída, como barragens e indústrias (LAVELL, 1996).

Dois importantes pontos de análise das ameaças são a probabilidade de ocorrência destas e sua magnitude. Por exemplo, as diferentes probabilidades de ocorrer um terremoto de certa ordem de grandeza ao longo do espaço e tempo

(CARDONA, 1993). Ao se tratar de ameaças relacionadas ao meio físico, a suscetibilidade representa a predisposição ou propensão de um terreno desenvolver um processo ou fenômeno, como deslizamentos ou inundações (DINIZ, 2012; SOBREIRA; SOUZA, 2012). Apesar de as probabilidades de ocorrência de alguma ameaça serem parecidas ao longo de locais próximos, as consequências e/ou perdas sofridas pela população podem ser diferentes.

Essa ideia leva a uma segunda perspectiva do risco, incluindo as consequências ou danos causados pela ocorrência de um evento (AUGUSTO FILHO et al., 1990, apud NOGUEIRA, 2002), tendo-se a seguinte equação (1) como representação matemática desse conceito:

$$R = P \times C \quad (1)$$

Em que P é a probabilidade de ocorrência de um fenômeno, C as consequências potenciais (econômicas ou sociais) e R é o risco.

Com a inclusão de ciências sociais na temática do risco, introduzem-se as análises de risco e o conceito de vulnerabilidade. Segundo Cardona (1993), a vulnerabilidade pode ser entendida como a predisposição de alguma pessoa ou elemento de sofrer uma perda com a ocorrência de alguma ameaça.

Wilches-Chaux (1993) define a vulnerabilidade como a incapacidade de uma comunidade para absorver os efeitos de uma determinada alteração no ambiente, ou seja, sua inflexibilidade ou incapacidade para se adaptar a essa mudança. O autor complementa expondo diversos aspectos da vulnerabilidade, e a junção desses fatores resultam na vulnerabilidade global. Analisar a vulnerabilidade implica em conhecer como a sociedade é estruturada, em seu processo histórico, e como ela se relaciona com o meio natural (BOGOTÁ, 2015), daí sua complexidade. Seus diferentes fatores estão apresentados no Quadro 7.

Quadro 7 - Aspectos da Vulnerabilidade Global.

Tipo	Caracterização
Física (ou locacional)	Refere-se à ocupação e ao adensamento populacional de áreas perigosas.
Econômica	Existe uma relação inversa entre renda per capita em níveis nacional, regional ou local, e internamente a uma comunidade, e o impacto dos fenômenos físicos extremos, isto é, a pobreza aumenta o risco de desastre.
Social	Refere-se ao baixo grau de organização e coesão interna das comunidades em risco, que ficam sem capacidade de prevenir, mitigar ou responder a situações de desastres.
Política	Refere-se à falta de autonomia de decisão em níveis regionais, locais e comunitários, além da falta de participação, impedindo uma maior adequação das ações aos problemas diagnosticados.
Técnica	Está ligada às técnicas construtivas inadequadas de edificações e de infraestruturas básicas utilizadas em áreas de risco, sem as medidas devidas de preservação e estabilização.
Ideológica	Está relacionada a concepções de mundo e do meio ambiente, em que passividade, fatalismo e prevalência de mitos podem limitar a capacidade de agir adequadamente frente aos riscos.
Cultural	Expressa pela identidade das comunidades sem cultura de autodefesa, sofrendo influência dos meios de comunicação, que frequentemente levam à formação de imagens estereotipadas, transmitindo-lhes informações deturpadas.
Educacional	Está associada à ausência completa de programas de educação, desde a formal básica e ambiental, até os formadores de cidadania e de cultura de autodefesa.
Ecológica	Relaciona-se a modelos característicos de desenvolvimento e de ocupação do solo, que se fundamentam na dominação por destruição do meio ambiente.
Institucional	Reflete-se na obsolescência e rigidez das instituições, especialmente as jurídicas, onde prevalecem a burocracia e os critérios personalistas ou eleitoreiros.

Fonte: Nogueira (2002), adaptado de Wilches-Chaux (1993).

Cardona (1996) compara a vulnerabilidade com um déficit de desenvolvimento, social e ambiental, ao qual devem se dirigir os esforços para prevenir e mitigar os danos e perdas sociais, econômicos e ambientais que possam ser causados por ameaças. Dessa forma, a redução da vulnerabilidade é crucial para a sustentabilidade das cidades, proporcionando às comunidades (ou à população) capacidade de absorver ou responder aos efeitos adversos das ameaças às quais estão expostas, representando uma melhoria na qualidade de vida (MARANDOLA JUNIOR; HOGAN, 2005). Portanto, a vulnerabilidade aparece como um conceito chave para a questão de risco, complementando a análise das ameaças e dos impactos gerados por elas (HOGAN; MARANDOLA JUNIOR, 2012).

Para uma análise da vulnerabilidade é preciso determinar o nível de exposição e a predisposição a sofrer perdas de um elemento ou conjunto de elementos frente a uma ameaça específica (CARDONA, 1993). Dentre os elementos que podem sofrer danos podem ser consideradas as populações humanas, bens materiais como construções e até mesmo alguns recursos ambientais, que podem ser essenciais ao funcionamento da sociedade. Quanto maior a população exposta ou o valor econômico das estruturas expostas, maiores serão os danos causados por um evento adverso (KLIJN et al., 2015b; KOKS et al., 2015; MOEL et al., 2015).

Assim, há três elementos essenciais para a consideração do risco: a ameaça, qual o fenômeno perigoso; a exposição, quem ou o que está no alcance deste fenômeno e; a vulnerabilidade, que representa o grau das consequências sofridas pela população caso seja atingida. Os três elementos discutidos são contribuintes para o aumento do risco. Nogueira (2002) defende a introdução de um termo que diminuiria esse risco, o gerenciamento, e assim propõe a seguinte equação:

$$R = P(fA) \times C(fV) \times g^{-1} \quad (2)$$

“Em que R é a convolução:

- *Da possibilidade ou probabilidade P de ocorrer um fenômeno físico A, em local e intervalo de tempo específicos e com características determinadas (localização, dimensões, processos e materiais envolvidos, velocidade e trajetória);*
- *Causando consequências C (às pessoas, bens e/ou ao meio ambiente), em função da vulnerabilidade V (indicativa da suscetibilidade a serem afetados e do nível de resiliência dos elementos expostos);*
- *Podendo ser modificado pelo grau de gerenciamento g.”*(NOGUEIRA, 2002, p.50)

Nesta abordagem, a exposição é considerada como o local atingido e a vulnerabilidade é específica dos elementos expostos nesse local. A inclusão do

gerenciamento permite uma análise aprofundada sobre as políticas e ações da gestão de risco, como os sistemas de alerta, instrumento de mitigação do risco.

As diversas abordagens apresentadas mostram como o risco é um conceito complexo, e sua análise depende de uma variedade de fatores. A forma de analisar o risco é altamente dependente da proposta, escopo e objetivo de cada trabalho, portanto não há apenas um método certo ou definitivo. Neste trabalho, a perspectiva apresentada por Nogueira (2002) é a forma como será tratada a questão do risco.

3.1.1 Desastres

Como discutido anteriormente, o conceito de risco está envolto numa ideia de incerteza e que, muitas vezes, é necessário que este se concretize para que se tomem atitudes. Os desastres são uma manifestação do risco que, em alguns casos, resulta em mudanças na sociedade. O IPCC (2012, p. 558) define desastre como:

“uma alteração severa no funcionamento de uma comunidade ou sociedade devido a eventos perigosos interagindo com condições de vulnerabilidade, levando a efeitos adversos para os humanos, e consequências materiais, econômicas ou ambientais, que exigem resposta imediata para que as necessidades básicas possam ser atendidas, e que podem demandar auxílio externo” (IPCC, 2012, p. 558, tradução do autor).

Além das perdas causadas, um desastre se caracteriza pela incapacidade de resposta e necessidade de auxílio externo para se recuperar dos efeitos adversos causados pelo evento perigoso. Um desastre, dessa forma, pode ser interpretado como a manifestação do risco, pois a ocorrência de fenômeno físico sem vulnerabilidade da população exposta não representa um desastre, da mesma maneira que as vulnerabilidades presentes sem a ocorrência de um fenômeno prejudicial (WILCHES-CHAUX, 1993). Por exemplo, uma casa com comportas que consegue evitar ser atingida por uma inundação. Embora ocorra o processo hidrodinâmico, os moradores da casa não estão vulneráveis a ele graças ao sistema de comportas. Assim como a vulnerabilidade de casas que podem ser atingidas por deslizamentos não representa um desastre até que ocorra o deslizamento, apesar da existência do risco todo o tempo.

Desastres são caracterizados por diferentes escalas espaciais e temporais. Um alagamento que atinge um bairro, dependendo das consequências, pode ser considerado um desastre local, ao passo que um terremoto que afeta uma cidade ou país inteiro é um desastre de escala regional. Quanto à escala temporal, secas

representam desastres de longa duração, enquanto terremotos são exemplos de desastres de curta duração. Essa análise é relacionada aos fenômenos físicos, e não aos efeitos dos desastres, que dependendo da vulnerabilidade da comunidade, podem ser sentidos durante um período prolongado (TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009).

Embora desastres tragam uma conotação de eventos de grande magnitude, inundações de pequeno alcance podem ser consideradas um desastre recorrente às populações atingidas, pois afetam diretamente sua capacidade de desenvolvimento (NOGUEIRA, 2002). Assim, mesmo eventos de menor magnitude podem ser considerados desastres, principalmente, se considerarmos os altos níveis de vulnerabilidade em que se encontram as populações atingidas.

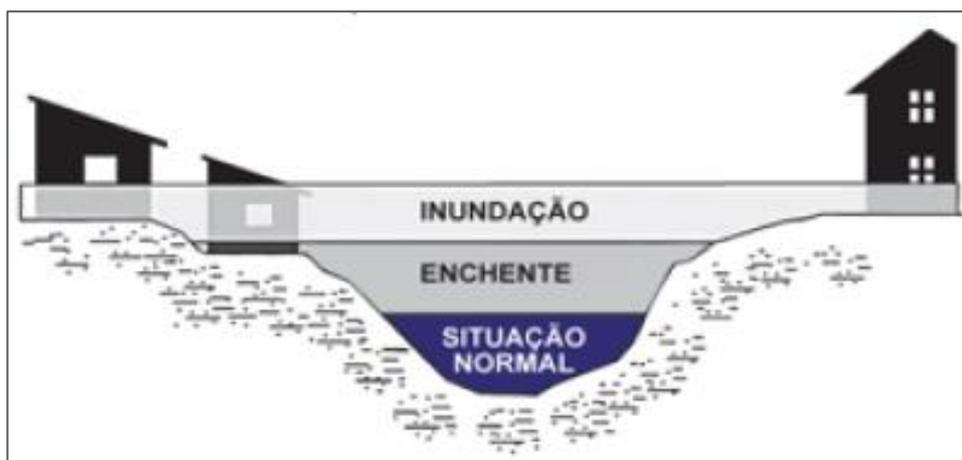
As ameaças mais comuns na área de estudo são os deslizamentos e inundações, por isso esses conceitos são sucintamente apresentados.

Inundações

Inundações ocorrem quando a vazão de um corpo d'água é superior à sua capacidade de transporte, resultando no extravasamento de parte desse volume, atingindo as áreas adjacentes do corpo d'água, além de seu leito maior⁷ (ou áreas de várzea) (KOBAYAMA et al., 2006). As enchentes ocorrem quando a vazão não é suficiente para o extravasamento, mas chega à cota máxima das margens dos rios (CARVALHO; MACEDO; OGURA, 2007). A Figura 3 apresenta os processos numa área urbana. Com a retificação dos corpos d'água e alta ocupação de suas margens em áreas urbanas, a diferenciação entre os processos de enchente e inundação é difícil, pois não há clara divisão entre seu leito menor e maior (AMARAL; RIBEIRO, 2009).

⁷ Área que é atingida normalmente pela vazão de um corpo d'água durante o seu período de chuva (KOBAYAMA et al., 2006).

Figura 3 - Representação dos processos de inundação e enchente.



Fonte: Carvalho, Macedo e Ogura (2007).

As inundações podem ser diferenciadas entre graduais ou bruscas. As inundações graduais são ocasionadas por chuvas de longa duração, mais comum em bacias com grandes planícies fluviais, e as inundações bruscas ocorrem quando há chuvas rápidas, mas de alta intensidade, relevos acidentados e com maiores declividades são os que mais sofrem com esse tipo de processo (KOBAYAMA et al., 2006).

Movimentos gravitacionais de massa

Movimentos de massa são caracterizados pela movimentação do solo, rocha ou vegetação ao longo da vertente, causados primordialmente pela gravidade (TOMINAGA, 2009). Os movimentos de massa podem ser divididos em diferentes classes de acordo com a velocidade, material movimentado e geometria, como apresentado no Quadro 8. Os movimentos encontrados na área de estudo são principalmente escorregamentos, em destaque no Quadro 8. Os deslizamentos, termo genérico para escorregamentos, ocorrem quando o atrito interno das partículas não é suficiente para sustentar o peso do solo exercido pela força da gravidade (TOMINAGA, 2009). Normalmente, a diminuição das forças internas é causada pela saturação do solo devido à infiltração da água, que acontece com frequência durante chuvas longas e intensas, que aumentam a frente de saturação do solo (CERRI, 2006). Os deslizamentos podem ser induzidos pela alteração das condições naturais do relevo, como cortes e aterros (CARVALHO; MACEDO; OGURA, 2007).

Quadro 8 - Tipos movimentos de massa.

Processo	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
Escorregamentos	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) apud Tominaga (2009).

3.2 O processo de urbanização e a gestão de risco no Brasil

A urbanização é um dos importantes processos da nossa história, sendo grande influência no planejamento, desenvolvimento e gestão da sociedade de uma forma geral (NOGUEIRA, 2002). A transição urbana⁸ no Brasil ocorreu de forma acelerada, transformando rapidamente um país predominantemente agrícola e rural num país altamente urbanizado, com a maioria de sua população morando em centros urbanos (MARTINE; MCGRANAHAN, 2010). Em 1950 a população urbana representava pouco menos de 40%, enquanto no censo de 2010 esse número atingiu mais de 80% (VALLE SILVA; BARBOSA, 2006; IBGE, 2010). O processo de urbanização caracteriza-se também pela alteração da concentração populacional,

⁸ A transição urbana trata da mudança entre regimes demográficos e a produção e reprodução do espaço urbano (SILVA; MONTE-MÓR, 2016).

em que os centros urbanos atraem e concentram a população, tornando-se áreas densamente povoadas (CARMO; DAGNINO; JOHANSEN, 2014).

Os assentamentos humanos, desde povoados até as metrópoles, são construídos pela modificação da natureza que o cerca, e este meio serve de suporte para essa transformação; o resultado é chamado de meio ambiente urbano (LAVELL, 1996). Metzger (1996) complementa esta definição ao afirmar que o meio ambiente urbano se diferencia histórica, espacial e socialmente. Portanto, o meio ambiente urbano é construído pelas transformações do meio natural, e se diferencia pelos diversos processos históricos de construção espacial e social.

Apesar das diferenças do espaço físico e do processo histórico e social de produção do espaço urbano, este tende a ser cada vez mais parecido, sofrendo com problemas semelhantes, principalmente em relação à desigualdade quanto ao consumo do espaço e à geração de impactos ambientais e sociais. Embora as cidades apresentem características distintas quanto ao meio físico e social, a forma como se dá o processo de urbanização resultará em similares desafios para a sociedade e problemas para o meio ambiente (FERREIRA, 2011).

Outra característica marcante do processo de urbanização no Brasil, além de sua rapidez, é a falta de planejamento e controle com que esse processo se deu. O mercado formal ocupa as melhores áreas da cidade, em seus aspectos físicos e da infraestrutura presente, produzindo centralidades, que se valorizam pelo mercado imobiliário. Conforme as áreas adequadas são ocupadas pelo mercado formal, barreiras ambientais são encontradas no processo de expansão urbana, e estes novos espaços, inadequados para o mercado formal, normalmente possuem fragilidade ambiental acentuada. Estas áreas frequentemente são ocupadas pela população de baixa renda, resultando num desequilíbrio ecológico e baixo nível de qualidade de vida aos habitantes daquele local (HOGAN, 2005). A ocupação desses espaços, comum no Brasil, implica numa concentração da pobreza nas periferias e numa baixa qualidade de vida para a população residente, criando uma cidade representada pela dualidade entre ocupações formais e informais (JACOBI, 2006).

Assim, as periferias se caracterizam pela precarização da qualidade de vida, principalmente pelo acúmulo de problemas sociais, que se refletem nas privações vivenciadas pelas populações que vivem nessas áreas, expostas pela forma desordenada de ocupação do solo e falta de acesso a melhores condições de urbanização. Em geral as áreas ocupadas por essa população são encostas

íngremes ou margens de córregos, sem valor para o mercado formal. Somada às fragilidades ambientais está a precariedade das construções, o que resulta muitas vezes em situações de risco (ALVES, 2006; MENDONÇA; LEITÃO, 2008). A dinâmica de urbanização, que expõe as encostas e impermeabiliza o solo, reflete diretamente na ocorrência de inundações e deslizamentos, ou seja, na manifestação do risco (MARANDOLA JUNIOR; HOGAN, 2004).

3.2.1 *Enfrentando o risco*

Devido, em grande parte, ao rápido processo de transição urbana, que pode resultar em situações de risco, ocorreu um aumento no número de desastres ao longo da segunda metade do século XX. No estudo de Marcelino, Nunes e Kobiyama (2006), sobre a base de dados EM-DAT (*Emergency Events Database*), é apontado que mais de 95% dos desastres no Brasil aconteceu após a década de 1950. A gestão de riscos surge como um dos instrumentos para a redução de risco de desastres na década de 1990. Isso se deve em grande parte pelo estabelecimento dessa como a “Década Internacional para Redução dos Desastres Naturais” (IDNDR) implementada pela ONU (Organização das Nações Unidas) e sua Agência de Coordenação das Nações Unidas para o Socorro em Desastres (UNDRO) (ALHEIROS, 2011). A abordagem de gestão de risco da UNDRO é baseada em três pilares: o mapeamento de risco, o plano de intervenções e o plano preventivo de defesa civil; e sugere cinco etapas para uma efetiva redução de risco (UNDRO, 1991 apud CARVALHO; GALVÃO, 2016): i) identificação dos riscos; ii) análise dos riscos; iii) medidas de prevenção; iv) planejamento para situações de emergência; e v) informações públicas e treinamento.

O mapeamento de risco abrange as duas primeiras etapas. Identificação e definição do grau de risco (análise de risco) a partir do levantamento das ameaças presentes, população exposta e vulnerabilidade desta, realizando um diagnóstico de risco (NOGUEIRA, 2006).

O plano de intervenções (segundo pilar) e as medidas de prevenção (terceiro pilar) envolvem tanto medidas estruturais quanto não estruturais. As medidas estruturais são obras de engenharia que visam reduzir o risco existente, como muros de arrimo na prevenção de deslizamentos e piscinões para diminuir inundações. As medidas não estruturais estão diretamente ligadas às políticas urbanas, como planejamento urbano (zoneamento e plano diretor), a legislação,

organização institucional e educação (CARVALHO; MACEDO; OGURA, 2007). Os sistemas de alerta se apresentam como uma alternativa viável de medidas não estruturais para a mitigação de riscos (CALVELLO et al., 2015).

O último pilar se baseia no Plano Preventivo de Defesa Civil (PPDC) e consiste nas etapas de preparo e resposta para situações de emergência, informações públicas e treinamento, que também são consideradas como medidas não estruturais. No estado de São Paulo o PPDC foi estabelecido primeiramente em 1989 (SÃO PAULO, 1989) e redefinido em 1997 (SÃO PAULO, 1997), inicialmente para a região da Serra do Mar, no litoral paulistano, e posteriormente foram estruturados para outras áreas com riscos de escorregamento. O PPDC deve, partindo do diagnóstico dos riscos presentes, estabelecer critérios e ações para monitoramento e ação antecipada, com o objetivo principal de diminuir a perda de vidas (MACEDO; OGURA; SANTORO, 2006).

A estruturação do PPDC se dá em quatro etapas distintas. A primeira trata da elaboração do plano em si, estabelecendo critérios técnicos, níveis de operação e ações correspondentes a cada nível. O segundo passo é a implantação do sistema, por meio do estabelecimento de procedimentos operacionais, estruturação de equipes e suas responsabilidades, definição do sistema de comunicação, levantamento dos recursos necessários e treinamento dos técnicos municipais e da população envolvida. A terceira etapa é a de operação e acompanhamento, onde devem ser detectados problemas do sistema. A última etapa trata da avaliação do plano, para que os problemas sejam corrigidos e o processo seja aprimorado para a próxima temporada de operação (CARVALHO; MACEDO; OGURA, 2007).

O Brasil, como signatário da IDNDR, também começa se preocupar com a questão dos desastres e do risco na década de 1990 (ALHEIROS, 2011). Nos anos 2000, foi criado o Ministério das Cidades, que articulava de forma transversal as três principais questões relacionadas aos centros urbanos - habitação, saneamento ambiental e transportes – e definia políticas gerais e intersetoriais integradas para tratar desses temas (MARICATO, 2006). O assunto do risco também foi contemplado, no momento em que o Ministério das Cidades criou um programa nacional para a gestão de riscos no ano de 2003, que estabeleceu três formas de ação principal: i) capacitação dos técnicos municipais ligados à defesa civil, obras e controle urbano; ii) convênio para a realização dos Planos Municipais de Redução

de Riscos (PMRRs); iii) difusão de informações e troca de experiências através de eventos nacionais (ALHEIROS, 2011).

Mesmo com o desenvolvimento de diversas ações voltadas à gestão de risco, grandes desastres ocorreram, tais quais Angra dos Reis, 2010, onde deslizamentos causados por chuvas torrenciais resultaram na morte de mais de 50 pessoas, em Santa Catarina, 2008, com inundações e deslizamentos que resultaram em mais de 100 óbitos, em Alagoas e Pernambuco, 2010, onde mais de 50 falecimentos foram registrados devido a inundações de grandes proporções, e no Rio de Janeiro, 2011, em que ocorreram deslizamentos e inundações bruscas na região serrana, onde o número de mortes ultrapassou a marca de 900 (CEPED, 2019).

Alheiros (2011) afirma que para a evolução da gestão de riscos no Brasil é necessária maior integração dos setores envolvidos, devido à sua grande complexidade e transversalidade. É necessário direcionar os esforços para a prevenção, por envolver menores gastos e melhores resultados. Além disso, deve-se buscar a universalização do modelo de ação de defesa civil, atualização de metodologias e adoção de novas tecnologias, com o intuito de providenciar melhoras no mapeamento e monitoramento dos riscos.

A lei federal nº 12.608 de 2012, que estabelece a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), traz justamente mudanças no sentido do que foi defendido por Alheiros (2011). A lei estabelece o foco na prevenção, inclui a perspectiva do risco no planejamento e ordenamento territorial como aspecto importante da gestão de risco, providencia meios de maior integração entre os diferentes órgãos públicos e autoriza a criação de um sistema nacional de monitoramento (BRASIL, 2012).

Um grande apoio para o estabelecimento de sistemas de alerta no Brasil foi a criação do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), ainda em 2011, hoje responsável por grande parte do monitoramento de chuvas e meteorológico, além da provisão de alertas para municípios (CEMADEN, 2019). O CEMADEN possui um papel central na Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (BRASIL, 2012), em que monitora atualmente mais de 900 municípios com risco de deslizamentos e inundações, sendo que muitos desses municípios dependem apenas do CEMADEN, por não possuírem estrutura própria de monitoramento climático (CEMADEN, 2019).

3.3 Mudanças climáticas, eventos extremos e monitoramento climático

Uma das funções mais importantes de um sistema de alerta é identificar quais e quando eventos extremos podem ocorrer, sejam terremotos, chuvas ou secas. Eventos extremos fazem parte da variabilidade normal do clima, além de serem possíveis deflagradores de desastres. Podem ser identificados pelo comportamento de uma variável (chuva, temperatura, etc.) acima ou abaixo de um limiar previamente definido a partir do histórico de variações observadas (LAVELL et al., 2012).

Os eventos extremos diferem no tempo e espaço, numa escala absoluta. Em diferentes locais os limiares utilizados para definir extremos variam de acordo com o histórico observado (LAVELL et al., 2012; SENEVIRATNE et al., 2012; IPCC, 2013). Há, em geral, duas formas de se delimitar os limiares: estatisticamente, com base no histórico observado; ou com base no período de retorno, período de tempo até que um evento de determinada magnitude se repita (SENEVIRATNE et al., 2012).

Além das intensidades dos eventos climáticos extremos e sua previsão, outra questão importante, em especial no curto prazo, é se a quantidade desses fenômenos está aumentando ou diminuindo com o tempo (MARENGO et al., 2009). Há cada vez mais evidências de que mudanças climáticas estão ocorrendo em nosso planeta (IPCC, 2012). As emissões antrópicas de Gases de Efeito Estufa (GEE) estão causando aumento nas temperaturas da atmosfera e nível dos oceanos. O resultado dessas mudanças, no clima e no ciclo hidrológico, se manifesta, por exemplo, pelo aumento no nível do mar e aumento na frequência de ocorrência de eventos climáticos extremos, como ondas de calor, tornados e chuvas torrenciais (KLIJN et al., 2015a).

Além dos impactos citados, a alteração do clima mundial pode trazer impactos na biodiversidade, na saúde da população, agricultura e geração de energia hidrelétrica. O aquecimento global deve exacerbar o problema das ilhas de calor urbano (ICU)⁹ nas regiões metropolitanas e grandes cidades, devido à radiação térmica retida por prédios e pelo asfalto (MARENGO; VALVERDE, 2007).

⁹ Ilha de Calor Urbano é um fenômeno caracterizado pelo aquecimento da área urbana em relação às zonas rurais de seu entorno. Esse acontecimento é causado principalmente pela absorção de calor das construções urbanas (concreto, asfalto, etc.) (AMORIM, 2005).

As alterações climáticas que vêm ocorrendo não podem ser atribuídas somente à variabilidade natural do clima, pois a interferência antrópica se mostra importante nesta variabilidade. As influências antrópicas vão além da emissão de GEEs, como as alterações do uso do solo, por exemplo, o desmatamento e a urbanização. Por esses motivos que a avaliação do clima futuro não pode se basear apenas nos cenários de clima, mas também nas mudanças socioeconômicas e ambientais que transcorrem no meio (MARENGO; VALVERDE, 2007).

Nobre e Young (2011, p.15) afirmam que “a mudança global do clima deverá afetar todos os aspectos da vida social no século XXI”. O aumento dos eventos climáticos extremos será fator importante no funcionamento do cotidiano urbano.

As mudanças climáticas são apontadas principalmente pela alteração das médias de variáveis climáticas, mas também a alteração de seu padrão de variabilidade (LAVELL, 2012). Dessa forma, as mudanças climáticas têm consequências diretas nos eventos climáticos extremos, alterando sua frequência, intensidade, extensão espacial e temporal e magnitude, podendo atingir limiares nunca ultrapassados (SENEVIRATNE et al., 2012).

A análise de eventos extremos no contexto de mudanças climáticas traz desafios únicos, não apenas pela natureza rara dos eventos, mas porque eles ocorrem invariavelmente em condições específicas (STOCKER et al., 2013). Como apontam Lavell et al. (2012), os eventos extremos podem se tornar mais raros ou comuns em diferentes condições climáticas. O que ocorre com a média de uma variável não representa necessariamente o que ocorre em seus extremos.

Muitos eventos climáticos extremos ocorrem devido à variabilidade natural do clima, e suas variações anuais e decadais são somadas às mudanças provenientes das interferências antrópicas. Mesmo sem a influência da humanidade no clima, os eventos climáticos extremos ocorrem naturalmente (SENEVIRATNE et al., 2012). Marengo et al. (2009) afirmam que não é possível atribuir às mudanças climáticas antrópicas a responsabilidade por um evento extremo específico, justamente pela chance destes ocorrerem devido às variações naturais do clima. Mas Lavell et al. (2012) colocam que, apesar de não podermos afirmar a relação causal entre as mudanças climáticas e a ocorrência de um evento extremo, é possível admitir que as mudanças influenciam na probabilidade de ocorrência de tal evento.

Eventos climáticos extremos são importantes deflagradores de desastres, como intensas precipitações que causam inundações e deslizamentos. Dessa forma, o provável aumento na ocorrência desses episódios extremos significa uma elevação no risco e conseqüente maior chance de desastres (TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009; LAVELL, 1996). Essa afirmação demonstra a importância do monitoramento e previsão do clima para o funcionamento de um sistema de alerta, e conseqüente mitigação do risco existente (TARPANELLI et al., 2017).

3.3.1 Monitoramento e previsão do clima e do tempo

O clima e tempo, embora analisem basicamente as mesmas variáveis, se diferenciam especialmente pela escala temporal. Enquanto o tempo está relacionado com a condição da atmosfera num dado momento e local, o clima trata da sucessão habitual das condições atmosféricas (tempo) medidas em longos períodos, o que caracteriza, por exemplo, as estações do ano (KOBAYAMA et al., 2006). Para o clima é possível realizar análises espaciais desde a escala local (quilômetros quadrados) até a escala global (planeta inteiro), e a análise do tempo de dá da escala local até a regional (centenas de quilômetros quadrados).

O monitoramento climático e do tempo se dá pela observação de diferentes variáveis como temperatura, precipitação, direção e velocidade do vento, radiação solar, umidade relativa do ar, entre outras (ZHOU et al., 2019). A medição dessas variáveis é feita por diferentes instrumentos, alguns específicos para apenas uma variável, como pluviômetros, e outros que conseguem apurar diferentes fatores, como balões, radares e satélites meteorológicos, que também possuem diferentes escalas temporais e espaciais de resolução. Por exemplo, satélites podem prover imagens para áreas muito maiores do que balões meteorológicos (FERREIRA, 2006).

Há dois principais tipos de satélites para monitoramento de variáveis climáticas: os geoestacionários, que orbitam a Terra na mesma frequência de sua rotação, permitindo o monitoramento de uma região específica do globo e com dados em tempo real; e os de órbita polar, que orbitam o planeta no eixo dos polos, gerando imagens de toda a superfície terrestre, normalmente a cada 12h (CPTEC, 2019; AHRENS, 2009). Segundo Ahrens (2009) a principal medição realizada pelos satélites é sobre a altura e densidade das nuvens, o que permite a observação de

sistemas climáticos e medida aproximada da velocidade do vento. Os satélites produzem imagens no espectro visível e também no infravermelho (GALINA; VERONA, 2004).

O radar, sigla para *Radio Detection And Ranging* (detecção e alcance de rádio), é um aparelho que emite pulsos eletromagnéticos e quando esses pulsos encontram um obstáculo são difundidos e uma parte retorna ao aparelho (FRAGOSO, 1996). As medições dos radares tem foco quantificação da precipitação, mas também conseguem diferenciar os tipos de nuvens e seu alcance possui um raio na faixa de centenas de quilômetros (GALINA; VERONA, 2004).

Além dos satélites e radares, as estações meteorológicas são muito utilizadas para o monitoramento do clima e tempo. Conforme o trabalho de Galina e Verona (2004), as estações meteorológicas podem ser automáticas ou convencionais, e são classificadas conforme as variáveis atmosféricas aferidas, em que as de primeira classe medem pressão atmosférica, precipitação, temperatura, radiação solar, direção e velocidade dos ventos, e as outras classes realizam medições de apenas algumas desses variáveis. Além disso, as estações meteorológicas podem ser divididas de acordo com o seu uso principal. Estações Sinóticas tem como função principal a previsão do tempo; as Climatológicas mensuram variáveis essenciais para o estudo do clima; Agrometeorológicas, que além do uso para previsão do tempo também realizam observações fenológicas; as Meteorológicas Aeronáuticas auxiliam no funcionamento de serviços aeronáuticos.

A partir das medições realizadas pelos equipamentos descritos é possível realizar a previsão do e do tempo. Ambas as previsões são realizadas a partir de modelos que analisam as variáveis atmosféricas. Os modelos são criados de acordo com o seu objetivo: existem modelos de previsão de mudanças climáticas de escala espacial global e escala temporal de cem anos (STOCKER et al., 2013) e há modelos de previsão do tempo para poucas horas. Atualmente a maioria das previsões do tempo é baseada em análises computacionais das diversas variáveis atmosféricas aferidas por todos os tipos de instrumentos, e são conhecidas como previsões numéricas do tempo (AHRENS, 2009).

Conforme Vuillaume et al. (2018) expõem, um dos aspectos mais importantes para o funcionamento de um sistema de alerta é a qualidade da previsão, sendo que quanto maior o tempo de previsão (horas, dias, meses, e, etc.), menor é a confiabilidade da mesma. Nos últimos anos têm ocorrido avanços tanto

na medição das variáveis quanto na qualidade dos modelos e conseqüentemente nas previsões feitas (HAPUARACHCHI; WANG; PAGANO, 2011). A partir dos aspectos expostos percebe-se como a previsão do clima e principalmente do tempo estão diretamente relacionados com os sistemas de alerta, em especial para os que tratam de perigos relacionados a eventos climáticos extremos.

3.4 Sistemas de alerta

A UNISDR (2009) define um sistema de alerta como o conjunto de capacidades e habilidades necessário para gerar e disseminar alertas com informações relevantes que possibilitem indivíduos, comunidades e organizações ameaçadas por um fenômeno adverso a se preparar e agir de forma apropriada em tempo suficiente para reduzir os danos e/ou prejuízos.

Um sistema de alerta é uma medida de mitigação de risco, que permite que pessoas tomem precauções e ações quando há a iminência de um evento que possa causar perdas (CALVELLO et al., 2015; SABER e YILMAZ, 2018). Quando alertas são emitidos de forma antecipada, o processo de resposta é adiantado e agilizado, reduzindo a possibilidade de perda de vidas humanas e, também de prejuízos econômicos, cumprindo seu principal objetivo (ACOSTA-COLL; BALLESTER-MERELO; MARTINEZ-PEIRO, 2018; COOLS et al., 2012). Segundo Nieland e Mushtaq (2016), sistemas de alerta têm contribuído para a diminuição de perdas econômicas e de vidas.

Apesar da aparente simplicidade, um sistema de alerta é algo complexo, que envolve e conecta diversos setores da sociedade como o Estado, a comunidade científica, a mídia e o público em geral. Para seu funcionamento é necessário planejamento, exercício e treinamento, sendo que uma quebra em seu processo, como uma falha na previsão ou comunicação, pode resultar num alerta ineficaz, podendo resultar em grandes perdas (SORENSEN, 2000). A eficácia de um sistema de alerta não depende apenas do período de alerta antes do fenômeno, dependendo também de que a informação seja entendida e que a população consiga se proteger (ACOSTA-COLL et al., 2018).

Segundo Acosta-Coll et al. (2018), existem quatro pilares essenciais para um Sistema de Alerta: conhecimento de risco; previsão e monitoramento; disseminação e comunicação; e preparo e resposta. Um bom sistema de alerta é composto por fortes conexões entre os diferentes setores envolvidos (CALVELLO et al., 2015).

Alguns aspectos necessários para a operação de sistemas de alerta são boas observações de campo (precipitação, vazão, temperatura, e, etc.), modelos confiáveis (previsão, comportamento hidrológico) e um bom tempo de antecipação para a disseminação do alarme (SABER; YILMAZ, 2018). A falta de redes adequadas de monitoramento e previsão, em especial em países em desenvolvimento, não permite que esses sistemas sejam desenvolvidos plenamente, diminuindo sua eficiência na redução de perdas humanas e prejuízos econômicos.

O Quadro 9 indica alguns atores importantes em cada elemento essencial de um sistema de alerta. Percebem-se as diferentes escalas dos atores envolvidos, que são reflexo da escala dos fenômenos que o sistema de alerta monitora. Devido à variedade e quantidade de atores que podem estar envolvidos num sistema de alerta, é necessária a integração entre esses atores, de forma que cada um saiba sua função e responsabilidade dentro do sistema.

Quadro 9 - Elementos e Atores chaves para um sistema de alerta.

Elemento chave	Ator chave
Conhecimento de Risco	Agências Internacionais, Nacionais e locais de gestão de desastres; Institutos meteorológicos e hidrológicos; Peritos em geociências; Cientistas sociais; Engenheiros; Planejadores urbanos; Comunidade acadêmica; Organizações e comunidades envolvidas na gestão de riscos; Agências internacionais da ONU
Previsão e Monitoramento	Serviços meteorológicos e hidrológicos; Centros especializados de monitoramento e aviso; Universidades e institutos de pesquisa; Fornecedores de equipamentos tecnológicos; Autoridades da telecomunicação;
Disseminação e Comunicação	Agências Internacionais, Nacionais e locais de gestão de desastres; Serviços meteorológicos e hidrológicos; Autoridades civis e militares; Mídia; Organizações comunitárias;
Preparo e Resposta	Organizações comunitárias; Escolas; Universidades; Mídia; Agências com conhecimento de ameaças; Agências Internacionais, Nacionais e locais de gestão de desastres; Agências internacionais da ONU

Fonte: Adaptado de UNISDR (2006).

3.4.1 Conhecimento de risco

Nesse primeiro passo, é necessário identificar quais são as ameaças existentes, a vulnerabilidade, exposição e risco da população, que podem ser obtidos a partir do histórico da área, aspectos ambientais e do meio físico, fatores sociais e econômicos (ACOSTA-COLL et al., 2018).

Embora a previsão exata de ocorrência de cada processo não possa ser exatamente delimitada, mapas de suscetibilidade identificam áreas de maior

probabilidade de ocorrência de fenômenos destrutivos (BAUM; GODT, 2010). De forma complementar, o mapeamento de risco permite um sistema de alerta priorizar e preparar algumas medidas de prevenção e resposta em localizações específicas (UNISDR, 2006). Com o conhecimento das áreas de maior probabilidade de ocorrência é possível delimitar zonas de alerta homogêneas, regiões que possuem características parecidas e devem receber os mesmos alertas, como no caso de áreas de risco de deslizamentos que possuam o mesmo limiar crítico (CALVELLO et al., 2015). Estudos em escalas menores devem ao menos proporcionar áreas uniformes que possam ser estudadas na escala adequada para emissão de alertas (CASTELLANOS ABELLA; VAN WESTEN, 2007).

No Brasil, com a proposição dos PMRRs, diversos mapeamentos de risco foram desenvolvidos a partir de uma metodologia que foi amplamente divulgada pelo Ministério das Cidades (ALHEIROS, 2011). O método de mapeamento de risco difundido se baseia principalmente em visitas de campo para identificação de setores de risco, seguindo um roteiro que possibilita identificar fatores que influenciam na ocorrência de deslizamentos e inundações (CARVALHO; MACEDO; OGURA, 2007).

Sorensen (2000) ressalta a importância do conhecimento dos processos e ameaças presentes para o desenvolvimento de um sistema de alerta eficaz, pois os procedimentos, níveis de alerta, ações de preparo e respostas são específicos, em sua maioria, para cada tipo de ameaça. Além disso, o autor reitera que um sistema de alerta deve atender as especificidades que cada ameaça impõe em sua previsão e resposta, como a necessidade de botes para resposta a inundações no resgate de pessoas ilhadas.

3.4.2 Monitoramento e previsão de ameaças

Na última seção foi ressaltada a importância do conhecimento de onde podem ocorrer eventos destrutivos, mas para a previsão dos acontecimentos e tomada de decisão é necessário que também seja estimado o momento que tais eventos possam ocorrer (TERLIEN, 1998). Para que essas ocorrências possam ser previstas é necessário saber os agentes deflagradores, para que estes possam ser monitorados, também é preciso ter uma base científica para poder prever os fenômenos e ser capaz de produzir alertas assertivos e com tempo suficiente para que as instituições e a população consigam agir (UNISDR, 2004).

O monitoramento e previsão é uma tarefa que apresenta alguns desafios, como a ausência de dados históricos, interrupção na base de dados, fragilidade dos modelos de previsão e ausência de rede de instrumentos de medição em escala adequada, entre outros obstáculos (HAPUARACHCHI; WANG; PAGANO, 2011). Devido às dificuldades encontradas, há muitas pesquisas sobre monitoramento e previsão de fenômenos que podem se tornar desastres, como os exemplos apresentados a seguir.

No Japão, Omi et al. (2018) apresentam um protótipo de previsão em tempo-real de pequenos terremotos, que acontecem logo após grandes tremores. Na China há estudos que trabalham a previsão de neblina marítima na costa, trabalhos que procuram identificar condições que produzem eventos de nevasca intensa e prever tufões com base em análise diária do clima (HUANG et al., 2019; YANG et al., 2019; ZHOU et al., 2019). Ameaças antrópicas também são estudadas, como Li et al. (2019) mostram um sistema de alerta para explosões de gás ou carvão baseado em medidores de emissão acústica. Devido à grande diversidade de estudos sobre a previsão e monitoramento de fatores deflagradores, como os exemplos citados acima, este trabalho focou nas previsões de inundações e deslizamentos, pois são os fenômenos mais comuns na área da bacia do córrego Guarará.

Um fator chave para a previsão é a identificação, monitoramento e medição dos agentes deflagradores de inundações e deslizamentos (CALVELLO et al., 2015). A chuva é o principal fator detonante de deslizamentos (CASTELLANOS ABELLA; VAN WESTEN, 2007; TATIZANA et al., 1987a e 1987b; GUIDICINI; IWASA, 1976). Além de potencializar a chance de deslizamentos, chuvas intensas também podem resultar em inundações e alagamentos (CALVELLO et al., 2015). Dessa forma, fica clara a importância da medição e previsão de precipitação tanto na ocorrência de deslizamentos quanto de inundações (HAPUARACHCHI; WANG; PAGANO, 2011), conceitos que serão discutidos de maneira mais ampla à frente.

A seção de monitoramento tem a responsabilidade de medir e observar as variáveis meteorológicas e hidrológicas de interesse (BALIS et al., 2011). Apesar de alguns índices e fatores serem essencialmente medidas das variáveis de interesse, alguns alertas precisam de processamento dessas medições, sendo importante a existência, num sistema de alerta, de um grupo com esta tarefa (KRZHIZHANOVSKAYA et al., 2011). A incerteza é um aspecto intrínseco da previsão, portanto entender as imprecisões de cada previsão é essencial para que o

mínimo de erros e o máximo de acertos sejam obtidos, já que a precisão é fator importante de um sistema de alerta (HAPUARACHCHI; WANG; PAGANO, 2011). A capacidade dos sistemas de alerta para a gestão de risco tem crescido substancialmente com a chegada de tecnologias com dados em tempo real (BELABID et al., 2019)

Atualmente há duas formas comuns de monitoramento: medidas em tempo real (ou quase) feitas por pluviômetros ou previsões do tempo, que incluem temperatura, vento, umidade e precipitação. Pluviômetros são aparelhos que medem a precipitação líquida expressa em milímetros durante um período de tempo (ACOSTA-COLL et al., 2018). As previsões do tempo podem ser feitas por modelos baseados em radares ou satélites. Ambos funcionam obtendo imagens a partir de diferentes tipos de sensores, a diferença principal entre eles é a resolução, maior para radares, e o alcance, maior para satélites.

Crítérios de previsão de inundações

Hapuarachchi, Wang e Pagano (2011) afirmam que para as inundações, em especial as bruscas, a previsão de quantidade de precipitação é o principal item de avaliação para a emissão ou não de uma alerta, e que durante o século XXI, redes de observação do tempo têm se expandido, possibilitando uma melhora na previsão de chuvas intensas. Também é ressaltada pelos autores a importância na utilização de modelos hidrológicos ou hidráulicos, que possibilitam a previsão de vazão e, também da área de inundação, apesar de as previsões ainda possuírem grande incerteza.

O método mais comum para a obtenção de previsões de inundações é a utilização de modelos hidrológicos de escoamento e vazão, calibrados com dados de chuva de pluviômetros, que com a previsão de precipitação podem indicar se haverá ou não o extravasamento nos corpos d'água da área analisada (ALFIERI et al., 2012). Zhai et al. (2018), em seu trabalho, utilizam um modelo hidrológico e dados de umidade do solo para prever os picos de vazão e provável momento de inundação.

Condições iniciais são de extrema importância para um modelo hidrológico. Zehe e Blosch (2004) realizaram um estudo na escala de microbacia, 3,6km² no caso, de previsão de resposta hidrológica, variação da vazão, para diferentes condições iniciais de umidade do solo. Os autores concluíram que há grande

influência dessas condições iniciais na forma como a vazão se comporta em seu exutório.

Embora dados de satélites e radares sejam vistos como o futuro do monitoramento e previsão de inundações, os dados de pluviômetros ainda são mais confiáveis. As redes de pluviômetros, na maioria dos casos, não cobrem todo o espaço necessário, por isso o uso conjugado de dados de satélites e radares têm sido cada vez mais comum (BELABID et al., 2018).

Saber e Yilmaz (2018) estudaram estimativas de precipitação produzidas por radares meteorológicos e compararam com a chuva de pluviômetros, apresentando resultados de que as previsões de precipitação feitas por satélites, após calibração com os dados de chuva reais, podem ser importantes num sistema de alerta para inundações, principalmente pela sua antecipação, se comparada a apenas acompanhar a precipitação em tempo real nos pluviômetros.

No Brasil, estudos demonstraram que eventos de precipitação extrema são associados a dois sistemas de larga escala: as frentes frias e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). A partir dessa relação, os dados de satélite, que podem prever esse tipo de sistema, podem ser mais utilizados (DOLIF; NOBRE, 2012).

Mesmo que o monitoramento e a previsão tenham evoluído bastante durante os últimos anos, alguns desafios ainda se apresentam (BRUNETTI et al., 2018). Apesar da previsão quantitativa de precipitação já existir, a estimativa da intensidade, extensão e vazão de uma inundação ainda é muito difícil (BELABID et al., 2018). Liu et al. (2018) relatam a complexidade de prever inundações em pequenas bacias, com altas declividades, que dependem em grande parte do clima local e microclima, escalas em que há maior incerteza na previsão. Da mesma forma, eventos de pequena escala altamente dependentes de picos de chuva local, que são muito difíceis de serem previstos, continuam um desafio para a ciência, pois a previsão a partir de previsões numéricas de precipitação produzem mais alarmes falsos do que acertos, sendo mais alvo de pesquisas do que realmente utilizado na operação de sistema de alerta (ALFIERI et al, 2012).

Outro desafio que se apresenta é a deficiência na rede de pluviômetros (BELABID et al., 2018) que dificultam o acompanhamento da chuva numa maior escala espacial e também influencia numa modelagem hidrológica menos confiável,

pois numa mesma área de estudo podem haver valores muito discrepantes quanto à precipitação (HAPUARACHCHI; WANG; PAGANO, 2011; CALVELLO et al., 2015).

Por último, o desafio de se prever inundações em ambiente urbano é grande, pois o comportamento do escoamento superficial e a interação da chuva com as diferentes estruturas antrópicas não é facilmente modelado (KRØGLI et al., 2018; REED, SCHAAKE e ZHANG, 2006). Uma alternativa é a junção da previsão da precipitação por satélites ou radares e o monitoramento próximo de tempo real. A partir do histórico de precipitações, com dados horários, e ocorrências, pode ser delimitado uma intensidade limítrofe que ocasiona inundações. No caso de previsões de chuvas intensas, há um sinal de atenção que indica a necessidade do acompanhamento da precipitação com os dados de pluviômetros automáticos, com medições na faixa de minutos. Ao verificar que a precipitação nesse intervalo de tempo está acima do limiar de intensidade, alertas podem ser emitidos a população. Com o acompanhamento da precipitação o alerta pode ser mantido ou retirado, conforme a variação da intensidade.

Limiares de precipitação para previsão de deslizamentos

Como exposto no início do capítulo, a chuva é um dos principais fatores de deflagração de deslizamentos, o que leva a existência de uma vasta literatura da relação de precipitação e deslizamentos (ALVIOLI et al., 2018; SEGONI; PICIULLO; GARIANO, 2018; OLIVEIRA et al., 2016; MOLINA; CARDOSO; NOGUEIRA, 2015; SANTORO et al., 2010; SORENSEN, 2000; TERLIEN, 1998; GUIDICINI; IWASA, 1976), sendo que limiares de precipitação são utilizados ao redor do mundo todo para a previsão de deslizamentos induzidos pela chuva (MELILLO et al, 2018). Dessa forma, faz-se essencial o conhecimento do comportamento e distribuição da chuva no tempo e espaço para análises de correlação (MENDES et al, 2015).

A infiltração da água da chuva pode levar a um estado de saturação crítico do solo, e resultar num deslizamento, causado por uma falha na estabilidade da encosta (GUIDICINI; IWASA, 1976). Segundo Tatizanaet al. (1987a e 1987b) o aumento do peso, que ocorre pela saturação do solo, ocasiona um aumento das forças atuantes, diminui a coesão e resistência ao cisalhamento do solo. Cada episódio de chuva aumenta a frente de saturação do solo, pelo aumento da umidade e condutividade hidráulica causadas pela chuva anterior (GUIDICINI; IWASA, 1976). As diferentes profundidades dos deslizamentos estão conectadas com a quantidade

e duração da precipitação, de modo que eventos curtos e intensos podem causar deslizamentos rasos, enquanto eventos de maior duração, apesar de menor intensidade, podem movimentar camadas mais profundas do solo (ALFIERI et al., 2012). Por isso as chuvas podem ser consideradas agentes de instabilização instantâneos ou progressivos (TATIZANA et al. 1987a e 1987b).

É importante ressaltar que há diversos fatores que influenciam na ocorrência de deslizamentos além da precipitação, como os citados por Guidicini e Iwasa (1976):

- *Forma e inclinação das encostas;*
- *Natureza da cobertura vegetal;*
- *Características e estado dos solos/rochas;*
- *Natureza geológica do meio;*
- *Tensões internas;*
- *Abalos naturais ou induzidos; e*
- *Ação antrópica da ocupação.*

Apesar da importância ressaltada da água como um fator deflagrador, existem outros fatores que influenciam na ocorrência de deslizamentos. Os primeiros cinco itens listados acima podem ser descritos como agentes predisponentes, que condicionam maior ou menor suscetibilidade do terreno à deslizamentos, enquanto os últimos dois são considerados agentes efetivos, que são os responsáveis por deflagrar os escorregamentos (TOMINAGA, 2009). A precipitação intensa pode ser considerada um agente efetivo, pois funciona como o agente de indução do movimento de massa.

Os limiares de precipitação deflagradores de deslizamentos são obtidos, no método mais comum, pela análise de chuvas, por meio de dados de pluviômetros, e observando quais dessas ocasionaram deslizamentos ou não (TERLIEN, 1998). Num primeiro momento é necessário estabelecer uma correlação entre chuvas e deslizamentos que indicará quais valores de chuva têm maiores chances de deflagrar deslizamentos, e a partir desses valores de chuva são estabelecidos níveis de alerta para a emissão de avisos e alarmes para a população (CALVELLO et al., 2015).

Segoni, Piciullo e Gariano (2018) fazem uma revisão da literatura recente (2008-2016) sobre limiares de precipitação para previsão de deslizamentos. Alguns fatores essenciais devem ser indicados e observados em cada método de análise de correlação chuva-deslizamento conforme apontam os autores:

- O número e tipo de deslizamentos;
- Extensão da área;
- Contexto geomorfológico;
- Fontes dos dados;
- Período de análise; e
- Densidade e escala temporal das medições de precipitação.

Os dados de chuva podem ser obtidos de diferentes fontes. Apesar da evolução na precisão da previsão de precipitação por radares e satélites, os pluviômetros ainda são os dados mais confiáveis e por isso, mais utilizados para se chegar aos limiares de precipitação (BRUNETTI et al, 2018). Assim como a fonte dos dados é importante, os critérios de escolha dos pluviômetros também devem ser claros (SEGONI; PICIULLO; GARIANO, 2018). Por exemplo, se foi escolhido o pluviômetro por proximidade ou se só havia um equipamento disponível.

A extensão da área é outro fator importante, pois indica qual a possibilidade de uso daquele limiar num sistema de alerta. Segundo o trabalho de Guzzetti et al. (2007), existem três escalas em que são calculados limiares de precipitação para deslizamentos: global, regional e local. Conforme os autores explicam, a escala global estabelece um limite geral para o mundo, em que deslizamentos são prováveis de acontecer a partir de certo valor de precipitação, que independe de morfologia, litologia, uso do solo ou regime de chuvas. A escala regional estabelece o limiar para áreas de no mínimo mil quilômetros quadrados com características similares de clima, fisiografia e solo, podendo ser utilizados em sistemas de alerta em conjunto com previsão de precipitação numérica (satélites/radares). Limiares locais consideram o clima local, a geomorfologia e se aplicam a áreas de até algumas centenas de quilômetros quadrados. Terlien (1998) defende que os limiares utilizados para sistemas de alerta devem ser locais, calculados para cada região, justificando que as diferentes características de cada lugar resultarão em diferentes limiares.

O aspecto mais importante é quais medidas dos eventos chuvosos são utilizadas para se chegar ao limiar, e observando os trabalhos presentes na revisão feita por Segoni, Piciullo e Gariano (2018), os valores mais utilizados são de intensidade-duração (~49%); chuva antecedente (~27%); e precipitação acumulada do evento-duração do evento (~16%). Não há um único método para essa previsão, pois devem ser consideradas as diferentes características da área estudada, tipo de deslizamento e dados disponíveis.

Diversos trabalhos têm apresentado novas perspectivas na previsão de deslizamentos a partir da chuva. Por exemplo, Mirus et al. (2018) incluem medidas hidrológicas de subsuperfície, em especial a medida de umidade do solo em tempo real, para prever de forma mais exata o momento de ocorrência de deslizamentos. Melillo et al. (2018) produziram um algoritmo que, a partir de dados de chuva e deslizamentos, calcula um limiar de chuva automaticamente com base em dados de precipitação e duração do episódio de chuva.

Num estudo sobre a interferência das mudanças climáticas nos limiares de chuva que causam deslizamentos, Alvioli et al. (2018) chegaram à conclusão que deverá haver mudanças nesses limiares, alterando os locais com maior probabilidade de sofrerem deslizamentos. Também foi observado pelos autores que existe maior probabilidade de influência da chuva acumulada do que da duração do evento de precipitação deflagrador.

A partir de medições de precipitação em tempo real e mapas de suscetibilidade a deslizamento, Segoni et al. (2018) sugerem um método automático de avaliação de perigo. Combinando três diferentes níveis de precipitação e suscetibilidade, os autores determinam cinco níveis de perigo, e a partir daí delimitam zonas de alerta, devido aos diferentes limiares de chuva encontrados na região estudada. Os autores sugerem que o método pode ser facilmente incluído num sistema de alerta, a partir da observação e atualização da precipitação e do processamento dos valores junto ao mapa de suscetibilidade, seria possível a apresentação de um mapa de perigo atualizado em tempo real.

No Brasil, um trabalho pioneiro foi o de Guidicini e Iwasa (1976), que analisaram a relação das chuvas e deslizamentos para a Serra do Mar. No trabalho em questão, foram obtidas quatro faixas de comportamento com base na porcentagem de chuva do evento em relação à média de precipitação anual (MPA). Uma faixa em que sempre há escorregamentos (acima de 20% da MPA), duas

intermediárias, sendo uma em que há maioria de casos de escorregamentos (entre de 12% e 20% da MPA) e outra que há menor probabilidade de ocorrer deslizamentos (entre 8% e 12% da MPA) e a faixa de segurança, em que não há ocorrência de deslizamentos (abaixo de 8% da MPA). Além dessas faixas há a constatação de maior importância na deflagração destes eventos da precipitação anterior de até sete dias.

Outro trabalho de grande importância no cenário brasileiro é o de Tatizana et al. (1987a, e 1987b), que teve como foco definir “*o número de dias anteriores que apresenta influência efetiva nos escorregamentos e a relação numérica entre acumulada de chuva e intensidade horária para os casos de escorregamentos*” (TATIZANA et al., 1987a, p. 7). No trabalho, concluiu-se que o número de dias de maior influência para deflagrar deslizamentos é quatro (96h). Além disso, é sugerido que os eventos de chuva que representam maior perigo são os contínuos com picos de intensidade em sua porção final. Neste trabalho foram utilizados dados de chuva horária, permitindo maior análise sobre o tipo de chuva e a sua intensidade, e dando maior confiabilidade nos limites de chuva estabelecidos. Esse trabalho tem grande influência até os dias de hoje. Seguindo esse método foram elaborados limiares críticos de precipitação acumulada para três dias (72h) para mais de cem municípios do Estado de São Paulo durante os períodos chuvosos das respectivas regiões. Os valores sugeridos atualmente são: Região de Campinas - 60; Região da Baixada Santista - 80; Região do Litoral Norte - 100; Região de Sorocaba - 60; Região do Vale do Paraíba – 80; Região da Serra da Mantiqueira - 60; RMSP (Guarulhos, ABCD, Osasco) – 80mm e São Paulo (Capital) – 60mm (IG, 2017).

Santoro et al. (2010) realizaram uma análise de dados de chuva e deslizamentos entre os anos de 2000 e 2010, com a intenção de avaliar o uso desses limiares críticos para os municípios do Estado de São Paulo. Os autores chegaram à conclusão de que é necessário adotar limiares críticos inferiores, diminuindo a faixa de valores em 20mm, resultando em valores que vão de 60mm a 100mm acumulados em 72h, de acordo com a região.

No estudo de Mendes et al. (2015), feito na cidade de São José dos Campos, constatou-se que muitos dos deslizamentos ocorreram com chuvas entre 10mm e 50mm, abaixo dos limiares sugeridos por Santoro et al. (2010). A ocorrência de deslizamentos nessa faixa de 10mm a 50mm de precipitação se dá geralmente pela indução causada por fatores antrópicos como: direcionamento inadequado das

águas servidas; desmatamento com plantio de roças; instalação de fossas negras; disposição de lixo e entulho (PARIZZI et al., 2010, apud MENDES et al., 2015). Para o caso específico do trabalho de Mendes et al. (2015), os autores sugerem a adoção de limiares mais conservadores, em que a intensidade não exceda 20mm. Ainda é ressaltado no trabalho discutido que a correlação descrita precisa de mais estudos para ser confirmada, devido à baixa confiabilidade dos dados pluviométricos, e que é apenas válida para deslizamentos induzidos por interferências antrópicas.

Oliveira et al. (2016) produziram limiares de chuva para o município de Nova Friburgo, após o desastre de 2011. Os índices utilizados foram de acumulados de chuva em diferentes períodos (24h, 48h, 72h, 96h). Além disso, no artigo é comparada a precipitação medida com a previsão de satélite, concluindo-se que os dados do satélite e de precipitação têm correlação. Esse resultado abre a possibilidade de utilização de previsões de satélites num sistema de alerta, dado que essas previsões podem ser feitas entre 48h e 72h de antecedência.

No trabalho de Mendes et al. (2017) é feito um estudo de caso de um deslizamento, incluindo uma análise de fatores antrópicos, no caso a carga e possível vazamento proveniente de uma caixa d'água. Os autores concluem que mesmo se estivesse ocorrendo o monitoramento da área em relação à possibilidade de deslizamento, não seriam emitidos alertas. Dessa forma, entendem que os parâmetros atuais utilizados para a emissão de alertas devem ser calibrados considerando fatores antrópicos, aumentando assim a qualidade do sistema de alerta.

Desde o trabalho de Guidicini e Iwasa (1976), é reconhecida a influência de alterações antrópicas na quantidade de chuva necessária para deflagrar deslizamentos. Essa perspectiva é reforçada pelos trabalhos de Santoro et al. (2010), Molina, Cardoso e Nogueira (2015) e Mendes et al. (2015), em que o último chega a propor alterações nos limiares para regiões urbanizadas. Ainda há o estudo de Mendes et al. (2017) que confirma que sem a consideração da influência antrópica, os limiares utilizados em sistemas de alerta podem não detectar a ocorrência de deslizamentos, o que resulta em alertas perdidos, que podem significar a perda de vidas humanas. Além dessa dificuldade em lidar com deslizamentos em encostas alteradas pela forma de ocupação, o estabelecimento dos locais específicos, principalmente nos ocasionados por chuvas intensas de

caráter local, ainda não é possível (DIXON et al., 2018). Da mesma forma, um obstáculo que se apresenta é a definição do momento em que acontecerá o deslizamento, o que produz incerteza para um sistema de alerta, principalmente na definição do momento de emissão dos avisos (ALFIERI et al., 2012).

3.4.3 Níveis de alerta e tomada de decisão

Após a definição dos limiares e valores críticos para monitoramento, é necessário relacionar cada patamar ou nível dos aspectos monitorados com um nível de alerta. O monitoramento das variáveis necessárias é feito por pessoas e os diferentes cenários de previsão e monitoramento requerem que decisões sejam tomadas por esses técnicos sobre a emissão ou não de um alerta (ALFIERI et al., 2012). Além de decidir o nível de alerta, os operadores do sistema de alerta decidem por quanto tempo os alertas serão válidos baseados na atualização das medições e previsões (CALVELLO et al., 2015). Uma forma de estabelecer um guia para a tomada de decisão é a decisão de níveis específicos, bastando o acompanhamento das previsões meteorológicas e monitoramento em tempo real, como no exemplo apresentado no Quadro 10.

Quadro 10 - Níveis de alerta e parâmetros monitorados.

Símbolo	Nível	Parâmetros
	Aviso de Inundação Severa	$P3h \geq 150\text{mm}$; $Hn \geq 200\text{cm}$; $Vn \geq 4.0 \text{ m/s}$; $\lambda < 0.3$.
	Aviso de Inundação	$100\text{mm} \leq P3h < 150\text{mm}$; $100\text{cm} \leq Hn < 200\text{cm}$; $3.0 \text{ m/s} \leq Vn < 4.0 \text{ m/s}$; $0.3 \leq \lambda < 0.5$.
	Alerta de Inundação	$50\text{mm} \leq P3h < 100\text{mm}$; $50\text{cm} \leq Hn < 100\text{cm}$; $2.0 \text{ m/s} \leq Vn < 3.0 \text{ m/s}$; $0.5 \leq \lambda < 0.7$.
	Alerta de Inundação	$30\text{mm} \leq P3h < 50\text{mm}$; $20\text{cm} \leq Hn < 50\text{cm}$; $0.5 \text{ m/s} \leq Vn < 2.0 \text{ m/s}$; $0.7 \leq \lambda < 0.9$.
	Sem Alerta	$P3h < 30\text{mm}$; $Hn < 20\text{cm}$; $Vn < 0.5 \text{ m/s}$; $\lambda \geq 0.9$.

Legenda: P3h = acumulado de 3h; Hn = área submersa; Vn = Velocidade de fluxo; λ = Índice de gestão eficiente e integrada do controle de inundações. Fonte: Feng e Li (2018)

Em alguns casos não é possível estabelecer parâmetros específicos e muita responsabilidade da decisão de subir um nível de alerta ou emitir ou não uma mensagem de alarme recai sobre o técnico em plantão no momento, que utiliza sua experiência e conhecimento pessoal para tomar uma decisão (ENGELBRECHT et al., 2011; DOLIF et al., 2012).

Wernstedt et al. (2018) expõem que os operadores de sistemas de alerta trabalham num cenário de grandes incertezas, mas o processo de tomada de decisão realizado por eles ainda é pouco entendido. Os autores destacam diversos aspectos que podem comprometer o processo de tomada de decisão. O primeiro deles é a possível interpretação equivocada dos dados recebidos por meio do monitoramento. É apontado também que situações familiares levam a boas decisões, mas contextos diferentes do normal podem levar a erros. Outro fator que os autores discutem é a diferença na interpretação de informações numéricas apresentadas de diferentes formas ou representadas como ganhos ou riscos. Para facilitar e melhorar as respostas dos operadores é sugerido pelos autores que existam parâmetros técnicos específicos, como os apresentados no Quadro 10, mas que também sejam incluídos na tomada de decisão os conhecimentos e experiências pessoais de cada um.

Outro estudo que se dedica as tomadas de decisão realizadas pelos operadores é o de Dolif et al. (2012), que analisa o sistema ALERTA-RIO, sediado no Rio de Janeiro. Os autores ressaltam que além do cenário de incerteza no trabalho de um técnico de um sistema de alerta, existe uma grande dinamicidade, devido às atualizações nas previsões, e, também situações que exigem decisões num curto espaço de tempo, e que essas decisões são importantes e geram consequências a eles, à população e às instituições envolvidas. Muitas vezes os operadores precisam tomar decisões baseadas em informações deficitárias, o que resulta numa fragilidade do sistema como um todo. Assim, é necessário que o apoio à tomada de decisão seja baseado em estratégias que possam lidar com situações inesperadas, de emergência (prazo curto) e às vezes sem informação suficiente para uma tomada de decisão satisfatória. O último ponto ressaltado é a importância da arquitetura do sistema e da sua forma de funcionamento, considerando os diferentes níveis institucionais e etapas.

No Brasil são comuns os PPDCs, que funcionam durante o período de chuvas e têm como foco principal a previsão de deslizamentos. Dentro do PPDC está previsto a elaboração de um sistema de alerta com base em critérios específicos, baseados em estudos de correlação de precipitação-escorregamento e modelagem geológica/geotécnica. Mas além do sistema de alerta e a definição dos seus níveis de alerta, existem outras etapas essenciais à prevenção, como o preparo técnico da equipe de monitoramento ou o treinamento das equipes de emergência, que são apresentados na próxima seção, pois são ações relacionadas ao preparo e resposta (CARVALHO; MACEDO; OGURA, 2007). De qualquer maneira, os níveis estabelecidos para o plano preventivo podem servir de guia para a delimitação dos diferentes graus de alerta de um sistema.

3.4.4 Preparo e resposta

Após a delimitação dos diferentes níveis presentes no sistema de alerta é necessário definir quais são as atividades e ações que devem ser tomadas antes, durante e após as ocorrências. Essas atividades são identificadas dentro de um sistema de alerta como o pilar de preparo e resposta (UNISDR, 2006). As ações de preparo incluem todas as atividades necessárias para que uma comunidade reaja a um evento adverso (ACOSTA-COLL et al., 2018). Essas ações entram no rol de

medidas não estruturais, integrantes da gestão de risco (CARVALHO; MACEDO; OGURA, 2007).

O primeiro ponto para que a comunidade esteja preparada para reagir é o conhecimento de estar numa área de risco, assim a educação preventiva é essencial (NIELAND; MUSHTAQ, 2016). No estudo de Mendes et al. (2017), a principal causa do deslizamento estudado foi a presença de um vazamento de uma caixa d'água no topo de um talude de corte, o que poderia ser evitado com ações educativas nas comunidades, informando e permitindo que ações mitigadoras fossem tomadas previamente.

Uma das medidas mais simples de resposta às ameaças é a evacuação da população em risco para um local seguro, nos casos em que esse procedimento seja possível (CALVELLO et al., 2015). Para que ações desse tipo sejam tomadas e funcionem, é necessário que a população tenha conhecimento das rotas e que tenha apoio das entidades responsáveis (DIXON et al., 2018).

A integração das diversas instituições envolvidas no preparo, atendimento e resposta a desastres é essencial, pois com a integração, além de facilitar a acessibilidade às informações, planos de contingência para situações de crise são elaborados e executados de melhor maneira, sendo essencial que existam etapas de treinamento para todos os atores envolvidos, como a população e agência de assistência e socorro (ALFIERI et al., 2012).

A maioria das ações voltadas para o preparo e resposta no Brasil faz parte dos PPDCs. O principal objetivo do PPDC é evitar as fatalidades, a partir de medidas como a remoção preventiva e temporária da população em risco (AMARAL et al., 2015). O PPDC é concebido operacionalmente para possibilitar ações preventivas antes da ocorrência de deslizamentos ou inundações (MACEDO; OGURA; SANTORO, 2006).

O monitoramento e previsão estão previstos no PPDC, assim como a organização dos critérios para alteração de nível de alerta, e as ações que devem ser tomadas, que são apresentados no Quadro 11. É necessário ressaltar que para o funcionamento do plano de forma correta e eficiente, todas as partes envolvidas devem estar cientes de suas responsabilidades, bem como estarem treinadas para realizarem suas funções, o que não ocorre se não houver o preparo adequado.

Quadro 11 - Organização do Plano Preventivo de Defesa Civil.

NÍVEL DO PLANO	CRITÉRIO DE ENTRADA NO NÍVEL	AÇÕES A SEREM EXECUTADAS PELO MUNICÍPIO	AÇÕES A SEREM EXECUTADAS PELO APOIO TÉCNICO
OBSERVAÇÃO	Início da operação do plano.	<ul style="list-style-type: none"> -Conscientização da população das áreas de risco; -Obtenção do dado pluviométrico; -Cálculo do acumulado de chuvas; - Recebimento da previsão meteorológica; -Transmissão para o apoio técnico do dado pluviométrico e nível vigente; -Avaliação da necessidade de MUDANÇA DE NÍVEL. 	<ul style="list-style-type: none"> -Manter técnicos em plantão para acompanhamento e análise da situação; - Enviar previsões meteorológicas.
ATENÇÃO	Quando o acumulado de chuvas ultrapassar o valor de referência combinado com a previsão meteorológica.	<ul style="list-style-type: none"> -Declarar MUDANÇA DE NÍVEL; -Comunicar a o apoio técnico sobre MUDANÇA DE NÍVEL; -Realizar VISTORIAS de campo visando verificar a ocorrência de deslizamentos e feições de instabilização. Devem ser iniciadas pelas áreas de risco; -Obtenção do dado pluviométrico; -Cálculo do acumulado de chuvas; - Recebimento da previsão meteorológica; -Transmissão ao apoio técnico do dado pluviométrico e nível vigente; -Avaliação da necessidade de MUDANÇA DE NÍVEL. 	<ul style="list-style-type: none"> -Manter técnicos em plantão para acompanhamento e análise da situação; - Enviar previsões meteorológicas.
ALERTA	Quando as vistorias de campo indicarem a existência de feições de instabilidade ou mesmo deslizamentos pontuais.	<ul style="list-style-type: none"> -Declarar MUDANÇA DE NÍVEL; -Comunicar o apoio técnico sobre MUDANÇA DE NÍVEL; -Realizar VISTORIAS de campo; -RETIRADA da população das áreas de risco iminente; -Obtenção do dado pluviométrico; -Cálculo do acumulado de chuvas; - Recebimento da previsão meteorológica; -Transmissão ao apoio técnico do dado pluviométrico e nível vigente; -Agilizar os meios necessários para POSSÍVEL retirada da população das demais áreas de risco; -Avaliação da necessidade de MUDANÇA DE NÍVEL. 	<ul style="list-style-type: none"> -Deslocamento de técnicos para acompanhamento da situação e avaliação da necessidade de medidas complementares. - Enviar previsões meteorológicas.
ALERTA MÁXIMO	Quando ocorrerem deslizamentos generalizados.	<ul style="list-style-type: none"> -Declarar MUDANÇA DE NÍVEL; -Comunicar o apoio técnico sobre MUDANÇA DE NÍVEL; -Proceder a retirada da população das áreas de risco e demais áreas necessárias; -Obtenção do dado pluviométrico; -Cálculo do acumulado de chuvas; - Recebimento da previsão meteorológica; -Transmissão ao apoio técnico do dado pluviométrico e nível vigente; -Avaliação da necessidade de MUDANÇA DE NÍVEL. 	<ul style="list-style-type: none"> -Deslocamento de técnicos para acompanhamento da situação e avaliação da necessidade de medidas complementares. - Enviar previsões meteorológicas.

Fonte: Carvalho, Marcedo e Ogura (2007).

Para que as ações de resposta sejam eficazes é desejável que exista planejamento e estrutura do plano de atendimento, integrado com uma política de gestão de risco. É importante também a capacitação das equipes técnicas para a localização e análise dos perigos presentes nas áreas de risco (NOGUEIRA, 2006).

Esse aspecto dos sistemas de alerta deixa claro como as partes envolvidas devem estar integradas. Desde o conhecimento de risco, com os mapeamentos de risco elaborados pela própria equipe técnica do município ou por equipe contratada, o preparo e resposta, que estabelece as ações necessárias para o atendimento às

emergências, e definição dos critérios técnicos para os níveis de alerta e seu monitoramento e por último a estrutura que irá enviar os alertas a população e as equipes envolvidas no suporte às ocorrências.

3.4.5 Disseminação e comunicação

Com a definição de todos os parâmetros de monitoramento e os critérios para a emissão de alerta, é necessário tratar de como a informação será transmitida à população. A disseminação se refere ao envio da mensagem, ou seja, se ela vai alcançar as pessoas que precisam da informação, enquanto a comunicação trata de se a mensagem e a informação contida foram entendidas pelo público (WMO, 2010). Os alertas devem ser enviados com o máximo de antecedência possível em relação à ameaça, para que o máximo de pessoas possível receba a mensagem e possa tomar atitudes de precaução (ACOSTA-COLL et al., 2018).

A forma como cada população recebe a mensagem é específica e varia bastante. Comunidades que nunca sofreram com enchentes ou deslizamentos provavelmente terão um tempo maior de resposta em relação à população de locais acostumados com esses fenômenos (NIELAND; MUSHTAQ, 2016).

Existem alguns mitos sobre a emissão de alertas e a resposta do público ao recebê-los, que Sorensen (2000) aborda e refuta. O primeiro é o de que a população entra em pânico ao receber um alerta, o que não é verdade para a maioria das situações. Em segundo, operadores receiam a emissão de alarmes falsos, mas apenas em casos de repetidos alarmes falsos a população apresenta uma diminuição na resposta à ameaça. Também existe a crença de que apenas um porta-voz é uma boa prática, contudo, a população em risco precisa receber as informações de diferentes fontes e agências, como redes sociais, televisão e rádio, desde que a informação seja concisa. De forma otimista, há uma confiança de que as pessoas irão reagir imediatamente ao receber um alarme e seguir fielmente as instruções indicadas, entretanto é mais comum a reação apenas na maior certeza da presença da ameaça e seguirão as orientações se elas fizerem sentido para o senso comum.

O fator primordial da disseminação é a utilização de canais múltiplos de comunicação, para que exista certeza do recebimento da mensagem pelas pessoas em risco e, além disso, as fontes de informações devem possuir credibilidade frente

ao público, para que a população tome as atitudes assim que a mensagem for recebida (ACOSTA-COLL et al., 2018)

Dixon et al. (2018) diferenciam algumas nomenclaturas e formas de disseminação. Sirenes e luzes piscantes, conhecidos como alarmes, são uma forma de comunicação direta, utilizada especificamente nos locais prováveis de atingimento da ameaça, e que necessita que a população tenha conhecimento do significado das sirenes e luzes. Sistemas de aviso funcionam melhor para ameaças que possuem uma progressão que pode ser identificada, permitindo que profissionais analisem as informações e emitam um alerta para a comunidade em risco. Outra forma de comunicação são as previsões, que podem ser disponibilizadas ao público em domínios públicos, e nesse caso é a população quem procura pela informação.

Na pesquisa realizada por Nieland e Mushtaq (2016), ao entrevistar pessoas atingidas por uma inundação, foi identificada a necessidade de diversidade de canais de comunicação, como televisão, rádio e websites. Em outro trabalho, de Lam et al. (2017), realizado em Hong-Kong, foi perguntado à população qual seria o meio preferido para o recebimento de alerta, e os resultados foram: televisão - 52%; *Facebook*- 18.9%; *WhatsApp*- 9.6%; Rádio-8.2%; *Sites* de Notícias - 6.1%; *Sites* do Governo - 2.9%. Além disso, foi encontrada uma predileção de pessoas acima de 65 anos pela televisão e rádio, e nas redes sociais pelos outros pesquisados, e não foi encontrada diferença de gênero. Essas informações podem ser úteis no momento de estabelecer qual o meio de informação primordial para uma comunidade específica.

Durante a ocorrência de desastres é possível que ocorra a interrupção de alguns meios de comunicação, o que é mais um argumento para a necessidade de existência de mais de um meio de comunicação (ACOSTA-COLL et al., 2018)

No estudo feito por Nieland e Mushtaq (2016), a maioria da população entrevistada afirmou ter recebido avisos de clima severo, mas não de ocorrência de inundações, portanto não houve a clareza da informação de que o clima poderia levar a inundações, que de fato ocorreram. Nesse caso claramente a disseminação funcionou, mas a comunicação não. O desenvolvimento de uma linguagem que seja acessível à população é essencial, pois a maioria da população não possui o conhecimento técnico sobre as ameaças, como deslizamentos e inundações (BAUM; GODT, 2010).

A efetividade da comunicação depende não só do recebimento da mensagem, mas se as pessoas que a receberam serão capazes de interpretar, entender e tomar as atitudes necessárias para se proteger (NIELAND; MUSHTAQ, 2016). Para que a comunicação seja atingida é necessário que o conteúdo dos alertas seja curto, compreensível e responda questões como “O quê? Onde? Quando? Como responder?” (WMO, 2010).

É possível estabelecer protótipos de mensagens, que deixem claras todas as informações necessárias, para que a disseminação possa ocorrer de forma rápida, sem que informações sejam esquecidas (SORENSEN, 2000). As mensagens devem possuir informações críticas de qual o perigo, a localização e a área provável que será atingida, prazo para início do fenômeno, a severidade desse fenômeno, potencial de destruição, população afetada, duração do alerta e onde obter orientações (ALFIERI et al., 2012).

A emissão de alertas periódicos e constantes e que possuam base científica, como boletins diários de previsão do tempo são ações que auxiliam na comunicação (ACOSTA-COLL et al., 2018).

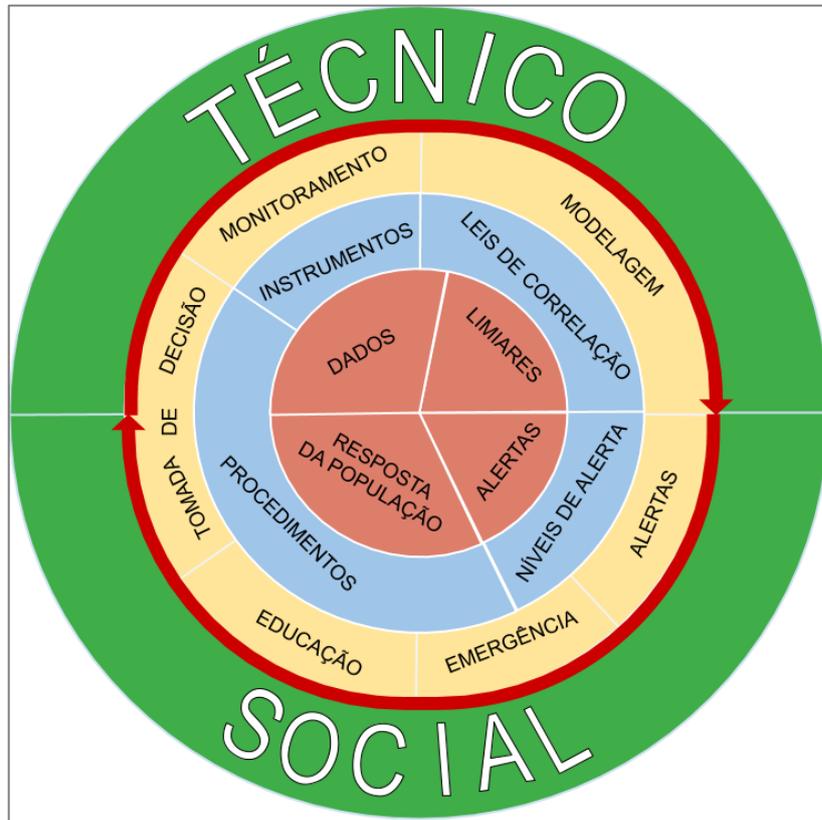
3.4.6 Arquitetura de um Sistema de Alerta

Nas seções anteriores foram apresentados os principais componentes e etapas que existem num sistema de alerta. Mas para que um sistema funcione de maneira correta e eficiente, não basta cada parte funcionar de forma isolada. É necessário que cada elemento cumpra sua função e se relacione com as outros de forma coesa e integrada, pois uma quebra no processo pode refletir numa falha no objetivo final, que é o de alertar e proteger a população (SORENSEN, 2000).

Os quatro pilares de um sistema de alerta, como descrito por UNISDR (2006), que são o conhecimento de risco, monitoramento e previsão, disseminação e comunicação e preparo e resposta, formam um conjunto de atividades e estruturas inter-relacionadas como representado na Figura 4. Existem muitos fatores envolvidos para implantar e gerir um sistema de alerta. A parte técnica, que envolve todo o conhecimento de risco e monitoramento e previsão, define quais serão os parâmetros medidos, a modelagem das variáveis para definir os limiares, todo o manuseio de dados e parte da tomada de decisão. Os pilares de disseminação e comunicação e preparo e resposta estão relacionados, principalmente, com a parte

social, como a educação para entendimento dos alertas, a linguagem utilizada nos alertas, a interação das equipes de emergência com a população.

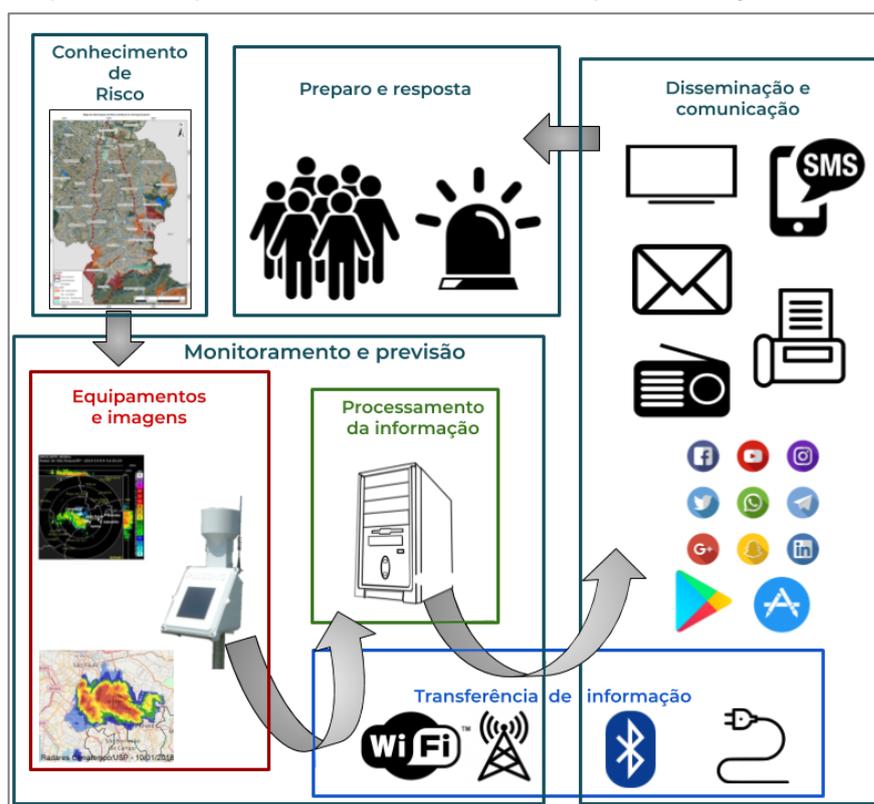
Figura 4 - Esquema de gestão e design de um sistema de alerta.



Fonte: Calvello et al. (2015).

A arquitetura genérica de um sistema de alerta envolve o conhecimento prévio de riscos, como mapas de perigo e risco, os equipamentos que fazem parte do monitoramento, como radares e pluviômetros, a parte de comunicação e disseminação, formas e meios de comunicação, e por último o preparo e resposta envolvendo as comunidades e as agências de emergência. A Figura 5 apresenta um modelo básico de arquitetura de um sistema de alerta para deslizamentos e inundações.

Figura 5 - Arquitetura simplificada de um sistema de alerta para inundações e deslizamentos



Fonte: Adaptado de Acosta-Coll et al. (2018).

Segundo Baum e Godt (2010), para o desenvolvimento e operação de um sistema de alerta, o primeiro passo é a disponibilidade dos mapas de suscetibilidade, perigo ou risco dos fenômenos que ocorrem na área estudada. A etapa seguinte consiste no estabelecimento das variáveis que devem ser monitoradas, como valores de previsão numérica de precipitação ou a precipitação em tempo real, e quais os valores críticos desses parâmetros que implicam no disparo de alertas.

Após a definição dos parâmetros é preciso definir os equipamentos de monitoramento desses parâmetros. Há diversos aspectos que devem ser considerados na escolha do método de monitoramento, como alcance, escala, resolução e custo, e hoje em dia existem muitas opções, como o uso de radares/satélites meteorológicos ou pluviômetros automáticos (CALVELLO et al., 2015).

Um sistema de alerta adequado deve possuir confiabilidade dos dados de monitoramento e que estes estejam disponíveis rapidamente, para que seja possível o processamento da informação e, quando necessário, os avisos à população sejam propagados o mais rápido possível (CASAGLI et al., 2010). Mas nem sempre há a

disponibilidade de dados na escala ideal, nesse contexto, em muitas vezes é necessário que os operadores e/ou tomadores de decisão utilizem de seu conhecimento e experiência da região, e baseado na melhor informação disponível, definam se o alarme deve ou não ser disparado (COOLS et al., 2012).

Casagli et al. (2010) apresentam uma tecnologia diferente de se monitorar áreas suscetíveis a deslizamentos. Os autores utilizam uma tecnologia que chamaram de GB-InSAR (Radar de Abertura Sintética Instalado no Terreno), que funciona com um radar que percorre um trilho e fornece imagens de uma encosta, oposta ao local de instalação. A partir do processamento e análise das imagens produzidas pelo equipamento é possível identificar pequenas movimentações no terreno que são indicadores de deslizamentos, melhorando a disseminação de um alarme. É importante ressaltar que se trata de uma tecnologia de alto custo e que não é fácil de ser implementada.

Pelo fato de muitas das tecnologias de monitoramento serem de alto custo, Dixon et al. (2018) buscaram uma alternativa de baixo custo para o monitoramento de encostas, propondo um equipamento de medição de emissão acústica. Além de baixo custo, o sistema proposto pelos autores busca preencher alguns critérios definidos pelos autores como de suma importância para um sistema de alerta em comunidades vulneráveis de baixa renda: facilidade de instalação e uso; operar em diferentes condições; monitorar em escalas temporais e espaciais adequadas; ser autossustentável e precisar de pouca manutenção; operar em tempo real; e ser confiável. O parâmetro monitorado é a emissão acústica, que ocorre durante um processo de deslizamento. Para isso é utilizado um tubo metálico preenchido com material que potencializa a emissão acústica, sendo possível medi-la. Quando o parâmetro excede o limiar crítico, automaticamente é emitido um sinal de alarme (sirenes e luzes) na própria encosta em que o equipamento está instalado.

Embora existam essas novas alternativas citadas, para o monitoramento de deslizamentos e acompanhamento de seus respectivos limiares críticos de chuva, o mais comum ainda é a utilização de dados de pluviômetros. No caso de áreas com uma rede observacional pequena ou falha no equipamento local, o uso de produtos de satélite e radares pode ser uma alternativa, apesar de menor confiabilidade (BRUNETTI et al., 2018).

Outra parte importante da arquitetura dos sistemas de alerta é o fornecimento de energia e forma de transferência dos dados para cada equipamento

de monitoramento, em especial equipamentos *in-situ*, como pluviômetros e sensores de vazão. É necessário sempre ter um sistema auxiliar de energia e comunicação, pois durante chuvas intensas, por exemplo, é comum falhas na rede de fornecimento que podem atrasar o alerta ou até mesmo não acontecer alerta nenhum. Nesse contexto, uma alternativa é a utilização de painéis fotovoltaicos nos equipamentos (ACOSTA-COLL et al., 2018).

Com o contínuo crescimento do uso de aparelhos celulares, em especial *smartphones*, e também da *internet* (POSHTER, 2016) essas passam a ser alternativas importantes na disseminação de alertas à população, mesmo no Brasil, já que o número de *smartphones* já é igual ao de habitantes (LIMA, 2018). As aplicações possibilitadas pelo uso desses aparelhos são várias. No trabalho de Choi, Cui e Zhou (2018), um aplicativo para celulares foi desenvolvido para o acompanhamento e alertas de deslizamentos. A partir de um mapa de suscetibilidade a deslizamentos é possível enviar alertas instantâneos quando um usuário do aplicativo entra numa região de alta suscetibilidade durante uma chuva que pode causar deslizamentos. Além do uso para alertas, é possível que as próprias pessoas insiram a localização e fotos de um deslizamento que estão próximas, o que passará pela verificação de um pesquisador ou técnico para confirmação. Outro uso possível é a utilização do celular para enviar um pedido de socorro diretamente para as agências de defesa civil e resposta a desastres e emergências. Apesar de a utilização de *smartphones* abrir novas portas para o desenvolvimento de sistemas de alerta, há limitações como a necessidade de as pessoas terem um aparelho compatível, instalarem o aplicativo ou estarem com a localização (GPS) ativa. Dessa forma, é preciso que sejam feitas análises antes de implantar essa tecnologia num sistema de alerta, preferencialmente não sendo o meio de informação principal.

Na pesquisa de Cools et al., (2018) os alertas podem ser apenas mensagens simples, uma imagem com as áreas em risco no momento ou um relatório gerado automaticamente, que são enviados primeiramente a um operador. Esse operador tem a função de validar o alerta, verificando a situação com técnicos de campo ou possíveis erros nos equipamentos e medições. Sendo confirmada a condição de alerta, as informações são retransmitidas aos tomadores de decisão, para que iniciem as atividades de resposta. A automatização e existência de um procedimento claro nos momentos críticos auxiliam os operadores e técnicos,

diminuindo a possibilidade de erros causados por stress ou pressa (ALFIERI et al., 2012). É importante ressaltar como o preparo e capacidade institucional também são fatores primordiais para a eficiência de um sistema de alerta, não apenas o desempenho tecnológico (COOLS et al., 2012). Portanto, a integração de todos os aspectos envolvidos num sistema de alerta é essencial. Suas partes, científica, técnica, de gerenciamento, tecnológica e social devem estar conectadas e funcionar de forma dinâmica e conjunta, pois uma quebra nesse processo pode representar uma falha na emissão de um alerta (SORENSEN, 2000).

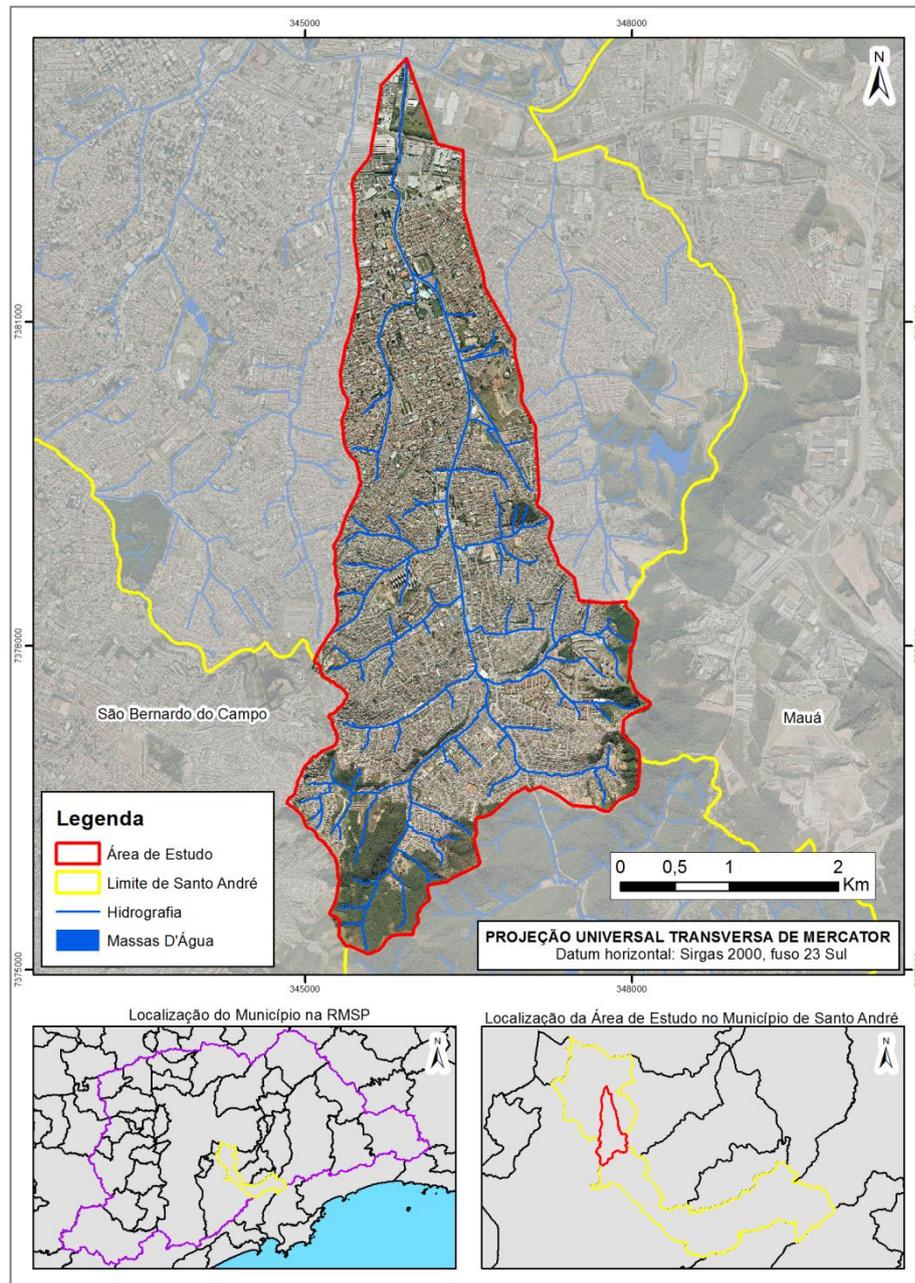
Após a implementação de um sistema de alerta, é muito importante que seja realizada, periodicamente, uma avaliação da sua performance, para verificar sua eficiência, e obter possíveis erros na escolha de equipamentos ou do processo institucional (ACOSTA-COLL et al., 2018).

Além da avaliação da parte técnica, estrutural e tecnológica é preciso que, após alguma ocorrência, seja feita uma avaliação com a população atingida, para identificar possíveis falhas na disseminação e comunicação dos alertas, pois a percepção da comunidade é essencial, afinal eles que sofrem as maiores consequências dos desastres (NIELAND; MUSHTAQ, 2016).

4. BACIA DO CÓRREGO GUARARÁ

A bacia hidrográfica do córrego Guarará está localizada inteiramente no município de Santo André (porção sudeste da RMSP) e faz parte da sub-região do Tamanduateí/Billings da Bacia do Alto Tietê. A região de sua cabeceira está próxima do Parque do Pedroso, enquanto a sua foz deságua no rio Tamanduateí. A Figura 6 apresenta o mapa da área de estudo.

Figura 6 - Bacia do córrego Guarará.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1 Meio físico

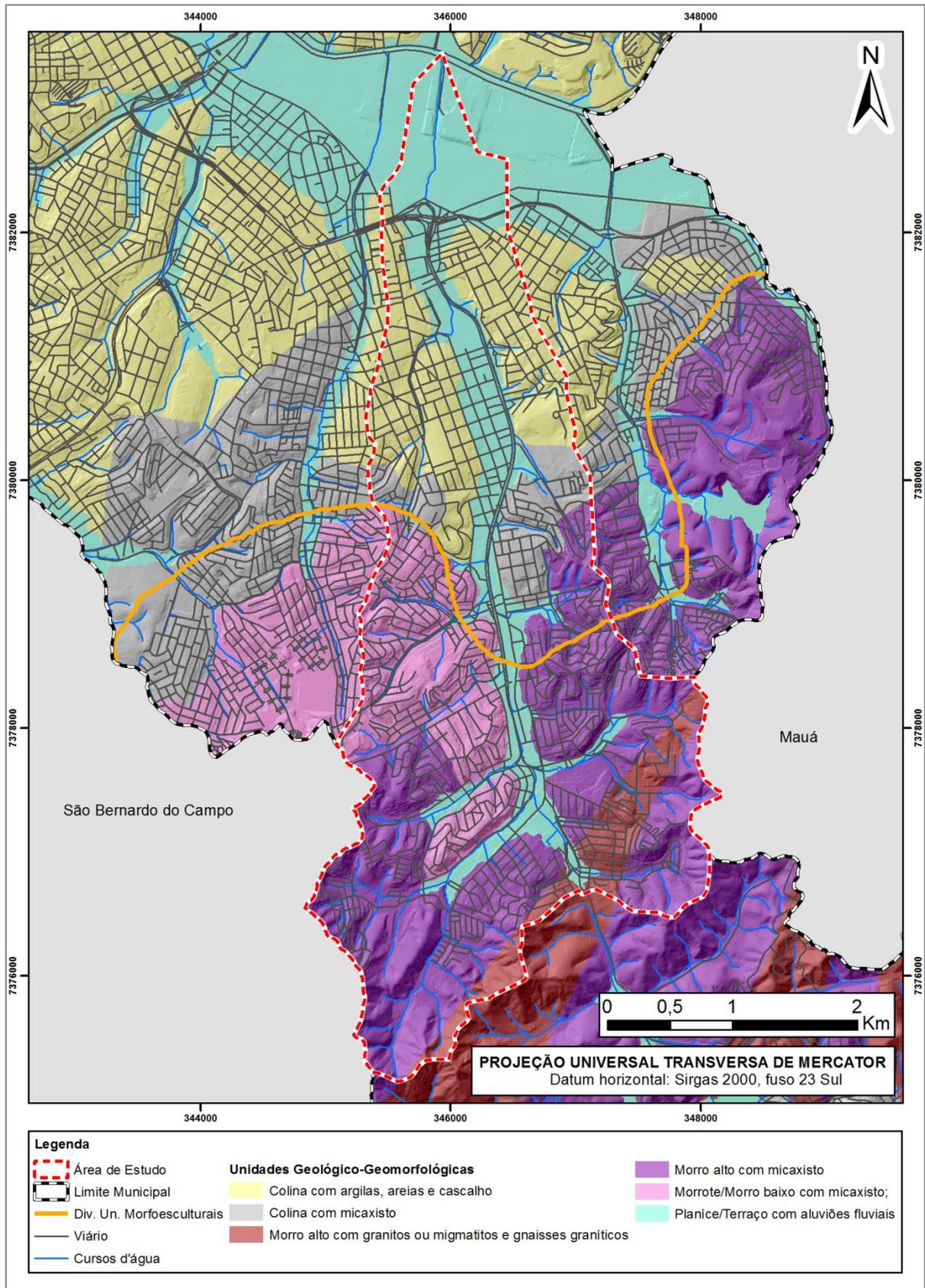
A bacia do córrego Guarará possui 13,4 km² de área, com forma alongada e triangular. Na direção norte-sul seu comprimento é de pouco mais de 8 km, e na direção leste-oeste sua maior extensão é de 3km, na região de montante (sul). Situa-se na divisa entre duas unidades morfoesculturais, segundo Ross e Moroz (2011). A primeira unidade é o planalto de São Paulo, na porção jusante da área da bacia do córrego Guarará, com predominância de colinas e patamares aplanados, com altitudes entre 700m e 800m. A outra unidade é o planalto Paulistano/Alto Tietê, na região das cabeceiras do Guarará, com altimetria entre 800m e 1000m e predomínio de morros altos e médios. O mapa de unidades geológico-geomorfológicas, Figura 7, reitera essa divisão de relevo. Em sua porção jusante, as planícies e terraços aluvionares do córrego Guarará se juntam às do rio Tamandateí e há o predomínio de colinas e as vertentes com declividades de até 15%. Na área sul da área de estudo, região das nascentes, há um estreitamento da planície aluvionar do Guarará, que está cercada por morros altos e baixos, e as declividades próximas ao canal principal chegam a 30%, enquanto nos morros as declividades ultrapassam os 30% com frequência. Trata-se de área com intensa ocorrência de deslizamentos, principalmente em bairros com assentamentos precários, como Jardim Irene e Cata Preta (UFABC, 2016a).

Foram levantados dados do canal principal da bacia, Quadro 12, que foram utilizados para o cálculo de alguns parâmetros morfométricos, Quadro 13.

Quadro 12 - Dados do canal principal da bacia do Córrego Guarará.

Dados	Valores
Área	13,4 km ²
Perímetro	21,4 km
Comprimento total dos córregos	46563m
Comprimento do canal principal	9132m
Diferença de altitudes (Nascente-Foz)	136m
Declividade média do canal	1,49%
Dimensão vetorial da bacia	8263m
Nº Total de Cursos D'água	86

Figura 7 - Unidades Geológico-Geomorfológicas.



Fonte: Adaptado de UFABC (2016b).

Quadro 13 - Parâmetros morfométricos da bacia do córrego Guarará.

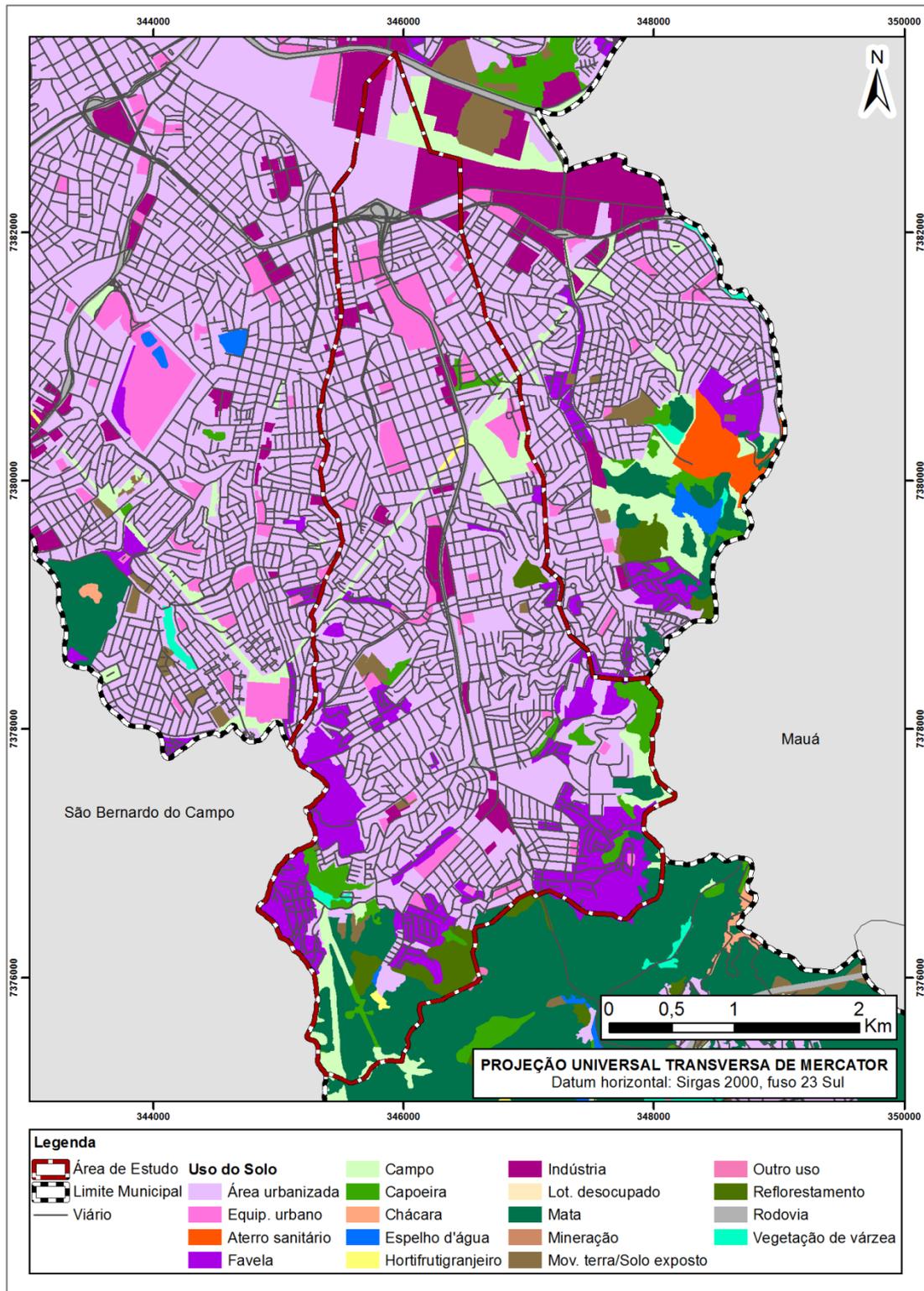
Parâmetro	Valores	Unidade
Densidade de Rios	6,4	Nº/Km ²
Densidade de Drenagem	3,5	km/km ²
Declividade equivalente	14,9	m/km
Índice de sinuosidade	1,11	Adim.
Coefficiente de Compacidade	1,64	Adim.
Fator de forma	0,161	Adim.
Índice de circularidade	0,367	Adim.

Os valores de densidade de drenagem e densidade de rios indicam que a bacia do córrego Guarará é bem drenada, o que significa uma resposta rápida entre precipitação e vazão (SOUZA et al.,2015). O córrego Guarará possui uma alta declividade, da ordem de metros por quilometro, reflexo das altas declividades presentes em sua cabeceira. A declividade do canal influencia diretamente na velocidade do escoamento, em que a precipitação na região das nascentes alcançará de maneira rápida a porção jusante, de menor declividade (TOMAZ, 2011). O índice de sinuosidade, próximo de um, indica um canal retilíneo, o que influencia positivamente no aumento das velocidades de escoamento (PINTO JUNIOR; ROSSETE, 2005). Tanto o coeficiente de compacidade, acima de um, quanto o índice de circularidade, mais próximo de zero, indicam uma bacia com uma forma não propensa a inundações graduais, assim como o fator de forma próximo de zero, indica uma bacia com forma alongada e não circular (SOUZA et al., 2015).

4.2 Aspectos da urbanização

A urbanização na bacia do córrego Guarará aconteceu sem o devido planejamento territorial, de forma que a população ocupou áreas de margens de córregos e com declividades acima dos 30% (NEVES, 2008). A bacia do córrego Guarará possui mais de 80% de sua área classificada com usos urbanos (área urbanizada, equipamento urbano, indústria, favela ou rodovia), segundo a classificação do mapa de uso do solo apresentado na Figura 8. As áreas urbanizadas representam mais de 60% e a classe de favela ocupa mais de um décimo da área da bacia. As áreas vegetadas (mata, capoeira, vegetação de várzea, campo, reflorestamento) representam apenas 15% da área, e a maior parte delas está localizada na região das cabeceiras do córrego Guarará.

Figura 8 - Uso do solo na bacia do córrego Guarará.



Fonte: UFABC, (2016b).

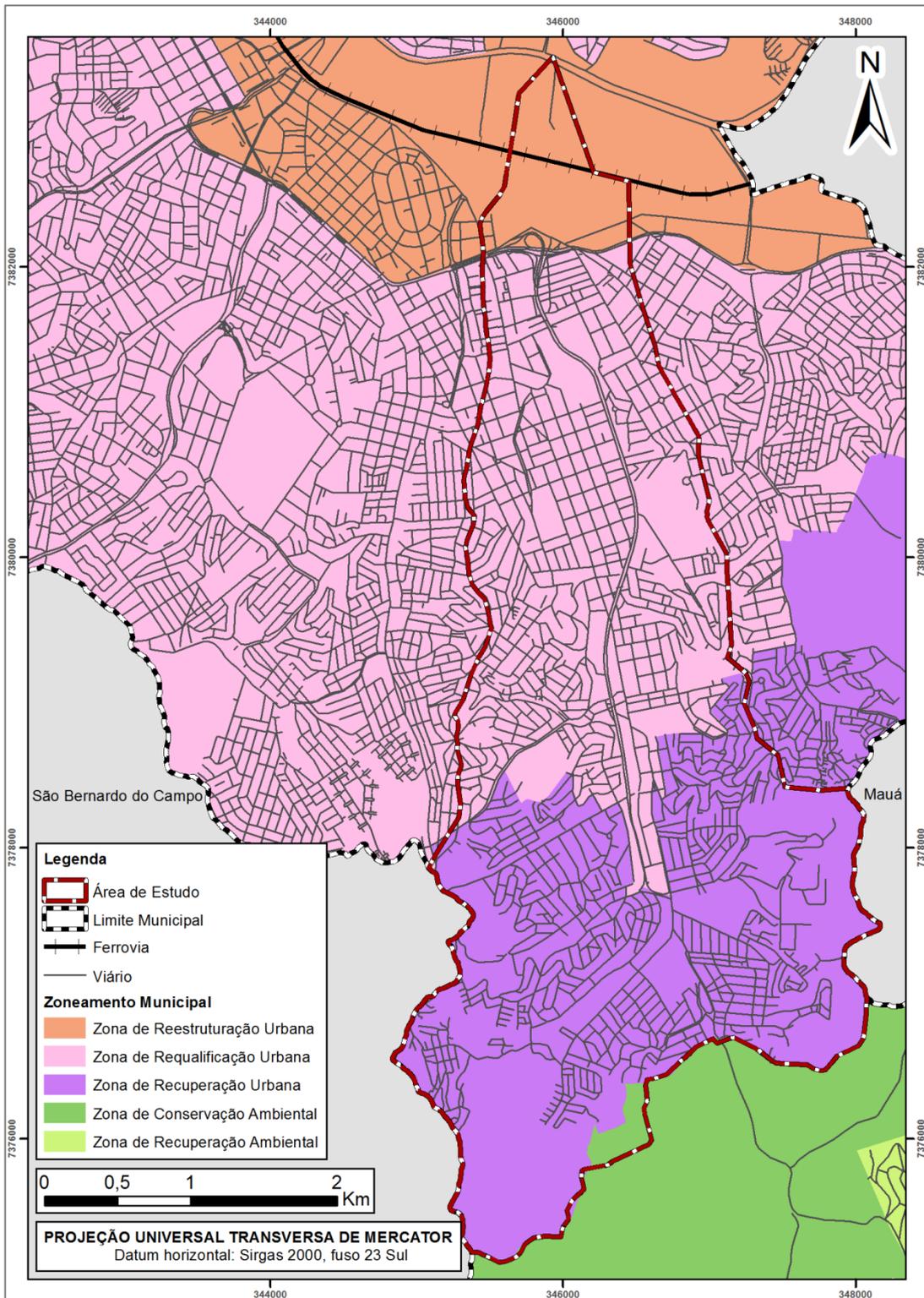
O alto grau de urbanização traduz uma alta taxa de impermeabilização do solo, bem como alta parcela de canalização dos córregos da região, em alguns casos cobertos. O córrego sofre com processos de erosão e assoreamento,

principalmente devido à urbanização desordenada, que ocorre na porção montante da bacia, onde está localizada a maior parte das áreas de favelas. Esses fatores somados resultam no grande número de ocorrências de inundação ao longo de toda a área de drenagem do córrego Guarará (UFABC, 2016a). Além das inundações, a ocupação desordenada também resulta em ocorrências de deslizamentos, devido à ocupação de áreas ambientalmente sensíveis, como os morros altos, localizados em sua porção sul.

O zoneamento do Plano Diretor Municipal (SANTO ANDRÉ, 2014) apresenta predomínio de três zonas na área da bacia do córrego Guarará, Figura 9. Embora quase a totalidade da bacia esteja urbanizada, os padrões construtivos são diferentes, assim como seus usos. A Zona de Reestruturação Urbana está localizada entre a Av. Pedro Américo e a foz do Guarará, na Av. dos Estados, e atualmente possui a predominância de usos industriais e de comércio de grande porte, como hipermercados e atacadistas. Segundo o Art. 42, do Plano Diretor Municipal, essa zona tem como objetivos implantar novos usos; mapear e recuperar áreas contaminadas; requalificar a paisagem e o ambiente; e valorizar o Rio Tamandateí e integrá-lo aos planos de macrodrenagem (SANTO ANDRÉ, 2014). Essa zona está localizada na margem do rio Tamandateí, sendo necessário, no caso de mudança de uso, atenção para a mitigação e adaptação dos novos usos às ameaças de inundações.

A Zona de Requalificação Urbana caracteriza-se por áreas de urbanização consolidada, predominantemente residencial, que não necessitam de grandes alterações e intervenções. Tem como objetivos segundo o Plano Diretor municipal, permitir e ordenar o adensamento populacional e construtivo; evitar a saturação do sistema viário e; ampliar os espaços verdes e equipamentos e serviços públicos (SANTO ANDRÉ, 2014). Essa zona compreende a porção média da área de estudo, com predominância de colinas e morros baixos, conforme o mapa de unidades geológico-geomorfológicas. O relevo suave e as baixas declividades foram facilitadores de uma urbanização adequada. Embora o uso esteja consolidado e não sejam necessárias grandes intervenções, nessa zona há um grande número de ocorrências de inundação, principalmente, ao longo das planícies aluvionares do córrego Guarará.

Figura 9 - Zoneamento Municipal do Plano Diretor.



Fonte: Adaptado de Santo André (2014).

A última classe é a Zona de Recuperação Urbana, que possui as áreas com alta densidade populacional, carência de infraestrutura e equipamentos públicos, e alta presença de assentamentos precários. Nessa zona está localizada a maioria

das favelas, como apresentado no mapa de uso do solo (Figura 8). A cabeceira do Guarará, que sofreu um processo de urbanização desordenada, está inserida nessa Zona, que tem como objetivos melhorar a infraestrutura básica e implantar equipamentos públicos e de lazer; promover a urbanização e regularização fundiária, principalmente nos núcleos de baixa renda e; conter a ocupação de áreas de importância ambiental (SANTO ANDRÉ, 2014). O relevo dessa zona é composto principalmente por morros altos e por declividades acima de 30%. Esses fatores em conjunto com a forma de ocupação precária resultam num grande número de deslizamentos.

A Figura 10 identifica os usos predominantes nas diferentes zonas, identificados por meio de trabalho de campo. A Zona de Reestruturação Urbana está apresentada na Figura 10(A). A predominância de uso na Zona de Qualificação Urbana está representada na Figura 10(B). É possível notar a baixa declividade, por se tratar de área da margem do córrego Guarará, e a urbanização consolidada. Embora seja grande o número de assentamentos precários, na Zona de Recuperação Urbana não há um padrão construtivo único. Existem bairros com padrão construtivo médio, mas que possuem uma infraestrutura incompleta ou deficiente, situação apresentada na Figura 10(C). Os assentamentos precários ocupam tanto encostas, Figura 10(D), quanto áreas marginais de córregos, Figura 10(E), em que em alguns trechos, notou-se até o confinamento do corpo d'água causado por construções irregulares sobre seu leito.

Figura 10 - Diferentes usos na Bacia do Guarará.



(A) Lotes Grandes; (B) Padrão Construtivo Médio; (C) Padrão Construtivo Baixo; (D) e (E) Assentamentos Precários; Fontes: (A) Google Street View (2017); (C) e (E) UFABC(2016b); (B) e (D) Acervo próprio, 16/07/2018.

Do trabalho de campo, foi notado que a região mais vulnerável da bacia do córrego Guarará é a Zona de Recuperação Urbana, como a própria descrição deixa claro, sendo que os tipos de vulnerabilidade, segundo Wilches-Chaux (1993), mais perceptíveis são a física, a ecológica, a técnica, e econômica. O meio físico demonstra a vulnerabilidade física da região, com as maiores declividades presentes nessa porção da área de estudo. Enquanto a ocupação de áreas de várzea e a alta porcentagem de área urbanizada se refletem na vulnerabilidade ecológica, o padrão construtivo é um indicador da vulnerabilidade técnica e também econômica. Ao

longo da Zona de Qualificação Urbana foi percebida como predominante a vulnerabilidade física, em que foram encontradas ruas com desnível em relação ao máximo nível do canal principal, Figura 11(A). Apesar da vulnerabilidade física, foi observado um nível de adaptação, como comportas nos acessos às casas, Figura 11(B).

Figura 11 - Vulnerabilidade física a enchentes (A) e adaptação (B).



Fonte: Acervo próprio, 16/07/2018.

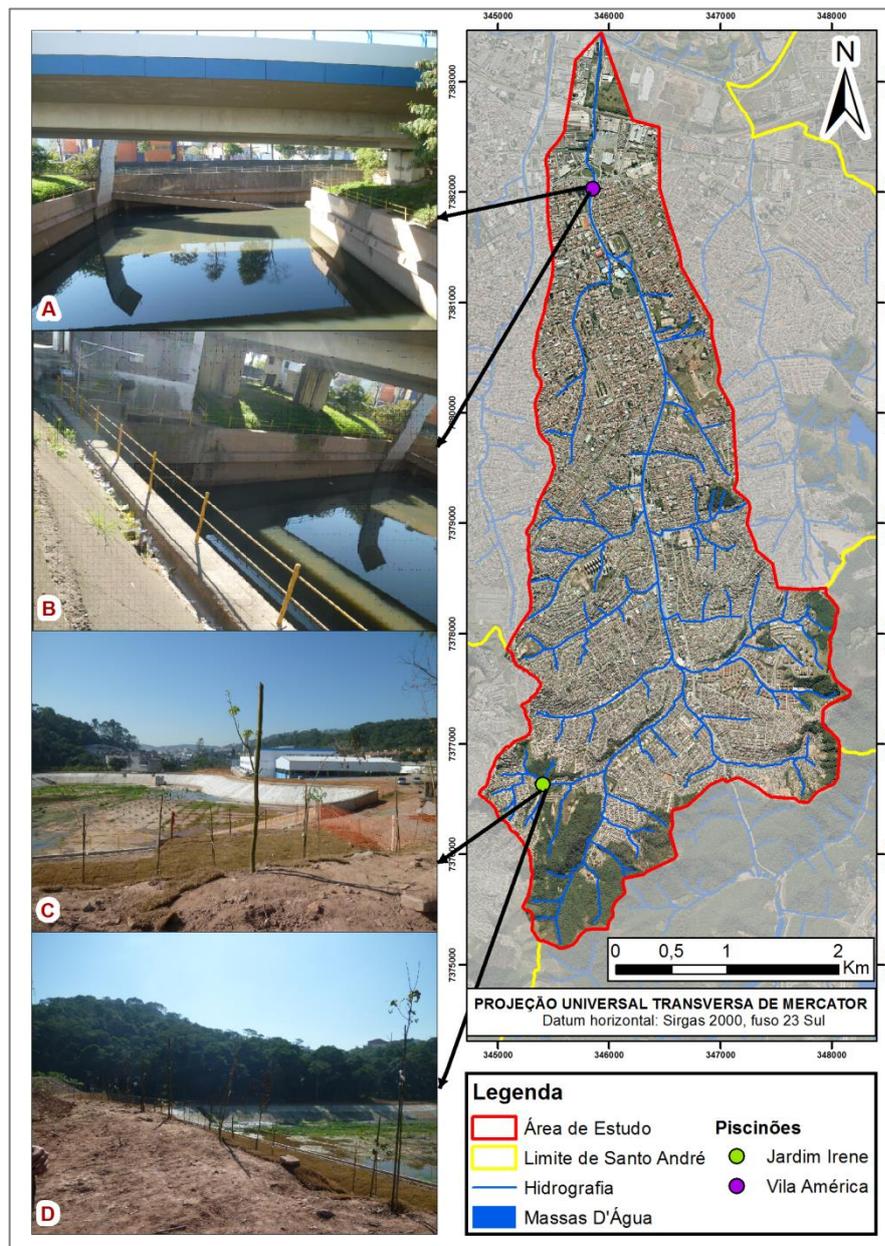
A urbanização na área da bacia se reflete em altas taxas de impermeabilização do solo, o que leva ao aumento das vazões durante chuvas fortes, que podem resultar em inundações, principalmente na porção jusante da bacia (SÃO PAULO, 2012). Não são raras as notícias que informam sobre inundações e enchentes que ocorreram nos bairros da bacia do Guarará, como em nos anos de 2005 (FOLHA DE SÃO PAULO, 2005), 2011 (G1, 2011; UOL, 2011), e o mais recente em 2019 (G1, 2019).

Devido ao histórico recorrente de inundações foram construídas algumas estruturas de retenção¹⁰ na área de estudo. Segundo Semasa (2018), existem

¹⁰ Estruturas de retenção são construções que permitem a infiltração ou armazenamento de parte do escoamento superficial da água das chuvas, provendo amortecimento da vazão de cheia e redução do volume de escoamento superficial. (SÃO PAULO, 2012).

alguns reservatórios de detenção na área da bacia do Guarará. O piscinão da Vila América, Figura 12(A) e (B), com capacidade para 3000m³, operando desde 2001, e os microreservatórios da Vila Pires, que são sete no total e representam uma capacidade de 4500m³ de detenção, e está em funcionamento o piscinão do Jardim Irene, Figura 12(C) e (D), junto ao córrego Guarará na altura da Av. Maurício de Medeiros, que possui capacidade para 18.800m³.

Figura 12 - Localização dos Piscinões na Bacia do Guarará.



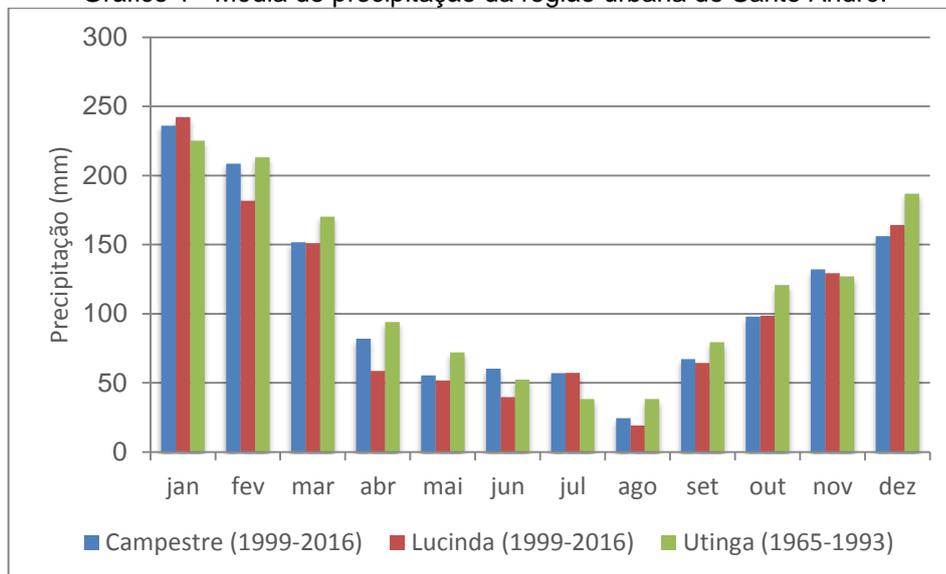
(A) e (B) Vila América; (C) e (D) - Jardim Irene. Fonte: Acervo próprio (16/07/2018).

4.3 Clima

Conforme Tarifa e Armani (2001) o clima da região da bacia do Rio Tamanduateí é classificado com Tropical Úmido e de Altitude do Planalto Paulistano. Apesar de o estudo de Tarifa e Armani (2001) ter sido realizado para o município de São Paulo, o trecho onde se localiza a bacia do córrego Guarará, sudeste da bacia do Tamanduateí corresponde às áreas com predominância de uso residencial baixo (um ou dois pavimentos), poucas áreas verdes, e núcleos de verticalização, resultando numa temperatura da superfície entre 29°C e 32°C (GOUVEIA, 2010).

Possui estação seca e chuvosa bem definida, conforme o gráfico de média de precipitação por mês, apresentado no Gráfico 1. O gráfico utiliza dados de três pluviômetros do município de Santo André, em sua porção urbana, com séries históricas de 1999 a 2016 para os postos Campestre (E3-159) e Lucinda (E3-160), e de 1965 a 1993 para o posto de Utinga (E3-029). O período chuvoso se caracteriza pelo aumento da precipitação média de outubro até atingir seu pico em janeiro, com valores de mais de 200mm. Ocorre uma diminuição da quantidade de chuva de fevereiro até abril, e em maio se inicia o período seco, com média praticamente constante, na faixa 50mm, que se estende até agosto, o mês mais seco.

Gráfico 1 - Média de precipitação da região urbana de Santo André.



Fonte: elaborado pelo autor a partir de dados do DAEE.

A maior influência sobre as precipitações que ocorrem na região são os sistemas atmosféricos, destacando-se os Sistemas Frontais¹¹ e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS)¹². Quando esses grandes sistemas atmosféricos atingem a RMSP, no qual está inserida a área de estudo, as diferentes formas do relevo aumentam a instabilidade desses sistemas, refletindo num aumento da pluviosidade total (TARIFA; ARMANI, 2001). Os sistemas frontais frios ocasionam principalmente chuvas intensas e de curta duração, enquanto as frentes quentes resultam em chuvas de menor intensidade, mas com maior duração (KOBAYAMA et al., 2006). Além da influência dos grandes sistemas atmosféricos há a ocorrência de chuvas convectivas¹³, principalmente durante o verão, que são caracterizadas por fortes intensidades e curtas durações (XAVIER; XAVIER; DIAS, 1994).

Eventos extremos, tanto de chuva como de seca, podem acontecer sem que ocorra uma alteração das médias climatológicas da região (CAVALCANTI et al., 2009). Embora as médias não sejam alteradas, eventos extremos de precipitação são os principais deflagradores de inundações e deslizamentos.

4.4 Instrumentos existentes de um sistema de alerta

Foram procurados e apontados alguns instrumentos que podem servir de auxílio para um sistema de alerta na bacia do córrego Guarará, considerando os quatro pilares apontados de conhecimento de risco; monitoramento e previsão; disseminação e comunicação; e preparo e resposta.

¹¹ Sistemas frontais ocorrem quando há o encontro de duas massas de ar com características distintas, e que gera tempo instável. As áreas de instabilidades produzem muita precipitação, às vezes com altas intensidades, e que pode desencadear inundações (KOBAYAMA et al., 2006).

¹² A zona de convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é uma faixa de instabilidade causada pela umidade transportada da Região Amazônica para o sul e sudeste do Brasil. A atuação deste sistema atmosférico também pode ocasionar eventos extremos como os gerados pelas frentes frias (MARENGO et al., 2015).

¹³ Chuvas intensas provocadas por grandes massas de nuvens de forte desenvolvimento vertical, sendo formadas por contínuo suprimento de vapor d'água, instabilidade convectiva do ar e algum mecanismo físico de levantamento do ar (IDE, 2005).

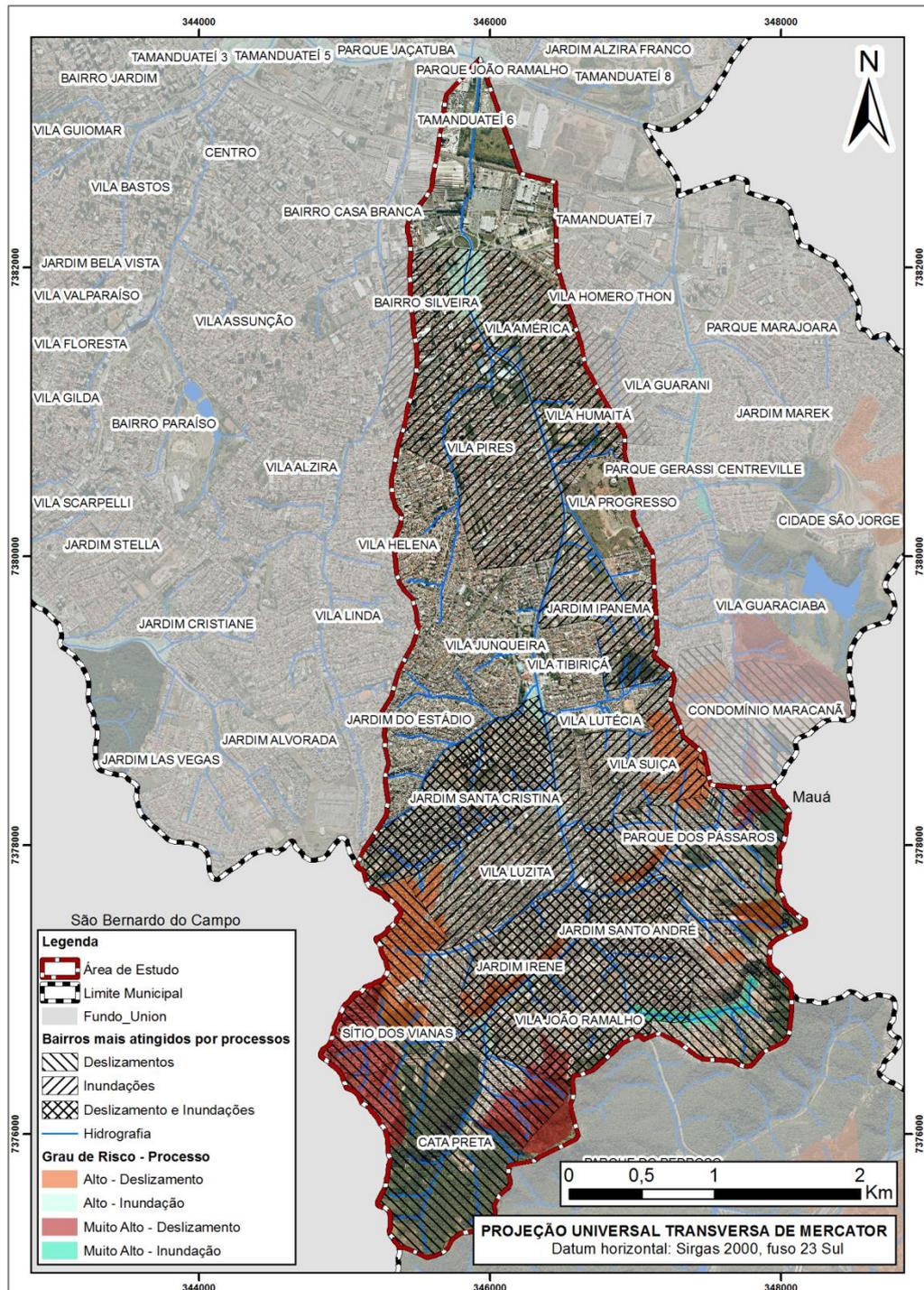
4.4.1 Ferramentas de identificação dos processos: mapas de suscetibilidade e risco na bacia do córrego Guarará

A região do córrego Guarará possui um histórico de ocorrência de inundações e deslizamentos (RODRIGUES; VALVERDE, 2017). Entre o final da década de 1990 e início da de 2000, foram elaborados os primeiros Mapas de Riscos Múltiplos (MRMs) pelas próprias equipes do DPDCSA, que detalhavam o risco presente em assentamentos precários, a partir de anotações dos técnicos do DPDCSA. Três assentamentos localizados na bacia do córrego Guarará, Maurício de Medeiros, Jardim Irene e Jardim Santo André, foram detalhados na primeira versão do MRM. Nas atualizações seguintes, além dos riscos de deslizamentos e inundações foram incluídos riscos tecnológicos, como a localização de linhas de transmissão e dutos de gás combustível (SANTO ANDRÉ, 2016)

Com a aprovação da lei federal nº 12.608 de 2012, focada na gestão de risco, foram desenvolvidos projetos pelo Ministério das Cidades, podendo ser destacados os programas de elaboração de mapeamentos de risco emergenciais e de planos municipais de redução de riscos (MOURA et al., 2017). Para o município de Santo André foram obtidos o mapeamento de risco, feito pela CPRM (CPRM, 2013) e apresentado na Figura 13, e o mapeamento de suscetibilidade, produzido pelo IPT (IPT, 2014) e que está representado na Figura 14. Além desses dois produtos, há também a Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização de Santo André (CGAU-SA) (UFABC, 2016b), importante instrumento da gestão de risco, principalmente quanto à prevenção, Figura 15.

O mapeamento de risco (CPRM, 2013) identificou quatro áreas de risco de inundação, sendo três de nível alto e uma de muito alto, e nove áreas de risco de deslizamentos, seis de grau alto e três de grau muito alto. Todas as áreas de risco de deslizamento estão localizadas na região de montante da bacia do córrego Guarará, onde predominam os morros altos e há maior número de assentamentos precários. As áreas identificadas com risco de inundação são parte das planícies e terraços aluvionares da bacia do córrego Guarará, sendo que duas delas estão na área de montante, uma na parte média e outra a jusante.

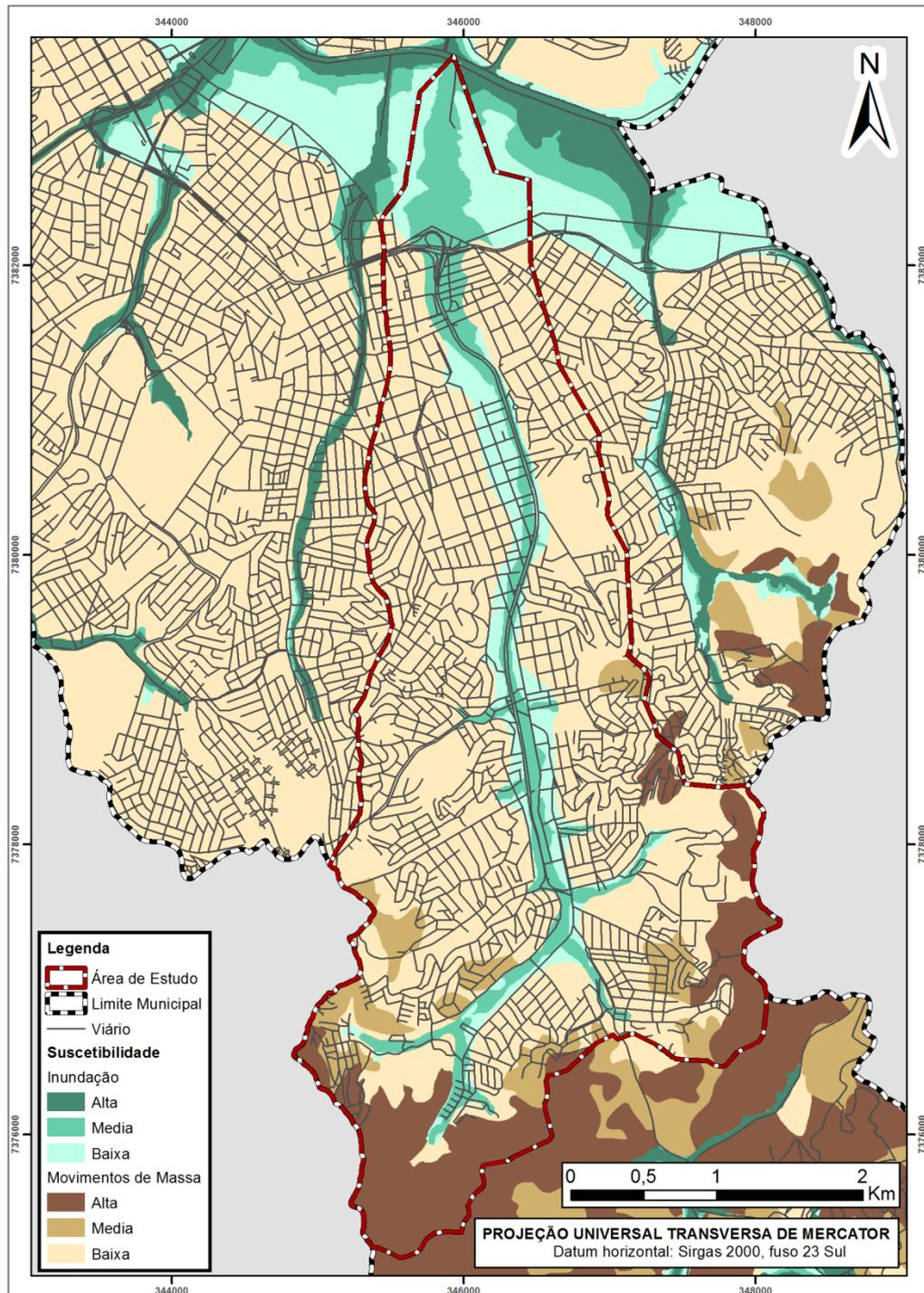
Figura 13 - Setorização de Risco - CPRM.



Fonte: Adaptado de CPRM (2013).

O mapa de suscetibilidade do IPT (IPT, 2014) identifica como zonas de maior probabilidade de inundações as planícies/terraços do córrego Guarará, e as áreas com maior probabilidade de ocorrência de deslizamentos são as bordas da porção média e região da cabeceira na região sul.

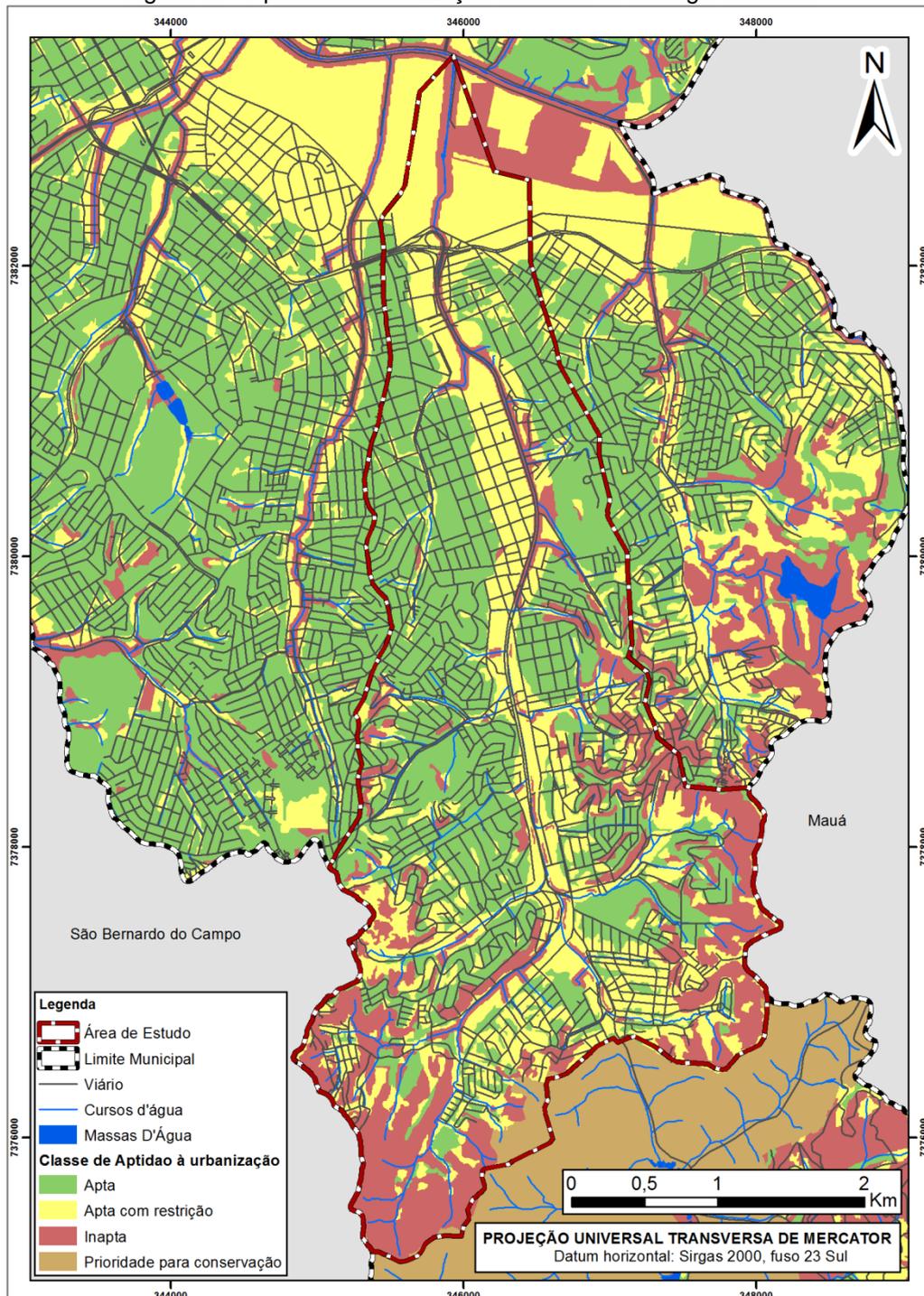
Figura 14 - Suscetibilidade às inundações e movimentos de massa - IPT.



Fonte: Adaptado de IPT (2014).

Percebe-se na CGAU-SA (UFABC, 2016b) predominância de áreas aptas à urbanização, que se deve à maior parte da bacia estar urbanizada. As áreas aptas com restrição e inaptas estão localizadas ao longo das planícies aluvionares e nas áreas com maiores declividades ao sul da bacia.

Figura 15 - Aptidão à Urbanização da bacia do córrego Guarará.



Fonte: UFABC (2016b).

Os mapas de risco e suscetibilidade são essenciais para o funcionamento de um sistema de alerta, pois identificam as áreas que podem ser atingidas pelas ameaças. Além de auxiliar na prevenção, no caso de vistorias e ações educativas, a delimitação das áreas de risco permite que os alertas sejam emitidos prioritariamente à população que mora nos bairros dessas áreas e que ações emergenciais sejam preparadas para essas localidades.

4.4.2 Programa Operação Chuvas de Verão

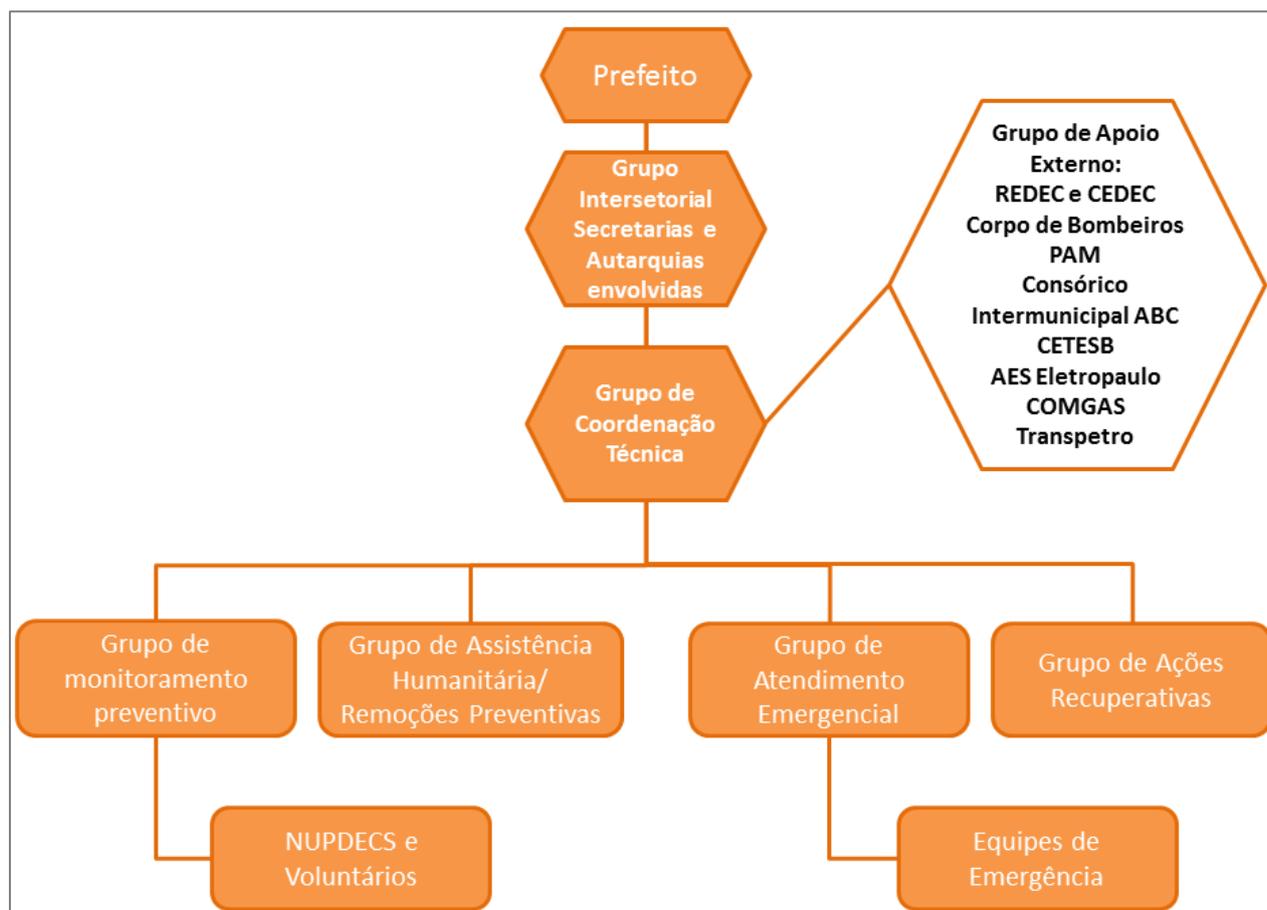
O Programa Operação Chuvas de Verão (POCV) é um Plano Preventivo de Defesa Civil (PPDC), que tem sua fase de atuação principal entre os meses de dezembro e abril (SEMASA, 2018). Em Santo André o POCV acontece desde 2001 e, além da etapa principal, há a etapa preventiva, que consiste na manutenção do sistema de drenagem, realizando limpezas de bocas-de-lobo e reservatórios de retenção, e desassoreamento de rios e córregos (SANTO ANDRÉ, 2001; SANTO ANDRÉ, 2016).

Durante a operação há duas fases: Prontidão, em que a defesa civil está atenta as previsões e monitoramento meteorológicos e a pronta para agir em caso de necessidade, e a de Alerta e Socorro, que ocorre quando toda a estrutura da DPDCSA e outros órgãos municipais ficam disponíveis para realizar remoções emergenciais, limpeza de áreas públicas após inundações ou deslizamentos e todo tipo de socorro à população atingida (SANTO ANDRÉ, 2019).

A DPDCSA possui um levantamento das diversas situações de riscos presentes no município, como áreas sujeitas a inundações ou deslizamentos. Dentre as áreas mais sensíveis do município há cinco bairros localizados na bacia de drenagem do Córrego Guarará, que são Vila América, Jardim Irene, Jardim Santo André, Cata Preta e Sítio dos Vianas (SEMASA, 2018).

A estrutura e organização institucional estão apresentadas na Figura 16, em que os diversos grupos trabalham durante o ano se preparando para o POCV (SANTO ANDRÉ, 2019). Os grupos de monitoramento preventivo e de assistência humanitária trabalham principalmente antes das ocorrências. O grupo de atendimento emergencial opera durante e logo após as ocorrências, como no resgate de pessoas ilhadas durante inundações e o grupo de ações recuperativas atua após o evento.

Figura 16 - Organograma da estrutura do POCV.

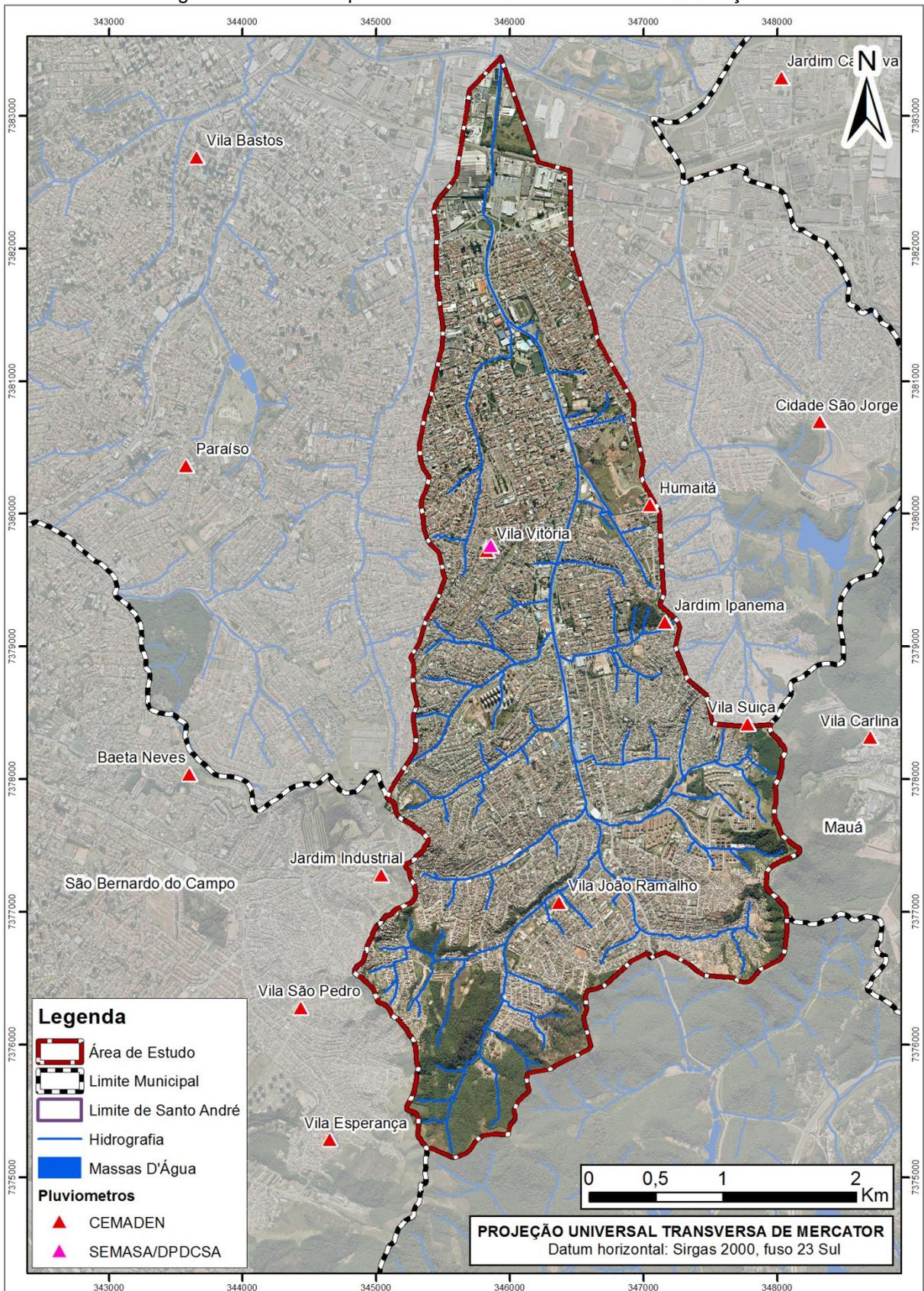


Fonte: Santo André, (2019).

Rede de monitoramento

No município de Santo André há uma rede de monitoramento que funciona durante o ano todo, e é mantida pelo SEMASA e DPDCSA. São cinco estações meteorológicas que medem os índices pluviométricos, temperatura, umidade relativa do ar e velocidade dos ventos, e auxiliam na previsão de eventos de precipitação intensa. Além das estações meteorológicas próprias, o município de Santo André conta com o auxílio do CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais), por meio de radares meteorológicos e pluviômetros automáticos (SEMASA, 2018). O monitoramento também utiliza sistemas auxiliares, como o Centro de Gerenciamento de Emergências (CGE) de São Paulo, que emite boletins de condição e alteração do tempo. A Figura 17 indica parte da rede de monitoramento de Santo André, mostrando os pluviômetros localizados na áreas de estudo ou próximos à ela.

Figura 17 - Rede de pluviômetros na área de estudo e vizinhança.



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados de CEMADEN (2019).

Níveis de alerta

O POCV, durante seu funcionamento, possui quatro diferentes níveis de alerta, como descrito por Santo André (2019):

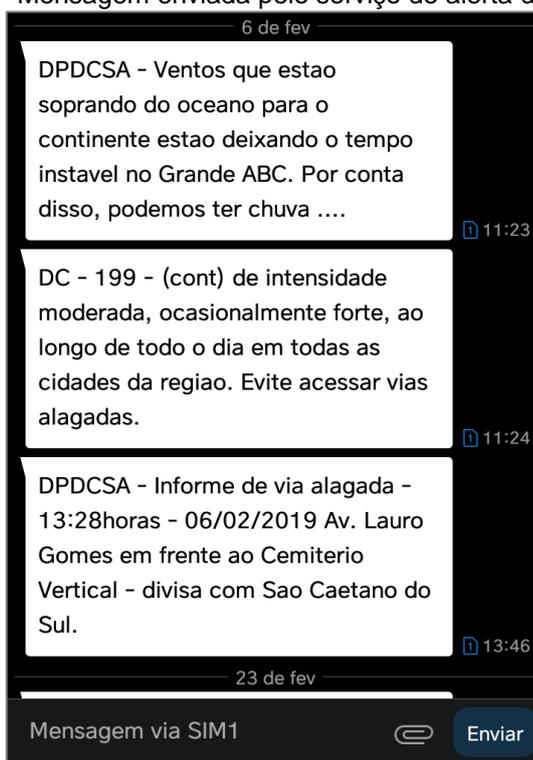
- *“Observação: início da operação até seu término;*
- *Atenção: acúmulo de chuvas em 72 horas consecutivas;*
- *Alerta: é iniciado em caso de registro de trincas, degraus de abatimento ou outra feição de instabilidade que indique possibilidade de escorregamento, observada a partir da vistoria em campo, além de previsão de continuidade de chuvas intensas e de constatação de locais inundados ou com enchentes;*
- *Alerta máximo: quando todos os sinais descritos nos níveis de alerta se intensificam.”*

Atualmente são utilizados dois limiares para passar ao nível de atenção: 100 mm de chuva contínua em 72 horas para risco de deslizamentos e 50 mm de chuva abundante em uma hora para risco de inundações e alagamentos (SANTO ANDRÉ, 2019).

Disseminação e comunicação

Para a disseminação de alertas à população, está em funcionamento o serviço de mensagens para telefones celulares via SMS ou pelo aplicativo *WhatsApp*. Trata-se de um serviço gratuito oferecido pela DPDCSA e dependente de cadastro. Entre os alertas emitidos estão situações de chuvas fortes, ventos, tempestade com raios, baixa umidade e baixas ou altas temperaturas (SEMASA, 2018). A Figura 18 mostra um exemplo da mensagem enviada pelo serviço de SMS do DPDCSA.

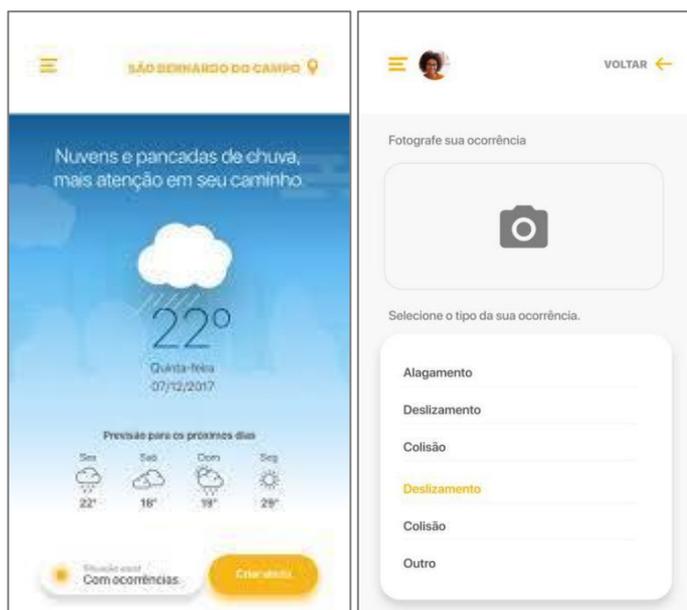
Figura 18 - Mensagem enviada pelo serviço de alerta do DPDCSA



Fonte: Acervo do autor.

Além do serviço de mensagens, há um aplicativo, desenvolvido pelo Consórcio Intermunicipal do ABC (CI-ABC), para a provisão de alertas, previsão tempo e situação climática. Além da observação da situação atual em diversas estações meteorológicas em toda a região do Grande ABC, é possível criar um alerta se o usuário presenciou uma inundação ou deslizamento, por exemplo. A Figura 19 apresenta a tela inicial do aplicativo, à esquerda, e a interface para a criação de um alerta, à direita (CI-ABC, 2018).

Figura 19 - Aplicativo AlertaABC



Fonte: CI-ABC, (2018)

Preparo e resposta

Uma das responsabilidades da defesa civil é a de orientação e educação da população, em especial pessoas que vivem em áreas de risco, e de outros servidores que atuam em setores relacionados à gestão de riscos. Durante o ano, diversas ações de prevenção são realizadas. Além de medidas estruturais, como piscinões, são feitas ações educativas junto à população, com o foco principal no desenvolvimento da percepção de risco de desastres e redução dos riscos. As principais atividades realizadas são cursos, palestras e apresentações que introduzem os mapas de risco e caracterizam os riscos mais comuns na região/bairro atendido (SANTO ANDRÉ, 2019).

A principal forma de interação entre a DPDCSA e as comunidades em risco é a formação dos Núcleos de Proteção e Defesa Civil (NUPDECS), que estabelecem um elo formal entre o DPDCSA e a população residente (SANTO ANDRÉ, 2016). Apesar de estabelecidos em lei desde 1984, os NUPDECS só foram realmente desenvolvidos a partir do início do POCV, em 2001 (NEVES, 2008).

Os NUPDECS são compostos por membros da comunidade local, que são preparados para apoiar a DPDCSA em ações preventivas e situações emergenciais. Com a formação dos núcleos busca-se desenvolver nos voluntários uma postura proativa diante do perigo, possibilitando-os a identificar os riscos em sua região e tomar as primeiras medidas de resposta frente a ocorrências de deslizamentos ou

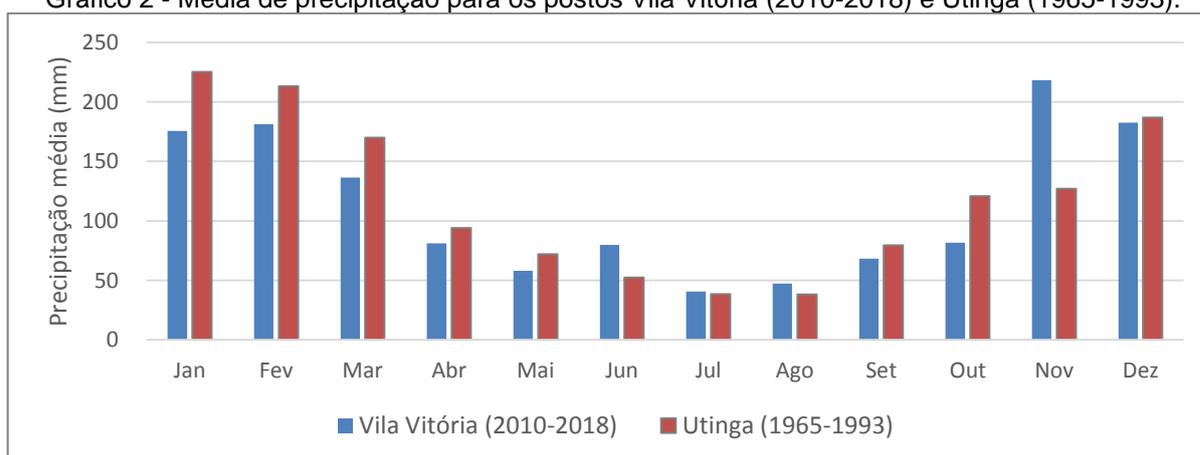
inundações (SANTO ANDRÉ, 2019). Além do papel na prevenção, os NUPDECs também funcionam como disseminadores de informação no caso de um alarme e auxiliam informando o DPDCSA sobre como está a situação no caso de ocorrências (NEVES, 2008).

5. RESULTADOS

5.1 Análise da precipitação e eventos extremos entre 2010 a 2018

O estudo sobre a precipitação na bacia do córrego Guarará foi realizado com dados de precipitação horária disponibilizados pela DPDCSA. A série de dados estende-se de dezembro de 2010 até setembro de 2018, e o posto está localizado no bairro da Vila Vitória (UTR-101E), na porção média da bacia Guarará, e está indicado na Figura 17. O Gráfico 2 apresenta a média de precipitação mensal deste posto e do pluviômetro de Utinga (E3-029), para comparação entre os diferentes períodos dos dados. Foi escolhido o posto de Utinga, por possuir a maior série histórica, com trinta e quatro anos de dados.

Gráfico 2 - Média de precipitação para os postos Vila Vitória (2010-2018) e Utinga (1965-1993).



Fonte: Elaborado pelo autor com dados do DPDCSA e DAEE.

É possível notar que a definição entre período seco (precipitação registrada abaixo dos 100mm), entre abril e setembro, e chuvoso (precipitações maiores que 150mm), entre novembro e março, se mantém. A principal diferença está nos meses de outubro e novembro, enquanto o posto de Utinga possui valores similares, o posto da Vila Vitória possui uma diferença de mais de 100mm entre esses meses. Além disso, destaca-se a menor precipitação no posto Vila Vitória em relação ao de Utinga para os meses de janeiro, fevereiro e março. Embora o período seco ainda esteja bem definido, com médias de precipitação abaixo dos 100mm, nota-se algumas quantidades de chuva acima de 50mm, em especial no mês de junho. Não foi possível definir se as diferenças encontradas se devem ao microclima local de cada posto ou a diferença entre as séries históricas.

Foram calculados índices para eventos extremos por ano e a Tabela 1 apresenta os valores encontrados. Não são expostos os anos de 2010 e 2018, por seus dados estarem incompletos. A maior precipitação diária no período ocorreu no ano de 2011, e nesse dia também ocorreu a maior intensidade de chuva, 52,9mm em uma hora. Embora o evento mais intenso tenha ocorrido no ano de 2011, esse ano possui os menores índices de precipitação total, dias com chuva acima dos 10mm, dos 20mm e dos 25mm, e precipitação diária acima do 95p. Esse fato demonstra a imprevisibilidade de precipitações intensas, que mesmo em um ano de precipitações abaixo da média é possível que aconteça um fenômeno de alta intensidade. Enquanto o ano de 2015 se destaca pela pelos maiores números de dias com precipitação acima dos 10mm e acima dos 25mm e pelo maior acumulado de cinco dias de chuva (120h), o ano de 2016 possui a maior precipitação total e os maiores valores de chuva acima dos percentis noventa e cinco (22mm) e noventa e nove (47mm).

Tabela 1 - Índices de eventos extremos por ano - Vila Vitória.

Ano	PRCPTOT	R10mm	R20mm	R25mm	RX1day	RX5day	R95p	R99p
2011	1147,9	30	15	12	99,2	126,8	587,7	262,5
2012	1538,4	50	25	18	61,6	127	817	273
2013	1508,1	48	21	17	63,7	111,3	748,1	234,9
2014	1277,2	40	26	14	64,9	97,1	630,6	64,9
2015	1595	51	26	18	73	139,3	811,7	176,9
2016	1719,4	38	25	19	80,3	127,1	1186,4	769,5
2017	1281	42	21	14	72,3	109,1	717,2	253,1
Média	1438	43	23	16	74	125	786	291

Legenda: Em azul estão os menores valores encontrados e em vermelho os maiores. PRCPTOT - Precipitação total no ano; R10mm - Dias com precipitação acima de 10mm; R20mm - Dias com precipitação acima de 20mm; R25mm - Dias com precipitação acima de 25mm; RX1day - precipitação máxima em um dia; RX5day - precipitação acumulada máxima de 5 dias; R95p - precipitação total acima do percentil 95; R99p - precipitação total acima do 99 percentil.. Fonte: CPTEC, 2018 (Índices).

Com a finalidade de verificar se os eventos de precipitação intensa ocorrem principalmente nos meses do período chuvoso, foram calculados os índices de eventos extremos por mês, por exemplo, a maior precipitação diária que ocorreu nos meses de janeiro de 2011 a 2018. Os resultados estão apresentados na Tabela 2. Os maiores valores dos índices acontecem entre os meses de novembro e março, e os menores entre maio e outubro. A exceção é o índice de máxima precipitação acumulada em cinco dias, que para o período analisado acontece no mês de setembro. Foi verificado no registro de precipitação, que esse índice foi resultado de

dois dias de precipitação forte e dois de precipitação moderada para o mês de setembro de 2015. Destacam-se os valores de chuva acima dos noventa e cinco e noventa e nove percentis para o mês de novembro, que pode explicar o pico de média de precipitação mensal do posto Vila Vitória ocorrer em novembro.

Tabela 2 - Índices de eventos extremos por mês - Vila Vitória (nov/2010-out/2018).

Mês	R10mm	R20mm	R25mm	RX1day	RX5day	R95p	R99p
Jan	43	26	19	80,3	127,1	834,6	361,4
Fev	50	27	18	97,8	121,1	855,5	235,3
Mar	35	20	11	59,6	126,8	567,2	109,1
Abr	20	9	7	72,3	109,1	299,2	130,7
Mai	15	5	4	41,8	91	173,2	0
Jun	20	10	6	53	93,6	283,1	104,9
Jul	10	4	4	45,9	61,7	135,4	0
Ago	13	4	3	45,6	82,8	122,8	0
Set	12	8	7	73	139,3	286,1	73
Out	20	6	3	35,1	72,4	137,8	0
Nov	30	23	16	65,5	113,6	1141	740,7
Dez	48	21	18	99,2	126,2	814,5	330,3

Observação: Os valores em destaque são os maiores (vermelho) e menores (azul).

Para complementar a análise entre as estações seca e chuvosa, foi calculada a precipitação total para cada período, com início no período chuvoso de 2011 (nov/2011-mar/2012) e se encerrando no período seco de 2017 (abr/2017-out/2017), como apresentado na Tabela 3. Os valores do período chuvoso de 2010-2011 e seco de 2018 não foram considerados por estarem com dados incompletos. Também não foi considerado o período chuvoso de 2017-2018 por falha no equipamento, em que os meses de fevereiro, março e abril ficaram sem medição.

Tabela 3 - Precipitação total por estação (período 2010-2018).

Período			
Chuvoso (mm)		Seco (mm)	
Novembro de 2011 a Março de 2012	1120,6	Abril a Outubro de 2011	313,6
Novembro de 2012 a Março de 2013	1255,5	Abril a Outubro de 2012	367,6
Novembro de 2013 a Março de 2014	978,4	Abril a Outubro de 2013	391,4
Novembro de 2014 a Março de 2015	1088,4	Abril a Outubro de 2014	252,5
Novembro de 2015 a Março de 2016	878,8	Abril a Outubro de 2015	479,1
Novembro de 2016 a Março de 2017	1265,6	Abril a Outubro de 2016	474,4
Média	1098	Abril a Outubro de 2017	436,5
		Média	388

Observação: Os valores em destaque são os maiores (vermelho) e menores (azul).

Novamente se confirma definição entre período chuvoso e seco, mas não há evidência de que um período afete o subsequente, tanto de forma positiva quanto negativa, como a relação de que um período seco abaixo da média leva a um período chuvoso acima ou abaixo da média. A média dos períodos chuvosos pode representar maior ou menor possibilidade de ocorrência de deslizamentos ou inundações.

Foram levantados outros índices relacionados com a intensidade e acumulado de precipitação, com o propósito de identificar possíveis limiares de eventos extremos que podem estar relacionados com a ocorrência de deslizamentos ou inundações. Os índices relacionados com as intensidades podem influenciar inundações, enquanto os acumulados de precipitação refletem maiores chances de deslizamentos (DEO et al., 2018; TATIZANA et al., 1987).

Foram detectadas a intensidade máxima de 1h e 3h de precipitação e total de vezes em que houve precipitação com intensidade de 1h acima dos 10mm e dos 20mm. Também foram determinados o total de dias com acumulado de 72h acima dos 40mm, 60mm, 80mm e 100mm. Os índices foram calculados e estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Índices de intensidade e acumulado de precipitação por ano – Vila Vitória

Índices/ano	Imax1H	Imax3h	I1h> 10mm	I1h> 20mm	I1h> 30mm	Ac72h> 40mm	Ac72h> 60mm	Ac72h> 80mm	Ac72h> 100mm
2011	52,7	29,3	21	5	3	42	19	14	14
2012	48,6	18,3	23	7	2	69	47	26	10
2013	52,9	19,8	23	10	5	75	35	18	3
2014	26,1	13,6	28	6	0	65	21	12	0
2015	28,9	12,1	23	2	0	71	36	17	7
2016	49,9	24,9	17	2	1	54	37	20	13
2017	35,4	21,7	29	7	1	58	27	17	12

Observação: Os valores em destaque são os maiores (vermelho) e menores (azul).

O ano de 2011 destaca-se pelo maior número de dias com acumulado de 72h acima de 100mm e maior intensidade máxima de três horas, e também pelo menor número de dias com acumulado de 72h acima de 40mm e de 60mm. Ao observar os outros índices calculados (Tabela 1), é percebido que no ano de 2011 houve a maior precipitação diária, que foi causada por uma precipitação muito intensa, e que resultou também na maior intensidade de 3h. No ano de 2011 ocorreram os menores números de dias com precipitação acumulada de 72h acima

de 40mm e 60mm, o que pode estar relacionado com a precipitação total, a menor de todo o período analisado. De forma semelhante, no ano de 2016, que possui a maior precipitação total entre os anos de 2010 e 2018, apenas duas vezes as intensidades de precipitação ultrapassaram 20mm. Esses fatos evidenciam, novamente, a independência de eventos extremos em relação a médias ou volumes totais de precipitação.

Para verificar a relação desses índices com as estações chuvosa e seca, foram calculados os valores das intensidades e dias com acumulado de 72h para cada mês, considerados os anos do período em análise, de 2010 a 2018, e os resultados estão dispostos na Tabela 5. Os meses de outubro a novembro possuem apenas sete anos de dados, enquanto todos os outros meses foram analisados com dados de oito anos.

Tabela 5 - Índices de intensidade e acumulado de precipitação por mês – Vila Vitória.

Mês	Imax1h (mm)	Imax3h (mm)	I1h> 10mm	I1h> 20mm	I1h> 30mm	Ac72h> 40mm	Ac72h> 60mm	Ac72h> 80mm	Ac72h> 100mm
Jan	49,9	24,9	28	8	3	82	53	33	10
Fev	36,8	20,8	40	9	3	70	33	16	8
Mar	39,8	14,2	20	6	1	66	24	9	7
Abr	35,4	21,7	11	1	1	19	6	5	4
Mai	14,9	8,0	3	0	0	20	9	2	0
Jun	18,1	11,4	5	0	0	24	18	9	0
Jul	19,5	10,0	4	0	0	12	1	0	0
Ago	7,2	5,4	0	0	0	10	4	2	0
Set	19,3	12,1	8	0	0	14	6	5	2
Out	23,1	9,6	3	1	0	20	3	0	0
Nov	40,8	20,7	18	6	1	45	31	23	19
Dez	52,9	29,3	33	9	3	64	41	24	12

Observação: Os valores em destaque são os maiores (vermelho) e menores (azul).

As maiores intensidades de precipitação de uma hora e de três horas aconteceram em dezembro, mas em anos distintos, a de uma hora ocorreu no ano de 2013 e a intensidade máxima de três horas aconteceu em dezembro de 2011. O mês de janeiro se destaca pela ocorrência de um grande número de dias com acumulados de precipitação de 72h acima de 40mm, 60mm e 80mm. Durante os meses de fevereiro ocorreram a maior quantidade de precipitações que ultrapassaram os 10mm e 20mm de intensidade. Embora o mês de novembro possua dados apenas para sete anos, aconteceram nesse mês a maior quantidade de dias com acumulado de precipitação de 72h acima dos 100mm, o que é reflexo

da média de precipitação elevada, de mais de 200mm, como exposto na figura. Como esperado, os valores encontrados refletem a maior ocorrência de extremos em intensidade e acumulado de 72h durante o período chuvoso, em especial nos meses de janeiro, fevereiro, novembro e dezembro, e menor no período seco, com os valores mais baixos ocorrendo em julho e agosto.

5.2 Análise de Ocorrências de deslizamento e inundação entre 2001 e 2018

As primeiras análises realizadas foram quantitativas. O total de ocorrências de inundações e deslizamentos por ano está na Tabela 6.

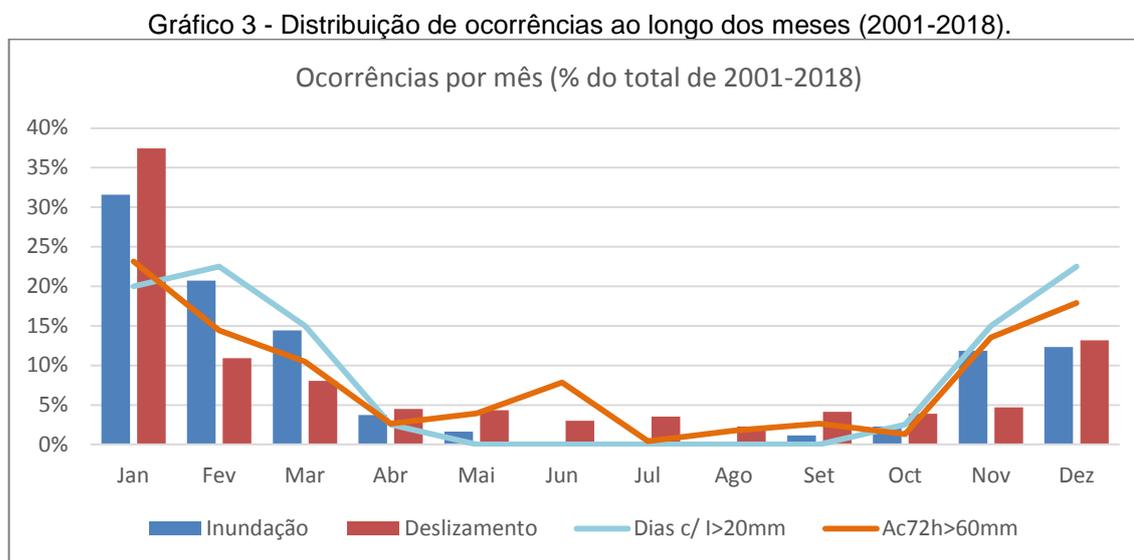
Tabela 6 - Ocorrências de deslizamentos e inundações por ano.

Ano	Ocorrências	
	Inundações	Deslizamentos
2001	12	64
2002	7	43
2003	7	36
2004	18	40
2005	27	133
2006	44	75
2007	19	57
2008	34	88
2009	52	177
2010	93	348
2011	81	79
2012	38	42
2013	48	36
2014	6	18
2015	6	40
2016	24	30
2017	17	20
2018	84	31
Total	617	1357

Observação: Os valores em destaque são os maiores (vermelho) e menores (azul).

Com exceção dos anos de 2011, 2013 e 2018, há maior número de ocorrências de deslizamentos do que de inundações. Ressalta-se o ano de 2010 pelos maiores números de ocorrências e de 2014 pelos menores números, considerando os dois tipos de processos considerados. Conforme discutido anteriormente, durante o ano de 2014 houve precipitação abaixo da média da região, com um baixo número de dias com precipitações acima dos 25mm.

Outro fato que reforça a influência da chuva na deflagração de deslizamentos e inundações é a distribuição de ocorrências por mês, Gráfico 3. As colunas representam as ocorrências, enquanto as linhas apresentam dois índices de precipitação.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do DPDCSA.

Fica claro como a maior parte dos fenômenos ocorre no período chuvoso, durante a primavera e verão no hemisfério sul, entre os meses de novembro e março. As inundações possuem pico em janeiro, mas nos outros meses do período chuvoso (fevereiro, março, novembro e dezembro) sua frequência se mantém praticamente constante. No período seco quase não acontecem inundações, assim como as precipitações de alta intensidade (acima dos 20mm) também não ocorrem nesse período (Tabela 5), o que evidencia maior dependência das inundações com as intensidades de precipitação. Por sua vez, os deslizamentos também estão concentrados na estação chuvosa, com pico em janeiro e altos valores para os meses de fevereiro, março e dezembro. O menor número de dias com acumulados de 72h acima dos 60mm nos meses da estação seca (Tabela 5) se reflete num menor número de ocorrências nesse período. Nota-se uma pequena diferença entre o comportamento das inundações em relação aos deslizamentos, em que se percebe a maior influência das intensidades de precipitação para inundações e dos acumulados de 72h para os deslizamentos (Gráfico 3).

Na Tabela 7 estão descritos o número de dias com quantidades de ocorrências. No total foram 691 dias com ocorrências de deslizamentos e 219 com

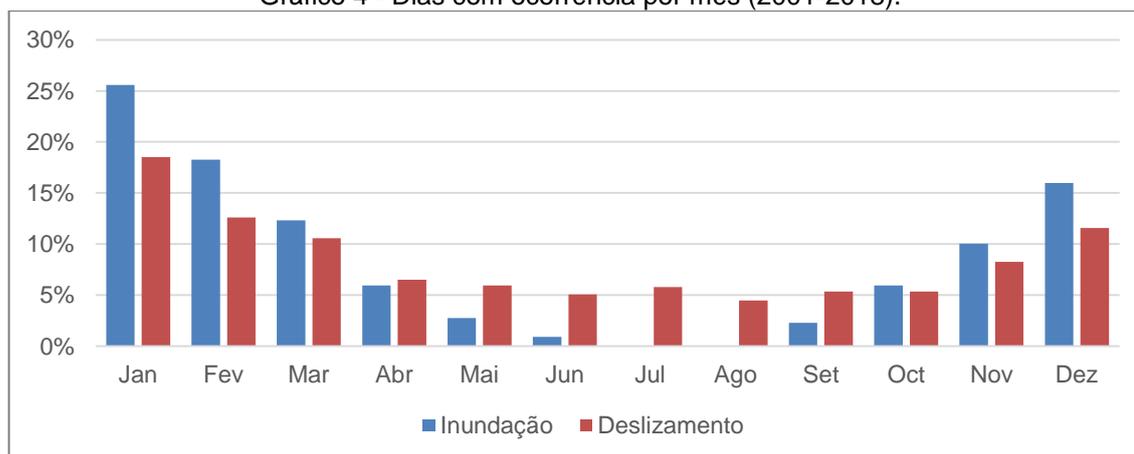
inundações. A maior parte dos dias teve apenas uma ocorrência, metade para as inundações e mais de 70% para os dias com deslizamentos. Uma possibilidade para explicar esse fato é a influência antrópica na ocorrência de deslizamentos locais, pois precipitações intensas podem desencadear vários escorregamentos (MENDES et al., 2018; GUIDICINI; IWASA, 1976).

Tabela 7 - Dias com Ocorrências

Ocorrências no dia	Deslizamentos	Inundações
1	509	125
2	99	29
3	29	15
4	15	12
5	6	10
6	6	4
7	4	4
8	4	5
9	4	3
10	0	2
>10	15	10
Total	691	219

Conforme o Gráfico 4, a quantidade de dias com eventos registrados segue a dinâmica do período chuvoso-seco.

Gráfico 4 - Dias com ocorrência por mês (2001-2018).



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do DPDCSA

O maior número de dias com ocorrências de deslizamentos no período seco se deve principalmente pela quantidade de dias com apenas uma ocorrência, como pode ser observado na Tabela 8. No período seco há menor número de eventos de precipitação intensa, resultando em menor número de ocorrências num mesmo dia.

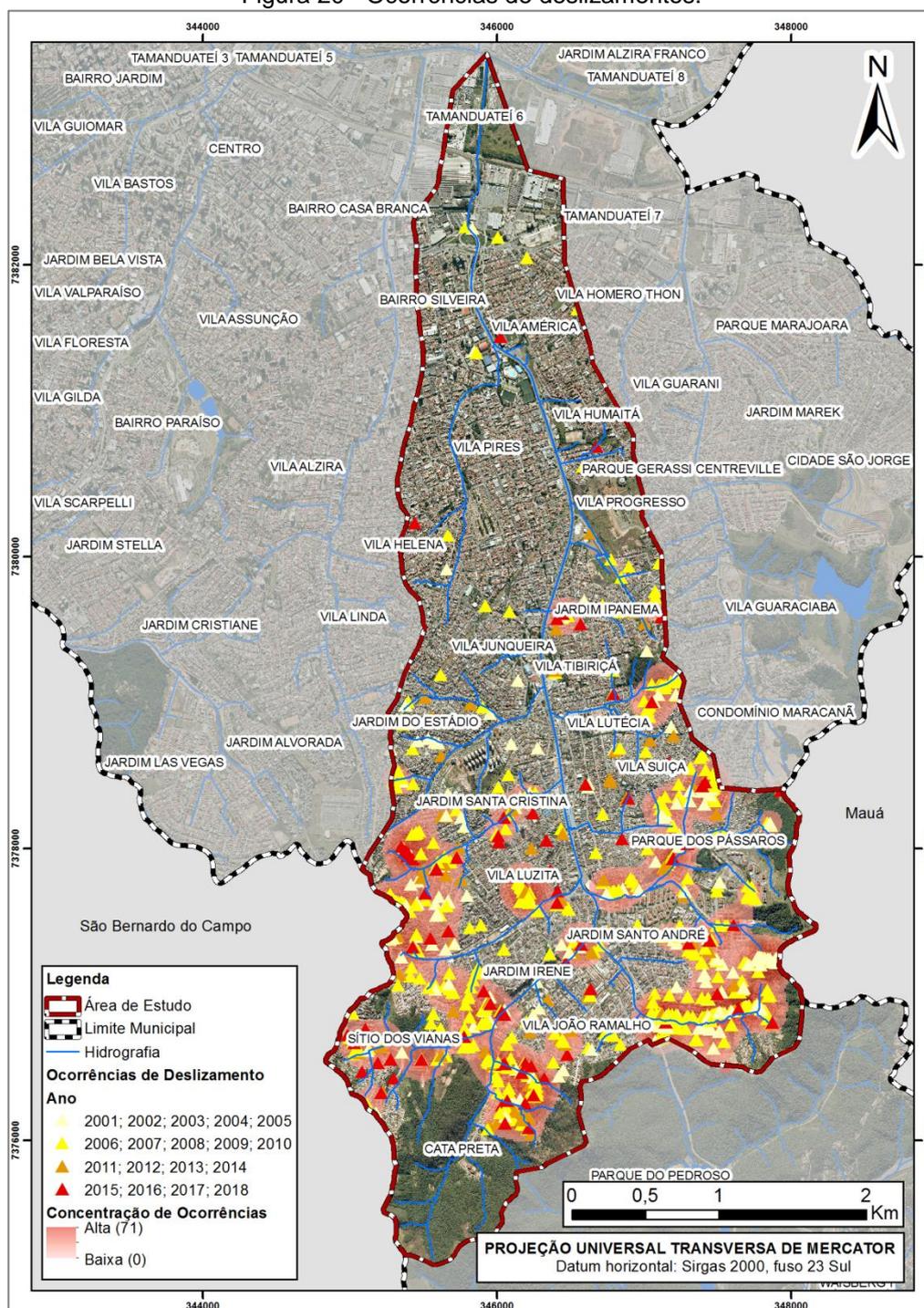
Assim, os dias com uma ocorrência ficam distribuídos durante o ano, enquanto os dias com mais de uma ocorrência se concentram no período de chuvas. Para as inundações essa diferença entre a distribuição de dias com uma ocorrência e mais de uma é menos pronunciada.

Tabela 8 - Distribuição de dias com ocorrências por mês.

Mês	Inundações		Deslizamentos	
	Dias com apenas 1 ocorrência	Dias com mais de 1 ocorrência	Dias com apenas 1 ocorrência	Dias com mais de 1 ocorrência
Jan	22%	30%	14%	32%
Fev	14%	23%	11%	16%
Mar	11%	14%	11%	10%
Abr	7%	4%	8%	3%
Mai	4%	1%	6%	5%
Jun	2%	0%	6%	2%
Jul	0%	0%	6%	4%
Ago	0%	0%	6%	0%
Set	2%	2%	6%	3%
Out	10%	1%	6%	4%
Nov	10%	10%	10%	3%
Dez	17%	15%	10%	17%

Após as análises estatísticas, as ocorrências foram espacializadas e foram elaborados mapas de concentração das ocorrências, além da representação das ocorrências em conjuntos de anos, conforme a Figura 20, para deslizamentos, e Figura 21, representando as inundações.

Figura 20 - Ocorrências de deslizamentos.

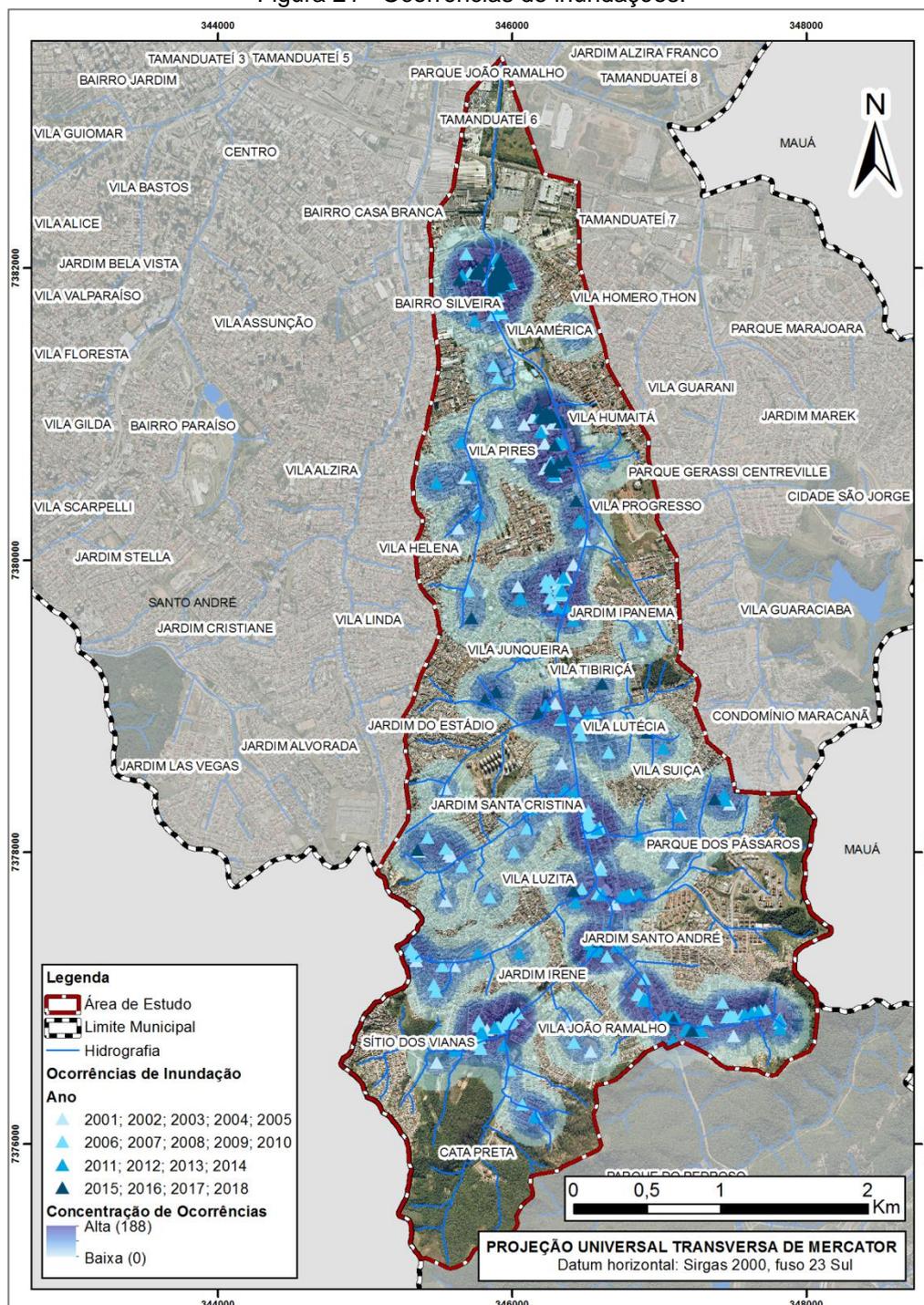


Fonte: Elaborado pelo autor.

Comparando visualmente o mapa de calor e ocorrência de deslizamentos e com o mapa de suscetibilidade e risco, é possível verificar que as zonas de concentração das ocorrências, áreas vermelhas, estão de acordo com os mapas de suscetibilidade, aptidão e risco. Percebe-se a concentração de deslizamentos na região das cabeceiras do córrego Guarará, ao longo de todo o período analisado.

Para o período mais recente, de 2015 a 2018, os bairros mais atingidos são o Jardim Santa Cristina, Sítio dos Vianas e Cata Preta.

Figura 21 - Ocorrências de inundações.



Fonte: Elaborado pelo autor.

As zonas de maiores concentrações de inundações, azul mais escuro, coincidem com as áreas de média e baixa suscetibilidade descritas no mapa de suscetibilidade do IPT, Figura 14 (IPT, 2014). Em relação ao mapa de risco da CPRM, Figura 13 (CPRM, 2013), nota-se que há um grande número de ocorrências

nos quatro setores mapeados, mas percebe-se também que há vários pontos com concentração de ocorrências que não foram identificados no mapeamento.

O período mais recente (2015-2018) indica que os problemas recorrentes na Vila América e Vila Pires ainda persistem, mesmo com o piscinão implantado e melhorias na rede de drenagem (SANTO ANDRÉ, 2016)

Devido a não diferenciação entre enchentes, inundações e alagamentos no registro das ocorrências, não foi possível verificar se as ocorrências localizadas fora do eixo do canal principal são de fato inundações ou alagamentos.

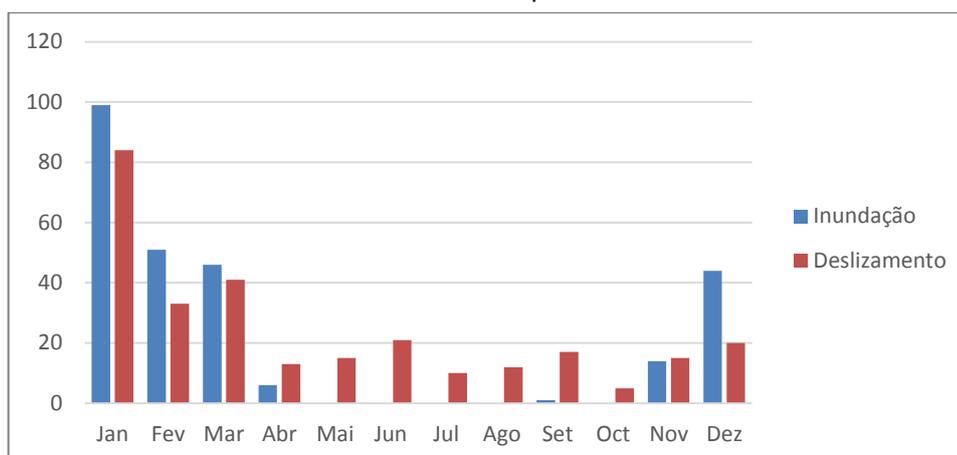
5.3 Relação entre precipitação e ocorrência

As ocorrências de deslizamentos e inundações acontecem em sua maioria durante o período chuvoso, mas apenas pela distribuição de chuvas e ocorrências não é possível delimitar as variáveis da precipitação que podem indicar a provável ocorrência de um deslizamento ou inundação. Dessa forma, foi feita uma análise dos acumulados de precipitação e das intensidades com as ocorrências de deslizamento e inundação, respectivamente.

Para essa etapa, devido à disponibilidade dos dados de chuva, foram analisadas as ocorrências de janeiro de 2011 até setembro de 2018. Para cada ocorrência foram estabelecidos os dados de chuva do dia, maior intensidade de uma hora do dia, maior acumulado de três horas e acumulado de três dias (72h). E no histórico de chuva foi identificado em cada dia se ocorreram ou não deslizamentos ou inundações, e quantas ocorrências foram registradas.

Devido à mudança no conjunto de dados das ocorrências foi verificado, para o período de 2011 a 2018, se as ocorrências ao longo do ano mantinham-se da mesma forma para o registro completo, de 2001 a 2018. O Gráfico 5 apresenta o total de ocorrências por mês entre 2011 e 2018, e mostra que a variação é semelhante, com exceção dos meses junho, acima da média, e novembro e dezembro, abaixo da média, nos casos de deslizamentos.

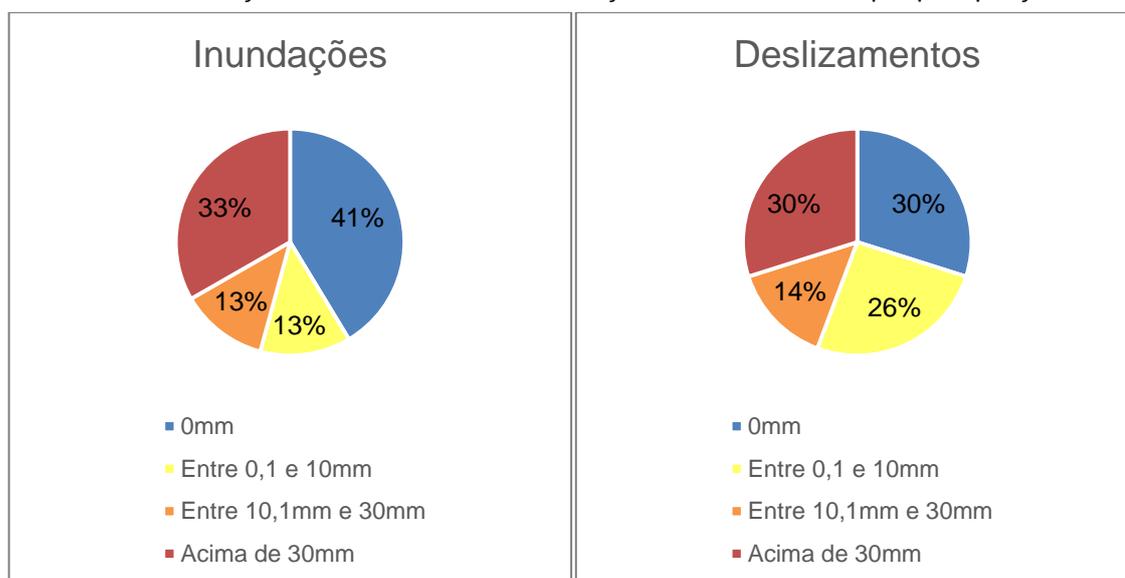
Gráfico 5 - Total de ocorrências por mês de 2011 a 2018



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do DPDCSA.

Em seguida foi feita uma classificação das ocorrências segundo a precipitação diária de cada uma, para deslizamentos e inundações, os resultados encontrados estão no Gráfico 6.

Gráfico 6 - Classificação das ocorrências de inundações e deslizamentos por precipitação diária.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do DPDCSA.

Mais de um terço das ocorrências, tanto de deslizamentos quanto de inundações, foi registrado em dias em que não houve precipitação. Uma suposição é de que a abertura de chamado na central telefônica da DPDCSA foi feita pelo cidadão no dia seguinte, em que não houve chuva, ou houve falha de medição. Embora algumas falhas pontuais tenham sido identificadas, como nos meses de fevereiro a março de 2018, em que não houve registro da precipitação, não foi possível identificar todos os dias em que houve problemas no equipamento.

Alguns casos de deslizamentos podem ter sido causados por influência antrópica, apesar de não ser possível identificar cada caso. Para as ocorrências de inundações, existe a hipótese de que não tenham sido inundações, mas sim alagamentos, por deficiência da rede de drenagem ou vazamentos em redes de distribuição de água. Essa suposição também explicaria o fato de algumas ocorrências de inundação estarem localizadas em áreas fora das planícies e terraços. É importante ressaltar que essas considerações não puderam ser confirmadas pelas análises realizadas neste trabalho.

Com o alto número de ocorrências em dias que não houve precipitação registrada buscou-se identificar se esse fato acontecia também para o número de dias com ocorrências, de dias com apenas uma ocorrência e com mais de uma ocorrência. A Tabela 9 mostra que para os dias com apenas uma ocorrência de deslizamento, quase 80% aconteceram em dias com menos de 10mm ou sem chuva registrada. Enquanto que para os dias com mais de uma ocorrência há um aumento significativo dos casos em dias com precipitação acima dos 10mm.

Tabela 9 - Distribuição de dias e ocorrências de deslizamento conforme precipitação diária.

Precipitação diária registrada	Deslizamentos		
	Nº de Dias c/ Ocorrências	Nº de dias com 1 ocorrência	Nº de dias com mais de 1 ocorrência
0mm	38%	39%	34%
Entre 0,1 e 10mm	36%	39%	25%
Entre 10,1mm e 30mm	17%	16%	20%
Acima de 30mm	10%	7%	20%

A mesma análise feita para as inundações, Tabela 10, indica situação semelhante. Quase metade dos dias com apenas uma ocorrência teve precipitação registrada igual à zero. Os dias com mais de uma ocorrência e precipitações acima dos 10mm representam 47%, enquanto no caso dos dias com apenas uma ocorrência esse número é de apenas 40%.

Tabela 10 - Distribuição de dias e ocorrências de inundações conforme precipitação diária.

Precipitação diária registrada	Inundações		
	Nº de Dias c/ Ocorrências	Nº de dias com 1 ocorrência	Nº de dias com mais de 1 ocorrência
0mm	42%	49%	37%
Entre 0,1 e 10mm	14%	11%	16%
Entre 10,1mm e 30mm	19%	20%	19%
Acima de 30mm	24%	20%	28%

5.3.1 Identificação de critérios de precipitação para ocorrências de deslizamentos e inundações

A partir dos diferentes valores de precipitação acumulada e intensidade máxima de uma hora de precipitação, foram calculadas as eficiências de cada critério, conforme a probabilidade de detecção, probabilidade de falsa detecção e probabilidade de alarme falso. A prioridade deve ser diminuir o número de alarmes perdidos, ou seja, alta probabilidade de detecção (PD), e diminuir o número alarmes falsos, isto é, menor valor para a probabilidade de falsa detecção (PFD), e também se busca um baixo valor para a probabilidade de alarmes falsos (PAF), que representa a fração de alarmes falsos que seriam emitidos quando os limiares foram excedidos (BRUNETTI et al., 2018).

Na primeira análise foi considerado o cenário em que foram excluídos os dias com registro de precipitação igual à zero, com o pressuposto de que as ocorrências desses dias tenham sido reflexo de precipitação em outro dia (atraso no registro da ocorrência) ou influência antrópica. Os dados no caso de deslizamentos estão apresentados na Tabela 11 e os resultados da pontuação de eficiência na Tabela 12.

Tabela 11 - Dados de deslizamentos e chuva - 1º cenário

PRECIPITAÇÃO		OCORRÊNCIAS		Total de dias
		Ocorreu	Não Ocorreu	
Índices	Acu72h>40mm	52	124	176
	Acu72h<40mm	46	594	640
	Acu72h>60mm	30	59	89
	Acu72h<60mm	68	659	727
	Acu72h>80mm	19	27	46
	Acu72h<80mm	79	691	770
	Acu72h>100mm	9	11	20
	Acu72h<100mm	89	707	796
Total de dias		98	718	816

Tabela 12 - Pontuações para critérios de deslizamento - 1º cenário

Índices	Probabilidade de Detecção (PD)	Probabilidade de Falsa Detecção (PFD)	Probabilidade de Alarme Falso (PAF)
Acu72h>100mm	9%	2%	55%
Acu72h>80mm	20%	4%	59%
Acu72h>60mm	31%	8%	66%
Acu72h>40mm	53%	17%	70%

Para o caso das inundações os dados utilizados estão na Tabela 13 e os resultados encontrados na Tabela 14.

Tabela 13 - Dados de inundações e chuva - 1º cenário.

PRECIPITAÇÃO		OCORRÊNCIAS		Total de dias
		Ocorreu	Não Ocorreu	
Índices	l1h>50mm	2	0	2
	l1h<50mm	39	775	814
	l1h>30mm	11	1	12
	l1h<30mm	30	774	804
	l1h>20mm	18	17	35
	l1h<20mm	23	758	781
	l1h>10mm	27	114	140
	l1h<10mm	14	661	675
Total de dias		41	775	816

Tabela 14 - Pontuações para critérios de inundações - 1º cenário.

Índices	Probabilidade de Detecção (PD)	Probabilidade de Falsa Detecção (PFD)	Probabilidade de Alarme Falso (PAF)
l1h>50mm	5%	0%	0%
l1h>30mm	27%	0%	8%
l1h>20mm	44%	2%	49%
l1h>10mm	66%	15%	81%

Quanto mais restritivo o critério, quer dizer, maior o valor a monitorar, menor a probabilidade de detecção, falsa detecção e falso alarme. Os primeiros resultados encontrados não são satisfatórios, para as duas categorias de ocorrências (GARIANO et al., 2015). Para um baixo número de alarmes falsos, a detecção dos eventos é muito baixa, significando que muitas ocorrências aconteceriam sem que alarmes fossem emitidos. De forma oposta, com o aumento da detecção também é elevado o número de alarmes falsos. Ambos os casos são indesejáveis, já que indicam a baixa confiabilidade do critério para prever as ocorrências (GARIANO et al., 2015).

Os critérios utilizados para os deslizamentos não foram eficientes, como mostra a Tabela 12. Mesmo para o critério menos restritivo ($AC_{72h} > 40\text{mm}$), a taxa de detecção ultrapassou os 50%, mas com uma proporção de alarmes falsos (PAF) muito elevada. No critério mais restritivo ($Ac_{72h} > 100\text{mm}$), atualmente utilizado pelo DPDCSA para todo o município de Santo André, o nível de alarmes falsos também é grande, passando de 50%, e a taxa de detecção não chega a 10%, significando muitas ocorrências sem a emissão de alarmes.

Para as inundações, os critérios estabelecidos também não chegaram a pontuações ideais, como está apresentado na Tabela 14. A exceção é o critério de intensidade de uma hora de precipitação acima de 30mm, que apesar de não ter chegado a um número alto de PD, no caso de utilização desse critério, poucos alarmes falsos seriam emitidos.

Pela observação da Tabela 9 e Tabela 10, em que os dias com mais de uma ocorrência aconteceram com maiores valores de precipitação diária, foi definido um segundo cenário, desconsiderando os dias com apenas uma ocorrência além dos dias com precipitação registrada igual à zero. A Tabela 15 mostra os dados utilizados no segundo cenário para deslizamentos, enquanto a Tabela 16 apresenta os valores recalculados das pontuações. As pontuações encontradas foram ligeiramente melhores, mas apresentaram os mesmos problemas, baixa detecção para critérios elevados e alto número de alarmes falsos para critérios menos restritivos.

Tabela 15 - Dados de deslizamentos e chuva - 2º cenário.

PRECIPITAÇÃO		OCORRÊNCIAS		Total de dias
		Ocorreu	Não Ocorreu	
Índices	Acu72h>40mm	16	119	135
	Acu72h<40mm	11	595	606
	Acu72h>60mm	15	54	69
	Acu72h<60mm	12	660	672
	Acu72h>80mm	10	22	32
	Acu72h<80mm	17	692	709
	Acu72h>100mm	3	5	8
	Acu72h<100mm	24	709	733
Total de dias		27	714	741

Tabela 16 - Pontuações para critérios de deslizamento - 2º cenário.

Índices	Probabilidade de Detecção (PD)	Probabilidade de Falsa Detecção (PFD)	Probabilidade de Alarme Falso (PAF)
Acu72h>100mm	11%	1%	63%
Acu72h>80mm	37%	3%	69%
Acu72h>60mm	56%	8%	78%
Acu72h>40mm	59%	17%	88%

O índice de Acu72h>100mm, utilizado pelo DPDCSA para a totalidade do município, apresenta uma baixa taxa de detecção, apesar de uma ótima probabilidade de falsa detecção. Esse último fato deve-se ao acumulado de três dias de precipitação que ultrapassou o valor de 100mm apenas em treze dias do período de análise, e somente em três dias houve deslizamentos. O critério que apresenta a melhor pontuação considerando os três resultados é o de Acu72h>60mm. Além de detectar mais de metade das ocorrências, possui uma baixa probabilidade de falsa detecção, indicando que de todos os dias analisados em menos de 10% aconteceriam alarmes falsos. A pontuação que não se apresenta satisfatória é da probabilidade de alarmes falsos, com um número elevado, que significa que de todos os alertas emitidos em apenas 18% dos casos ocorreram deslizamentos. Embora não tenha atingido pontuações ideais, esse critério pode ser utilizado com ressalvas, sendo necessário maior cuidado com a mensagem do alerta.

A Tabela 17 indica os dados utilizados no segundo cenário para inundações, e a Tabela 18 aponta os resultados das pontuações para este cenário.

Tabela 17 - Dados de inundações e chuva - 2º cenário

PRECIPITAÇÃO		OCORRENCIAS		Total de dias
		Ocorreu	Não Ocorreu	
Índices	l1h>50mm	2	0	2
	l1h<50mm	22	771	793
	l1h>30mm	10	1	11
	l1h<30mm	14	770	784
	l1h>20mm	13	18	31
	l1h<20mm	11	753	764
	l1h>10mm	15	116	131
	l1h<10mm	9	655	664
Total de dias		24	771	795

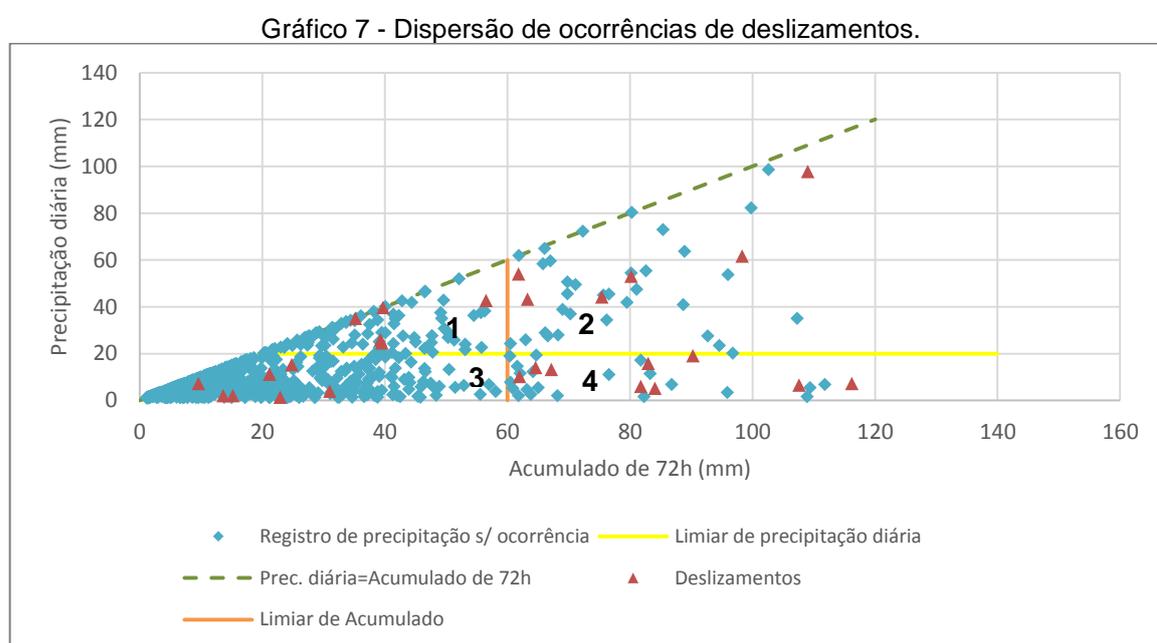
Tabela 18 - Pontuações para critérios de inundação - 2º cenário

Índices	Probabilidade de Detecção (PD)	Probabilidade de Falsa Detecção (PFD)	Probabilidade de Alarme Falso (PAF)
l1h>50mm	8%	0%	0%
l1h>30mm	42%	0%	9%
l1h>20mm	54%	2%	58%
l1h>10mm	63%	15%	89%

O critério de l1h>50mm, o utilizado pelo DPDCSA para inundações, não se mostrou eficiente devido a baixa taxa de detecção, apesar dos ótimos números nos outras duas pontuações. Esse limiar é muito restritivo, pois em todo o período analisado em apenas duas oportunidades houve precipitações com intensidade acima dos 50mm/h. O critério considerado mais adequado para indicar a ocorrência de inundações é o l1h>30mm. Dos doze casos que ocorreram precipitações acima de 30mm durante uma hora, em dez dias foram registradas ocorrências de inundação. Embora ainda possua uma detecção relativamente baixa, pois mais da metade das ocorrências não teria um alerta emitido, baixa probabilidade de alarme falso indica grande possibilidade ocorrência desse tipo de fenômeno quando o critério é ultrapassado. O critério de l1h>20mm também conseguiu pontuações boas, mas a ressalva é a mesma feita para o critério indicado para deslizamentos: cuidado com a informação transmitida, devido ao grande número de alarmes falsos que teriam sido emitidos. Os critérios podem ser utilizados em conjunto, indicando diferentes níveis de alerta, de acordo com a probabilidade de ocorrência aguardada.

A análise realizada a seguir foi a elaboração de gráfico de dispersão a partir da relação de precipitação diária e acumulado de 72h utilizando os dados do segundo cenário, como apresentado no Gráfico 7. Também estão assinalados o

limiar de precipitação acumulada acima de 60mm e limiar de precipitação diária de 20mm baseado em Mendes et al. (2015), para áreas urbanas, a reta da equação de precipitação acumulada igual a diária, e os dias com precipitação e sem ocorrências. Além disso, estão indicados quadrantes, de 1 a 4. No quadrante número um estão as ocorrências apenas acima do limiar sugerido por Mendes et al. (2015), no segundo quadrante estão as pontos acima dos dois critérios assinalados, o quadrante três identifica as abaixo de ambos os critérios e o quadrante número quatro as que estão apenas acima do limiar de precipitação acumulada de 72h de 60mm.



É notado que se adotados os dois critérios, para apenas sete dias com ocorrências não seriam emitidos alertas (quadrante 3). Com a utilização dos dois critérios num sistema de alerta, seria possível o estabelecimento de mais de um nível. O primeiro nível quando ultrapassa pelo menos um dos limiares (quadrantes 1 e 4) e o segundo nível de alerta no momento em que os dois critérios são ultrapassados. Mas verifica-se também que o número de alarmes falsos, pontos azuis nos quadrantes um, dois e quatro, seria muito elevado, daí a necessidade de muito cuidado na emissão dos alertas.

A fim de verificar a viabilidade desses limiares foram calculadas as pontuações referentes a cada quadrante, mantendo-se o segundo cenário. Os dados utilizados estão na Tabela 19 e as pontuações na Tabela 20. Não foram calculadas

as pontuações do quadrante 3, pois este quadrante está abaixo dos dois critérios analisados.

Tabela 19 - Dados utilizados para dois critérios de deslizamento - 2º cenário.

QUADRANTES	CRITÉRIO	OCORRÊNCIAS		Total de dias
		Ocorreu	Não Ocorreu	
1	Acu72h<60mm e Pd>20	5	92	97
2	Acu72h>60mm e Pd>20	6	33	39
3	Acu72h<60mm e Pd<20	7	568	575
4	Acu72h>60mm e Pd<20	9	21	30
Total de dias		27	714	741

Tabela 20 - Pontuações para dois critérios de deslizamento - 2º cenário.

Crítérios	Quadrante	Probabilidade de Detecção (PD)	Probabilidade de Falsa Detecção (PFD)	Probabilidade de Alarme Falso (PAF)
Acu72h<60mm e Pd>20	1	19%	13%	95%
Acu72h>60mm e Pd>20	2	22%	5%	85%
Acu72h>60mm e Pd<20	4	33%	3%	70%
Três critérios juntos	1, 2 e 4	74%	20%	88%

Dessa forma, nota-se que a adoção dos critérios em conjunto consegue detectar quase três quartos das ocorrências, mas os alarmes falsos representariam um quinto dos dias chuvosos. Esse resultado reforça a necessidade de utilização de mais de um critério, devido as diferentes condições que resultam em deslizamentos na bacia do córrego Guarará.

Por meio da verificação de descrições de cada ocorrência no segundo cenário, foi possível identificar dias com registro de inundações relativas a precipitações de um ou dois dias anteriores. Para os deslizamentos não foram encontradas anotações claras, definindo o dia da precipitação que resultou na ocorrência. Desta forma, foi estabelecido um terceiro cenário, apenas para inundações, em que foram excluídos os dias com ocorrências com claras informações de que as inundações foram causadas por chuvas de um ou dois dias antes. A Tabela 21 apresenta os dados utilizados no terceiro cenário das inundações e a Tabela 22 apresenta o resultado das pontuações para este caso.

Tabela 21 - Dados de inundações e chuva - 3º cenário.

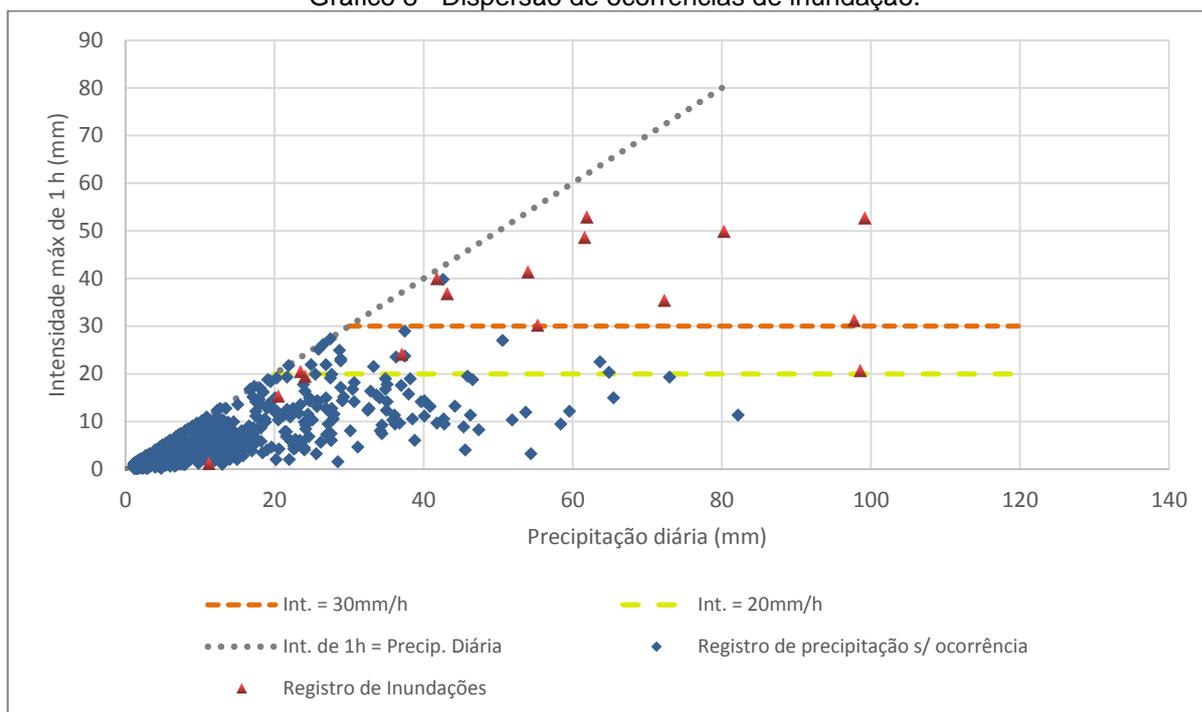
PRECIPITAÇÃO		OCORRENCIAS		Total de dias
		Ocorreu	Não Ocorreu	
Índices	I1h>50mm	2	0	2
	I1h<50mm	13	710	723
	I1h>30mm	10	1	11
	I1h<30mm	5	709	714
	I1h>20mm	13	15	28
	I1h<20mm	2	695	697
	I1h>10mm	14	99	113
	I1h<10mm	1	611	612
Total de dias		15	710	725

Tabela 22 - Pontuações para critérios de inundação - 3º cenário.

Índices	Probabilidade de Detecção (PD)	Probabilidade de Falsa Detecção (PFD)	Probabilidade de Alarme Falso (PAF)
I1h>50mm	13%	0%	0%
I1h>30mm	67%	0%	9%
I1h>20mm	87%	2%	54%
I1h>10mm	93%	14%	88%

No terceiro cenário novamente se destacam os índices de I1h>30mm e I1h>20mm, apresentando melhoras significativas nas probabilidades de detecção para ambos. Ainda é possível salientar a diminuição de 4% na proporção de alarmes falsos (PAF) para o critério de intensidade acima de 20mm/h. Com esses resultados se reforça a utilização desses dois critérios em conjunto. O Gráfico 8 indica a dispersão dos dias com inundações do terceiro cenário e os dias com registro de precipitação e sem ocorrência.

Gráfico 8 - Dispersão de ocorrências de inundação.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do DPDCSA.

Nota-se claramente que o critério de $1h > 30\text{mm}$ está adequado, pois acima desse critério há somente um alarme falso (ponto azul) e mais da metade dos dias com ocorrência. Embora o limiar de $1h > 20\text{mm}$ também possa ser utilizado, percebe-se que haveria um número elevado de alarmes falsos, daí a necessidade de cuidado ao utilizar esse critério. São identificados apenas três dias com inundações com intensidade menores do que 20mm/h , o que significa que seriam apenas três os casos de alarmes perdidos.

5.4 Tempo de concentração na bacia do córrego Guarará

O tempo de concentração é um importante fator para as inundações, pois indica o tempo necessário para se atingir a vazão de pico na foz de uma bacia hidrográfica (TOMAZ, 2011). Além do cálculo do tempo de concentração para a bacia inteira do córrego Guarará, foram definidas quatro seções da área de estudo, que formaram áreas de contribuição menores, com base nos bairros mais atingidos por inundações, de acordo com o terceiro cenário de análise da relação precipitação e ocorrência. Os bairros atingidos em cada área bem como os parâmetros morfométricos necessários para o cálculo do tempo de concentração estão apresentados na Tabela 23.

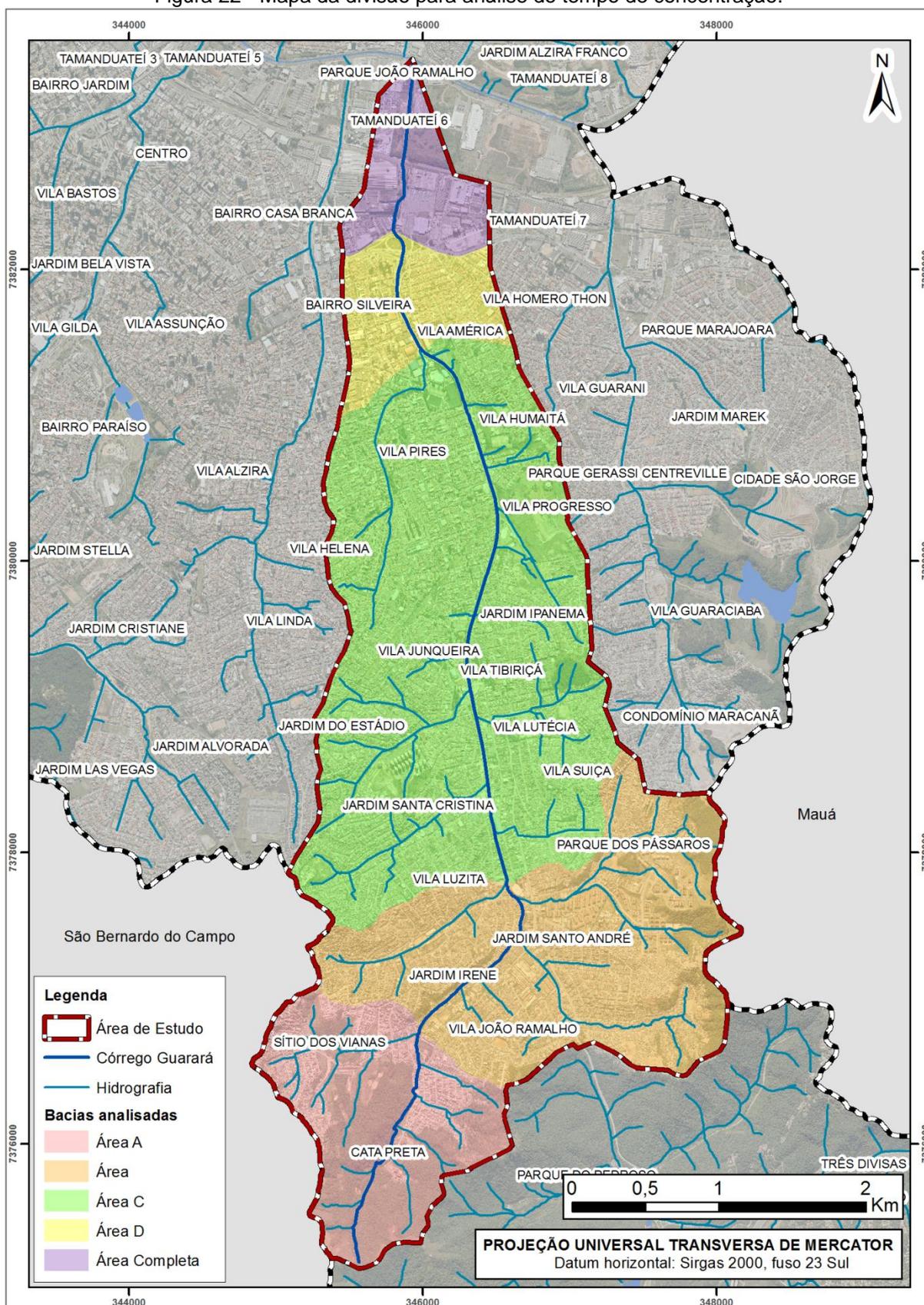
Tabela 23 - Dados das áreas de análise do tempo de concentração.

Parâmetro	Valores					Unidade	Símbolo
	Área A	Área B	Área C	Área D	Completa		
Área	1,93	5,53	11,89	12,71	13,4	km ²	<i>A</i>
Comprimento do canal principal	1771	3171	7052	7924	9132	m	<i>L</i>
Diferença de altitudes	99	108	129	130	136	m	Δh
Declividade média	0,05590	0,03406	0,01829	0,01641	0,01489	m/m	S_m
Declividade equivalente	55,90	34,06	18,3	16,41	14,90	m/km	S_e
Área impermeável máxima	0,39	0,55	0,61	0,62	0,63	Fração	A_{imp}
Área impermeável mínima	0,25	0,43	0,44	0,50	0,50	Fração	
Bairros atingidos	Jardim Irene; Sítio dos Vianas; Cata Preta; Vila Joao Ramalho.	Jardim Santo André; Vila Luzita;	Vila Humaitá; Vila Pires.	Vila América; Silveira.	-	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor.

Percebe-se diminuição da declividade ao longo da bacia do córrego Guarará, conforme o mapa de unidades geológico-geomorfológicas sugere. Também se percebe o aumento da área impermeável no sentido da foz. A Figura 22 apresenta o mapa com as áreas e destaca o córrego Guarará.

Figura 22 - Mapa da divisão para análise do tempo de concentração.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os tempos de concentração calculados estão apresentados na Tabela 24.

Tabela 24 - Tempos de concentração para a bacia do córrego Guarará e suas seções.

Método	Tempo de Concentração (min)				
	Área A	Área B	Área C	Área D	Completa
Kirpich	18	35	81	93	108
Carter	20	32	63	70	78
Desbordes p/ A_{imp} máx.	30	42	64	68	71
Desbordes p/ A_{imp} mín.	36	47	75	75	79

Observação: Os valores em destaque são os maiores (vermelho) e menores (azul).

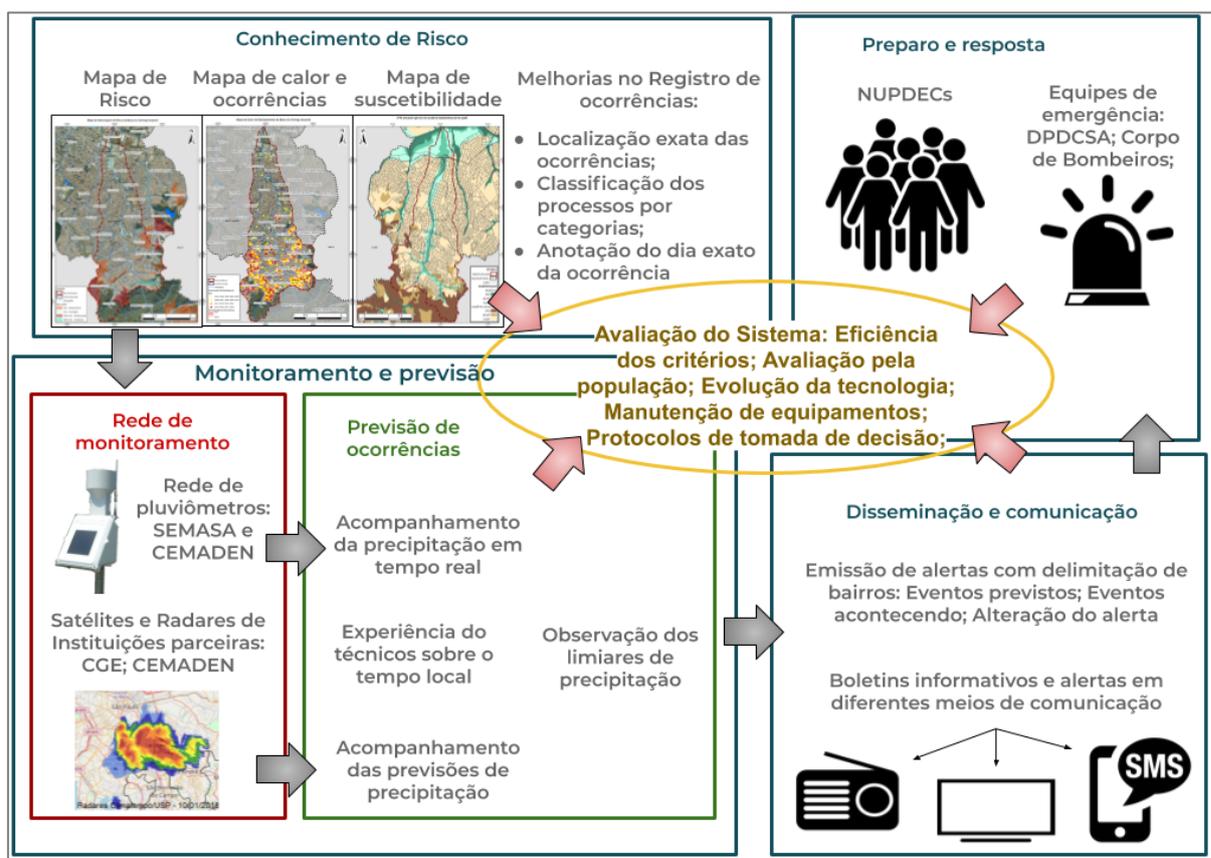
Há notável variação entre os tempos de concentração calculados com cada método, isso se deve ao caráter empírico desses métodos. Os métodos de Kirpich e Carter utilizam a declividade e comprimento do canal como variáveis, enquanto o método de Desbordes utiliza a declividade a área total e a área impermeável. Percebe-se a grande dependência do método de Kirpich e Carter com o comprimento do canal, pois apesar do pouco aumento na área de contribuição entre as Áreas C, D e a área total da bacia, o tempo de concentração possui aumentos significativos, em especial para o primeiro método listado. Para o método de Desbordes percebe-se que há uma melhor adequação à forma da bacia, o pouco aumento entre as Áreas C, D e total, reflete a forma alongada da bacia, com menor área de contribuição proporcional ao aumento do comprimento do canal.

O tempo de concentração indica aproximadamente o tempo desde o início da precipitação até que a vazão atinja seu pico e extravase na seção de controle. Dessa forma, percebe-se que com os dados de pluviômetros automáticos com medições a cada 10 minutos seria possível emitir alertas com antecedência de aproximadamente uma hora para as áreas C e D. Mas para o pior cenário previsto para as áreas A e B, 18 minutos e 32 minutos para atingir o pico de vazão, respectivamente, o tempo existente para a emissão de alertas é pequeno. Então é possível utilizar as medições dos pluviômetros para as áreas C e D, enquanto para as áreas A e B o mais adequado é a utilização da previsão de precipitação de radares ou satélites meteorológicos.

5.5 Modelo de sistema de alerta para bacia do córrego Guarará

O modelo de sistema de alerta para a bacia do córrego Guarará, Figura 23, é proposto com base nos quatro pilares de um sistema de alerta (UNISDR, 2006), considerando principalmente os novos critérios sugeridos para monitoramento e alerta e os instrumentos existentes.

Figura 23 - Modelo de sistema de alerta para a bacia do córrego Guarará.



Fonte: Elaborado pelo autor com base no modelo apresentado em Acosta-Coll et al., (2018).

O Quadro 14 identifica os atores chaves envolvidos em cada pilar do sistema de alerta. A identificação dos processos e mapeamento das áreas de risco deve ficar a cargo do DPDCSA, e sempre que possível receber apoio de outras entidades como o SEMASA e o CI-ABC. A comunidade acadêmica pode contribuir com a atualização dos métodos de mapeamento e dos critérios utilizados para monitoramento e alerta. A previsão e monitoramento fica a cargo dos três sistemas atualmente em funcionamento, a rede própria do município de Santo André, mantida pelo DPDCSA e SEMASA, a rede do CEMADEN, com os pluviômetros automáticos e o CGE, provendo as previsões de precipitação de satélite e radar.

Quadro 14 - Elementos e atores do sistema de alerta na bacia do córrego Guarará.

Elemento Chave	Ator chave
Conhecimento de Risco	DPDCSA; Comunidade acadêmica (UFABC e IPT, por exemplo); SEMASA; CI-ABC;
Previsão e Monitoramento	SEMASA/DPDCSA; CEMADEN; CGE;
Disseminação e Comunicação	SEMASA/DPDCSA; CEMADEN; CGE; Rádios locais; Redes de televisão; NUPDECs;
Preparo e Resposta	DPDCSA; NUPDECs; Defesa Civil Estadual-SP; Corpo de Bombeiros; Prestadores de serviços públicos (COMGÁS e ENEL, por exemplo);

Fonte: Elaborado pelo autor com base em UNISDR (2006).

Para a disseminação, além das instituições envolvidas no monitoramento e que são responsáveis pela definição dos alertas, é necessária a utilização de outros meios de comunicação, como rádios locais e televisão. Os NUPDECs são outro ator da disseminação, pois são a ligação direta do DPDCSA com as comunidades atingidas. Devido à presença dos NUPDECs nos locais ameaçados, esses núcleos podem ser os primeiros a responder no caso de uma ocorrência. Outros atores importantes do preparo e resposta são os bombeiros, em operações de busca e salvamento, empresas prestadoras de serviço público, para reestabelecer a segurança e manter a continuidade dos serviços. De acordo com a magnitude das ocorrências, pode ser necessário o apoio da Defesa Civil estadual.

5.5.1 *Conhecimento de risco*

Foram encontrados instrumentos que podem subsidiar o sistema de alerta na bacia do córrego Guarará quanto à identificação das áreas ameaçadas por inundações e deslizamentos, como o mapeamento de risco, de aptidão e de suscetibilidade. No município de Santo André, com um histórico de quase vinte anos da existência do mapeamento de risco no município e uma defesa civil atuante, as atualizações são realizadas pelo corpo técnico, durante os meses entre os períodos de chuva (SANTO ANDRÉ, 2016). Para a eficiência do sistema de alerta, é importante que o mapa de riscos esteja atualizado, com a identificação de novas áreas de risco e também de áreas em que houve diminuição ou até eliminação do risco.

O registro das ocorrências é ferramenta importante no auxílio ao mapeamento de risco, principalmente sua atualização. O histórico de inundações e deslizamentos deve ser utilizado em análises espaciais e temporais, em conjunto. A

localização das ocorrências indica as áreas mais afetadas por cada tipo de processo, e com a verificação dos anos é possível identificar áreas com aumento, manutenção ou diminuição na frequência de deslizamentos ou inundações. Os mapas de densidade de ocorrências que foram produzidos neste trabalho podem auxiliar na atualização das áreas de risco.

Quanto melhor e mais específico o cadastro das ocorrências for, mais será facilitado o trabalho de atualização. O histórico de ocorrências existentes possui informações importantes, mas pode ser melhorado. Com base na análise das ocorrências realizada nessa pesquisa foram identificados três pontos para evolução do registro de ocorrências:

- Apontar a localização exata da ocorrência, porque atualmente só é possível a espacialização das ocorrências pela aproximação do endereço, o que gera distorções, por exemplo, no caso de um deslizamento que ocorre nos fundos de um terreno;
- Anotar o dia exato da inundação ou deslizamento, pois a data de registro atual é a de abertura de chamado, no registro atual há casos de inundações que o cidadão pede auxílio devido às perdas causadas pela inundação do dia anterior;
- Classificação do processo por tipologia, pois hoje, inundações, enchentes e alagamentos não são diferenciados no cadastro de ocorrências.

Os dois primeiros pontos apontados são mais fáceis de serem implantados. Para identificar a localização com maior precisão é sugerido a utilização de aparelhos *GPS*, mas mesmo com *smartphones* seria possível a anotação das coordenadas da ocorrência, com menor exatidão que o aparelho *GPS*, pois existem aplicativos com essa funcionalidade. O segundo ponto pode ser atendido apenas perguntando para as pessoas atingidas quando aconteceu o evento, no próprio dia ou anteriormente. A última sugestão é mais complexa, pois envolve a necessidade de treinamento e aprendizado dos técnicos e agentes para identificar o tipo de processo, mas seria muito importante para diferenciar alagamentos de inundações, por exemplo.

Além do auxílio na identificação nas áreas de risco, o registro otimizado representaria um importante papel para a delimitação de limiares de precipitação que resultam em deslizamentos ou inundações.

5.5.2 Monitoramento e previsão

O segundo pilar de um sistema de alerta é o monitoramento e a previsão. O modelo proposto tem como base critérios de precipitação. Dessa forma o acompanhamento da previsão de chuva e da precipitação do momento são essenciais para o funcionamento desse sistema.

A rede de pluviômetros automáticos do CEMADEN, tanto localizados na área da bacia como em áreas limítrofes, deve ser utilizada para o acompanhamento da intensidade de precipitação, bem como os valores de chuva diária e acumulada de três dias. O CGE deve ser o principal fornecedor das previsões de precipitação, para que os alertas possam ser emitidos antecipadamente.

O Quadro 15 descreve os diferentes critérios propostos para a alteração de nível do POCV, que necessita da emissão de um alerta interno, e emissão de alerta a população. Além dos limiares sugeridos para a previsão de ocorrências de cada tipo de processo, são considerados também os critérios utilizados atualmente no POCV, que não estão relacionados a limiares críticos de precipitação, de forma a facilitar a adequação do modelo proposto ao que está em funcionamento atualmente.

Quadro 15 - Níveis de alerta e critérios para o sistema de alerta na bacia do córrego Guarará.

Nível	Critério	
	Deslizamentos	Inundações
Observação	-Início do plano: Mês de dezembro de cada ano. -Manter nível mínimo de atenção durante o período seco	De novembro a abril.
Atenção	Acumulado de 72h acima de 60mm OU precipitação diária acima de 20mm	Previsão de precipitação com intensidade acima de 30mm confirmada por agente em campo
Alerta	Acumulado de 72h acima de 60mm E precipitação diária acima de 20mm ou vistorias de campo identificando risco	Precipitação em pluviômetros com intensidade acima de 30mm/h
Alerta máximo	Quando ocorrerem deslizamentos generalizados	Quando ocorrerem inundações múltiplas

Fonte: Elaborado pelo autor, baseado em Carvalho, Macedo e Ogura (2007).

Fica clara a importância de equipes de campo, para a realização das vistorias e também para confirmação da previsão de precipitação. No caso dos deslizamentos são analisados dois critérios de precipitação diferentes, quando um deles é ultrapassado, emite-se o alerta referente à atenção. No momento em que ambos forem ultrapassados é emitido o segundo alerta, de nível superior. O critério para o estabelecimento do alerta máximo é a ocorrência de deslizamentos generalizados.

Devido aos baixos tempos de concentração encontrados, o primeiro nível está baseado na previsão da precipitação. Se for constatada precipitação em um dos pluviômetros internos ou na vizinhança da área de estudo com intensidade acima de 30mm/h em dez minutos (intervalo de medição do pluviômetro automático), é emitido segundo alerta informando alta probabilidade de inundação na bacia do córrego Guarará. O alerta máximo só deve ser emitido quando detectados múltiplos casos de inundação na área.

A diferença crucial entre os dois processos está no tempo de duração. Inundações na bacia do córrego Guarará ocorrem, às vezes, em menos de uma hora. Dessa forma, é possível o processo de tomada de decisões a partir da previsão de precipitação intensa ocorre num espaço de tempo de minutos ou no máximo algumas horas. Para os deslizamentos o cenário é diferente, pois a partir do momento em que um dos limiares é ultrapassado, dependendo da precipitação, o estado de atenção ou alerta pode durar mais de um dia.

5.5.3 Disseminação e comunicação

A disseminação da informação deve ser realizada por mais de um meio de comunicação, sempre que possível (ACOSTA-COLL et al., 2018). Existe no município de Santo André o serviço de alerta por mensagens de celular e também há o aplicativo desenvolvido pelo CI-ABC, que são meios importantes de disseminação, mas dependem do cidadão possuir um celular e estar cadastrado ou ter instalado o aplicativo. Dessa forma, além desse serviço, devem ser incluídos outros meios de comunicação, como rádio e televisão. Quando a informação for transmitida por meios não oficiais, deve ser clara que as fontes são os órgãos responsáveis pela gestão do risco no local, mantendo a credibilidade da mensagem.

Os alertas emitidos devem conter informações claras sobre qual a ameaça, porque há esse risco, qual a área que pode ser atingida, quando poderá acontecer a inundação ou deslizamento e que ações devem ser tomadas (WMO, 2010). O Quadro 16 apresenta orientações para a composição de mensagens conforme os dois níveis de alerta sugeridos, de atenção e alerta, e para cada processo. Conforme o exemplo da Figura 18 percebe-se que a informação está incompleta. São apenas transmitidas aos cidadãos às informações da possibilidade de chuva durante o dia, sem informar quais as ameaças que podem ser desencadeadas pela chuva prevista, e o cuidado de não adentrar áreas alagadas.

Quadro 16 - Guia de composição para mensagens de alerta

Aspecto	Modelo			
	Inundação		Deslizamento	
Ameaça				
Foco	Atenção	Alerta	Atenção	Alerta
Motivo	Previsão da precipitação	Precipitação constatada	Acumulado ou chuva diária	Acumulado, chuva diária e vistorias
Onde	Bairros ou área toda		Bairros ou área toda	
Quando	Estimativa de horas	Na próxima hora ou seguinte	Próximas horas	Próximas horas, ou menos
Orientações	Evitar se expor ao risco; Observar precipitação, rios e córregos; Atenção a novos alertas	Observar rios e córregos; Não se arriscar; Comunicar ocorrência;	Observar a precipitação e sinais de deslizamento; Atenção a novos alertas	Observar a precipitação e sinais de deslizamento; Comunicar ocorrência;
Informações	Como e onde obter mais informações		Como e onde obter mais informações	

Fonte: WMO (2010); UNISDR (2006); Acosta-Coll et al. (2018).

Um exemplo de alerta para o caso de inundações e foco em alerta pode ser: “Alerta de inundação: Precipitações intensas na região do córrego Guarará podem causar inundações e alagamentos nas próximas duas horas. Fique atento ao nível de rios e córregos e não enfrente alagamentos. Se estiver próximo a uma inundação, vá para terrenos mais altos e comunique a Defesa Civil. Para mais informações, acesse o site da defesa civil ou ligue 199.”

No caso de se chegar ao alerta máximo, além de informar se o cenário de risco continua ou não, devem ser indicados os locais e forma de obter auxílio emergencial.

5.5.4 Preparo e resposta

A resposta a um deslizamento ou inundação depende do nível de preparo (UNISDR, 2006). O POCV ocorre todo ano desde 2001 no município de Santo André e o DPDCSA está bem estruturado, o que reflete numa boa capacidade de resposta (SANTO ANDRÉ, 2016). Dessa forma, a sugestão deste trabalho é a manutenção dos princípios básicos que existem com a adaptação aos critérios sugeridos. As precipitações intensas encontradas no mês de novembro justificam maior atenção sobre as previsões de chuva intensa para os casos de inundações antes do início da operação, que ocorre apenas em dezembro. O histórico de deslizamentos aponta que é necessário um nível mínimo de monitoramento durante o período seco, já que foram registradas ocorrências durante esse período.

Também deve ser intensificado o trabalho com a população, por meio dos NUPDECs e atividades educativas, principalmente entre os meses de abril e outubro, que antecedem o período chuvoso.

5.5.5 Avaliação do Sistema

A avaliação do sistema de alerta deve ser realizada periodicamente, com a finalidade de identificar sua eficiência e encontrar problemas. Com base nas considerações de Parker (2017), sugere-se que devam ser avaliados os aspectos a seguir, tanto para deslizamentos como para inundações:

- Probabilidade de detecção de uma ocorrência;
- Confiabilidade: taxas de acerto, alarme falso e alarme perdido;
- Probabilidade (incerteza): quantidade ou porcentagem de certeza / incerteza associada à previsão;
- Tempo de antecedência: quão à frente no tempo uma previsão pode ser feita;
- Rapidez de alarme: com quanto tempo antes o alerta foi emitido;
- Resolução espacial: a menor área para a qual uma previsão pode ser feita;

Ainda de acordo com Parker (2017) devem ser realizadas avaliações do sistema junto à população:

- Informações sobre o alerta: avaliações dos destinatários sobre o grau em que o aviso forneceu as informações de que precisavam;
- Satisfação com o serviço de alerta: níveis de satisfação entre aqueles para quem as advertências de inundação foram/deveriam ter sido fornecidas;
- Redução de dano: quantidade de prejuízo evitado pela emissão do alerta;
- Proteção de vida: número avaliado de vidas e lesões evitadas pelo alerta;
- Relação custo-benefício: a relação entre os benefícios avaliados e os custos de fornecer um alerta; de inundação.

6. DISCUSSÃO

A partir da elaboração de um sistema de alerta para a bacia do córrego Guarará, principalmente os aspectos relacionados à delimitação de critérios para a ocorrência de deslizamentos e inundações, foi possível identificar limitações, desafios e boas práticas relacionadas aos sistemas de alerta para bacias hidrográficas em áreas urbanas de um modo geral.

O objetivo principal de um sistema de alerta é a emissão de alertas antes das ocorrências para que sejam tomadas ações que previnam a perda de vidas e de outros recursos (UNISDR, 2006). A identificação das ameaças é o primeiro passo para a implantação de um sistema alerta. O principal meio de verificar os processos que acontecem numa determinada área é o mapeamento de risco. Para os mapas de risco subsidiarem de forma eficiente um sistema de alerta é necessário que estes estejam sempre atualizados, e esse é o principal desafio encontrado para a identificação dos processos em áreas urbanas.

Nem todo município possui equipe técnica capaz de realizar a atualização dos mapeamentos de risco, sendo necessário o auxílio externo, que exige recursos que nem sempre estão disponíveis. Dessa forma, é importante o treinamento das equipes técnicas municipais e métodos viáveis para que elas próprias possam realizar as alterações nos mapas de risco, de acordo com obras realizadas, remoções e novas áreas urbanizadas. O registro das ocorrências é uma alternativa prática para a atualização dos mapas de risco. Para isso é essencial ter no registro a data e o local da ocorrência da forma mais exata possível.

O estabelecimento de limiares de chuva para áreas urbanizadas é outra dificuldade na implantação de um sistema de alerta. A inconsistência de dados é um dos problemas encontrados. Por exemplo, mais de um terço das ocorrências foi registrado em dias em que não houve precipitação, contrariando a premissa, exposta na revisão bibliográfica, de que inundações e deslizamentos são deflagrados pela chuva. Três hipóteses foram levantadas para explicar esse fato: falha no equipamento de medição; fatores antrópicos foram determinantes para a ocorrência; ou o chamado aberto na defesa civil foi feito em dias posteriores ao deslizamento.

Foi possível identificar algumas falhas no histórico de precipitação, como os meses de fevereiro, março e abril do ano de 2018, em que não houve nenhum

registro de precipitação. Embora algumas falhas como essas foram notadas, erros pontuais são mais difíceis de detectar. A situação apresentada por Mendes et al. (2018), de um deslizamento causado pelo vazamento de uma caixa d'água e precipitação em um talude alterado pela ocupação humana, reforça a segunda hipótese levantada, que possui base na revisão da literatura (MENDES et al., 2015; TATIZANA et al., 1987a e 1987b; GUIDICINI; IWASA, 1976). Apenas com as anotações do registro de ocorrências e histórico de precipitação não foi possível diferenciar os deslizamentos que sofreram ou não influência antrópica determinante para acontecerem. Para áreas urbanas, esse é um fator primordial na delimitação de critérios de precipitação para deflagração de deslizamentos. Pelas observações descritas no histórico de ocorrências, foi possível confirmar a terceira hipótese, principalmente nos casos de inundações.

Para a análise de critérios de precipitação para a bacia do córrego Guarará e com base nas hipóteses verificadas, alguns dados foram excluídos. Realizou-se a exclusão dos dias e ocorrências sem precipitação, dias com apenas uma ocorrência e dias com registro da ocorrência relativa à precipitação anterior. As modificações se mostraram suficientes para que fossem identificados critérios de precipitação para a ocorrência de deslizamentos e inundações na área de estudo, com base na eficiência quanto a probabilidade de detecção, probabilidade falsa detecção e probabilidade de falso alarme.

Os limiares adotados atualmente para a bacia do córrego Guarará se mostraram muito restritivos, pois detectam apenas 10% dos casos, aproximadamente. Isso significa que utilizando os critérios atuais haveria muitos casos de ocorrências sem a devida emissão de alerta. São sugeridos por este trabalho dois critérios de precipitação para monitoramento e previsão de deslizamentos na bacia do córrego Guarará. Para diminuir o número de alarmes falsos é sugerido que vistorias de campo sejam realizadas para a confirmação do cenário de risco e emissão ou não de alerta. A maior dificuldade de um sistema de alerta para deslizamentos em áreas urbanas é a imprevisibilidade da influência antrópica, seja para grandes ou pequenas áreas.

Foi identificado um critério para a previsão de inundações com boas pontuações na análise de eficiência, sendo considerado adequado para a utilização em um sistema de alerta. Para pequenas bacias (até 15km²) em áreas urbanizadas, o principal desafio encontrado para um sistema de alerta de inundações é a emissão

do alerta de forma antecipada, pois com a grande impermeabilização do solo há diminuição do tempo de concentração, o que acelera o processo de inundação. Soma-se a essa dificuldade a incerteza de previsões de satélites e radares, que auxiliariam na antecipação dos alertas. A utilização de previsões em conjunto com pluviômetros automáticos pode resultar em alertas emitidos com um tempo de antecedência aceitável.

É importante ressaltar que uma rede de monitoramento como a encontrada na bacia do córrego Guarará não é a realidade da maioria dos municípios brasileiros, em que as decisões devem ser tomadas com informações mais escassas ou incertas, muitas vezes baseadas apenas no conhecimento tácito da equipe técnica, o que diminui a eficiência do sistema de alerta.

A maneira como os alertas chegam à população é outro ponto essencial de um sistema de alerta. Neste trabalho é proposto um guia com as informações necessárias para que os alertas sejam entendidos e a comunidade atingida possa agir para se proteger. Além da clareza das informações, é preciso garantir que a informação chegue às populações em áreas de risco. No município de Santo André há o envio de alerta para aparelhos celulares cadastrados, mas é um meio restrito. É necessário implantar outras formas de se disseminar a informação.

Além da adoção de critérios menos restritivos de previsão de ocorrências de deslizamentos e inundações, é sugerido por esta pesquisa que as atividades de observação do POCV sejam iniciadas em novembro para a bacia do córrego Guarará, em especial para inundações, devido às precipitações intensas identificadas na análise do histórico de chuva. E que deve se manter um nível mínimo de observação para os critérios de deslizamento.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sistemas de alerta são partes primordiais na gestão de riscos. Representam um importante instrumento de mitigação do risco. Esta pesquisa buscou identificar os aspectos essenciais de um sistema de alerta e propor um modelo de sistema de alerta para a bacia do córrego Guarará. Por meio do trabalho realizado também foram identificados desafios para a implantação e funcionamento de um sistema de alerta.

O principal desafio encontrado para o estabelecimento de um sistema de alerta na bacia do córrego Guarará foi a definição dos critérios para os níveis de alerta. Essa dificuldade se deve principalmente à inconsistência dos dados obtidos. Foram utilizados diferentes cenários, desconsiderando alguns dados, e foram obtidos resultados que podem ser utilizados num sistema de alerta para a área de estudo, alterando os adotados atualmente.

Com exceção das dificuldades encontradas para a definição dos critérios, os outros aspectos de um sistema de alerta são bem tratados na área de estudo. A existência de mapeamento de risco e histórico de ocorrências facilita a identificação dos processos e delimitação das áreas de risco. Há uma rede de pluviômetros adequada e previsões meteorológicas externas disponíveis para a utilização no monitoramento da precipitação. O DPDCSA é bem estruturado e possui boa capacidade de resposta. Existem meios de disseminação de alerta, mas outros meios devem ser implantados para que o sistema consiga atingir a maior parte da população alvo.

O modelo de alerta proposto para a bacia do córrego Guarará traz como principal contribuição a definição de novos critérios para emissão de alertas para deslizamentos e inundações. Além disso, podem ser destacados os mapas de densidade de ocorrências, a identificação de áreas com ocorrências que não estão contempladas pelo mapeamento de risco, por meio dos mapas de calor e espacialização das ocorrências, a sugestão de início do POCV para novembro, que é fruto da análise do histórico de precipitação e dos limiares estabelecidos, e os modelos mensagens para alerta, para serem utilizados nos casos de deslizamentos ou inundações. O modelo proposto pode ser mais facilmente implantado por considerar diversos aspectos que são parte do POCV.

Também são apontados aspectos que devem ser avaliados, tanto na parte de eficiência dos critérios adotados e capacidade de previsão, quanto na verificação com a população da efetividade dos alertas emitidos.

O modelo proposto pode ser replicado, desde que as adaptações sejam feitas para os processos presentes na área em que se pretende implantar um sistema de alerta. Identificar quais serão os atores envolvidos e avaliar e estabelecer critérios de precipitação, ou algum outro critério no caso de outras ameaças que não deslizamentos e inundações, são os passos essenciais. Em municípios que não possuam um PPDC estruturado, esse trabalho pode servir de guia para nortear as ações na implantação de um sistema de alerta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABELLA, E. A. Castellanos; VAN WESTEN, C. J. Generation of a landslide risk index map for Cuba using spatial multi-criteria evaluation. **Landslides**, [s.l.], v. 4, n. 4, p. 311-325, 19 set. 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10346-007-0087-y>>. Acesso em: 05 maio 2019.

ACOSTA-COLL, Melisa et al. Real-Time early warning system design for pluvial flash floods: a review. **Sensors**, [s.l.], v. 18, n. 7, p. 2255-2281, 12 jul. 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3390/s18072255>>. Acesso em: 05 maio 2019.

ACOSTA-COLL, Melisa; BALLESTER-MERELO, Francisco; MARTÍNEZ-PEIRÓ, Marcos. Early warning system for detection of urban pluvial flooding hazard levels in an ungauged basin. **Natural Hazards**, [s.l.], v. 92, n. 2, p.1237-1265, 7 mar. 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11069-018-3249-4>>. Acesso em: 28 dez. 2018.

AHRENS, C Donald. **Meteorology today: an introduction to weather, climate, and the environment..** 9. ed. Belmont, USA: Cengage Learning, 2009. 514 p.

ALFIERI, Lorenzo et al. Operational early warning systems for water-related hazards in Europe. **Environmental Science & Policy**, [s.l.], v. 21, p. 35-49, ago. 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2012.01.008>>. Acesso em: 25 jan. 2019.

ALHEIROS, Margareth Mascarenhas. Gestão de riscos geológicos no Brasil. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**, São Paulo, Ed. especial, p. 109-122, nov. 2011. Disponível em: <<http://itpack31.itarget.com.br/uploads/abe/arquivos/RevistaABGEMargarethpdf.pdf>> . Acesso em: 18 abr. 2019.

ALMEIDA, Isabel Kaufmann de et al. Estimation on time of concentration of overland flow in watersheds: a review. **Geociências**, São Paulo, v. 33, n. 4, p. 661-671, jun. 2014. Disponível em: <https://www.revistageociencias.com.br/geociencias-arquivos/33/volume33_4_files/33-4-artigo-9.pdf>. Acesso em: 02 maio 2019.

ALVES, Humberto Prates de Fonseca. Vulnerabilidade socioambiental na metrópole paulistana: uma análise sociodemográfica das situações de sobreposição espacial de problemas e riscos sociais e ambientais. **Rev. Bras. de Est. Pop.**, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 43-59, jun. 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-30982006000100004&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acesso em: 01 ago. 2018.

ALVIOLI, Massimiliano et al. Implications of climate change on landslide hazard in Central Italy. **Science of the Total Environment**, [s.l.], v. 630, p. 1528-1543, jul. 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.315>>. Acesso em: 21 ago. 2018.

AMARAL, Ana Maria Carrascosa do et al. Correlação quantitativa de precipitação pluviométrica e ocorrência de escorregamentos e corridas de massa: coeficientes de

alerta meteorológico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 15, 2015, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: Abge, 2015. p. 1-8. CD-ROM.

AMARAL, Rosângela do; RIBEIRO, Rogério Rodrigues. Inundações e Enchentes. In: TOMINAGA, LidiaKeiko; SANTORO, Jair; AMARAL, Rosângela do (Org.). **Desastres Naturais: Conhecer para prevenir**. São Paulo: IG, 2009. Cap. 3. p. 39-52.

AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade. Ilhas de calor em Birigui/SP. **Revista Brasileira de Climatologia**, [s.l.], v. 1, n. 1, p. 121-130, 31 dez. 2005. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v1i1.25234>>. Acesso em: 20 maio 2019.

BALLIS, Bartosz et al. The Urban Flood Common Information Space for Early Warning Systems. **Procedia Computer Science**, [s.l.], v. 4, p. 96-105, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2011.04.011>>. Acesso em: 02 maio 2019.

BARREDO, J. I. Normalised flood losses in Europe: 1970–2006. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, [s.l.], v. 9, n. 1, p.97-104, 9 fev. 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5194/nhess-9-97-2009>>. Acesso em: 03 maio 2019.

BAUM, Rex L.; GODT, Jonathan W. Early warning of rainfall-induced shallow landslides and debris flows in the USA. **Landslides**, [s.l.], v. 7, n. 3, p. 259-272, 24 out. 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10346-009-0177-0>>. Acesso em: 03 maio 2019.

BECK, Ulrich. **Sociedade de Risco: Rumo a uma outra modernidade**. 2. ed. São Paulo: 34, 2011. 383 p.

BELABID, Nasreddine et al. Near-Real-Time flood forecasting based on satellite precipitation products. **Remote Sensing**, [s.l.], v. 11, n. 3, p. 252-269, 27 jan. 2019. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3390/rs11030252>>. Acesso em: 01 maio 2019.

BOGOTÁ. Alcaldía Mayor de Bogotá. **Riesgos, desastres y desarrollo em Bogota**: construyendoun sistema de indicadores sobre el impacto de la gestión de riesgos y la adaptación climática. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C., 2015. 88 p. CD-ROM.

BRASIL. Lei Federal nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Conversão da Medida Provisória nº 547, de 2011) Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nac. Brasília, Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm>. Acesso em: 01 ago. 2018.

BRUNETTI, M. et al. How far are we from the use of satellite rainfall products in landslide forecasting? **Remote Sensing of Environment**, [s.l.], v. 210, p. 65-75, jun. 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2018.03.016>>. Acesso em: 25 jan. 2019.

CALIFÓRNIA. California Water Boards. **Runoff Coefficient (C) Fact Sheet**. [s.l.]: CWB, 2009. 2 p. Disponível em: <https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/513.pdf>. Acesso em: 26 maio 2019.

CALVELLO, Michele et al. The Rio de Janeiro early warning system for rainfall-induced landslides: Analysis of performance for the years 2010–2013. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, [s.l.], v. 12, p. 3-15, jun. 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijdr.2014.10.005>>. Acesso em: 03 maio 2019.

CARDONA, Omar Dario. Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo: Elementos para el ordenamiento y la planeación del desarrollo. In: MASKREY, Andrew (Comp.). **Los desastres no son naturales**. Cidade do Panamá: La Red, 1993. p. 45-65. Disponível em: <<http://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/>>. Acesso em: 24 jul. 2018.

CARDONA, Omar Dario. Manejo ambiental y prevención de desastres: dos temas asociados. In: FERNANDEZ, María Augusta (Comp.). **Ciudades en riesgo: degradación ambiental, riesgos urbanos y desastres**. Cidade do Panamá: La Red, 1996. p. 57-76. Disponível em: <<http://www.desenredando.org/public/libros/1996/cer/>>. Acesso em: 24 jul. 2018.

CARDONA, Omar Dario. Midiendo lo inmedible: Indicadores de vulnerabilidad y riesgo. **Boletín Ambiental**, Manizales, n. 53, p. 1-8, maio 2006. Disponível em: <http://idea.manizales.unal.edu.co/fileadmin/boletines/boletines_ambientales/boletines_ambientales_20>. Acesso em: 24 jul. 2018.

CARMO, Roberto Luiz do; DAGNINO, Ricardo de Sampaio; JOHANSEN, Igor Cavallini. Transição demográfica e transição do consumo urbano de água no Brasil. **Revista Brasileira de Estudos de População**, [s.l.], v. 31, n. 1, p. 169-190, jun. 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s0102-30982014000100010>>. Acesso em: 25 jun. 2017.

CARVALHO, Celso Santos; GALVÃO, Thiago (Org.). **Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais**. Brasília: Ministério das Cidades, 2006. 113 p. CD-ROM.

CARVALHO, Celso Santos; MACEDO, Eduardo Soares de; OGURA, Agostinho Tadashi (Org.). **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios**. São Paulo: Ipt, 2007. 176 p. CD-ROM.

CARVALHO, Rodrigo Guimarães de. As bacias hidrográficas enquanto unidades de planejamento e zoneamento ambiental no Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente, n. 36, p. 26-43, jun. 2014.

CASAGLI, Nicola et al. Monitoring, prediction, and early warning using ground-based radar interferometry. **Landslides**, [s.l.], v. 7, n. 3, p. 291-301, 29 maio 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10346-010-0215-y>>. Acesso em: 26 fev. 2019.

CAVALCANTI, Iracema Fonseca de Albuquerque et al. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 463 p.

CEMADEN. **Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais**. 2019. Disponível em: <<https://www.cemaden.gov.br/>>. Acesso em: 18 abr. 2019.

CEPED (Santa Catarina). UFSC. **Grandes Desastres**. 2019. Disponível em: <<http://www.ceped.ufsc.br/category/grandes-desastres/>>. Acesso em: 02 maio 2019.

CERRI, Leandro Eugenio da Silva. Anexo I: Processos destrutivos. In: CARVALHO, Celso Santos; GALVÃO, Thiago (Org.). **Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais**. Brasília: Ministério das Cidades, 2006. Cap. 7. p. 101-103. CD-ROM.

CHOI, Clarence Edward; CUI, Yifei; ZHOU, Gordon G. D. Utilizing crowdsourcing to enhance the mitigation and management of landslides. **Landslides**, [s.l.], v. 15, n. 9, p. 1889-1899, 15 jul. 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10346-018-1034-9>>. Acesso em: 26 fev. 2019.

CI-ABC. **Consórcio lança aplicativo alerta ABC**. 2018. Disponível em: <<http://consorcioabc.sp.gov.br/noticia/3440/consorcio-lanca-aplicativo-alerta-abc>>. Acesso em: 02 maio 2019.

CI-ABC. **Lançamento do app Alerta ABC**. 2018. Disponível em: <<http://consorcioabc.sp.gov.br/galeria-de-fotos/463>>. Acesso em: 02 maio 2019.

COOLS, J. et al. An early warning system for flash floods in hyper-arid Egypt. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, [s.l.], v. 12, n. 2, p. 443-457, 27 fev. 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5194/nhess-12-443-2012>>. Acesso em: 05 maio 2019.

CPRM (Brasil). **Ação Emergencial para Delimitação de Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Enchentes, Inundações e Movimentos de Massa**. Santo André: CPRM, 2013. 13 p. CD-ROM.

CPTEC. **Índices de extremos climáticos**. Disponível em: <<ftp://ftp1.cptec.inpe.br/etamd/Projetos/Projeta/indices.pdf>>. Acesso em: 25 jul. 2018.

DEBOER, Mike. Understanding the heat map. **Cartographic Perspectives**, [s.l.], n. 80, p. 39-43, 18 ago. 2015. <http://dx.doi.org/10.14714/cp80.1314>. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.14714/cp80.1314>>. Acesso em: 02 maio 2019.

DEO, Ravinesh C. et al. A real-time hourly water index for flood risk monitoring: Pilot studies in Brisbane, Australia, and Dobong Observatory, South Korea. **Environmental Monitoring and Assessment**, [s.l.], v. 190, n. 8, p. 1-27, 4 jul. 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10661-018-6806-0>>. Acesso em: 28 dez. 2018.

DINIZ, Noris Costa. Cartografia geotécnica por classificação de unidades de terreno e avaliação de suscetibilidade e aptidão. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 29-77, jan. 2012. Disponível em: <http://www.abge.org.br/uploads/revistas/r_pdf/cartografia.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2018.

DIXON, N. et al. An acoustic emission landslide early warning system for communities in low-income and middle-income countries. **Landslides**, [s.l.], v. 15, n. 8, p. 1631-1644, 27 mar. 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10346-018-0977-1>>. Acesso em: 26 fev. 2019.

DOLIF, Giovanni et al. Resilience and brittleness in the ALERTA RIO system: a field study about the decision-making of forecasters. **Natural Hazards**, [s.l.], v. 65, n. 3, p. 1831-1847, 13 out. 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11069-012-0448-2>>. Acesso em: 02 maio 2019.

DOLIF, Giovanni; NOBRE, Carlos. Improving extreme precipitation forecasts in Rio de Janeiro, Brazil: are synoptic patterns efficient for distinguishing ordinary from heavy rainfall episodes? **Atmospheric Science Letters**, [s.l.], v. 13, n. 3, p. 216-222, 25 maio 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/asl.385>>. Acesso em: 28 fev. 2019.

ENGELBRECHT, Andre Felipe et al. A análise do trabalho dos meteorologistas na previsão de chuvas intensas no Rio de Janeiro. **Ação Ergonômica: Revista da Associação Brasileira de Ergonomia**, [s.l.], v. 2, n. 6, p. 11-17, dez. 2011. Disponível em: <<http://www.abergo.org.br/revista/index.php/ae/article/view/115>>. Acesso em: 15 ago. 2018.

FENG, Shiyuan; LI, Qingguo. Urban flood prevention and early warning system in Jinan City. **E3s Web of Conferences**, [s.l.], v. 38, p. 3047-3050, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1051/e3sconf/20183803047>>. Acesso em: 02 maio 2019.

FERREIRA, Artur Gonçalves. **Meteorologia Prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 255 p.

FERREIRA, Paula Fabyanne Marques. **Diagnóstico dos impactos socioambientais urbanos em Itacaré - BA**. 2011. 160 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/286904>>. Acesso em: 01 ago. 2018.

FOLHA DE SÃO PAULO (São Paulo). SP tem congestionamento recorde. **Folha de São Paulo**. São Paulo, p. 1. 25 maio 2005. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/fsp/cotidian/ff2505200530.htm>>. Acesso em: 05 maio 2019.

FRAGOSO, Marcelo. A utilização das imagens de radar meteorológico em Climatologia. **Finisterra**, [s.l.], v. 31, n. 61, p.29-42, 13 dez. 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.18055/finis1808>>. Acesso em: 05 maio 2019.

G1 (São Paulo). Chuva forte provoca alagamentos em SP e no ABC na noite deste domingo. **G1**. São Paulo, p. 1. 10 mar. 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2019/03/10/chuva-forte-provoca-alagamentos-em-sp-e-no-abc-na-noite-deste-domingo.ghtml>>. Acesso em: 05 maio 2019.

G1 (São Paulo). Chuva provoca alagamento no ABC. **G1**. São Paulo, p. 1. 02 fev. 2011. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sao-paulo/noticia/2011/02/chuva-provoca-alagamento-no-abc.html>>. Acesso em: 05 maio 2019.

GALINA, Márcia Helena; VERONA, Juliana Augusta. Fontes de observações meteorológicas no Estado de São Paulo. **Estudos Geográficos**: Revista Eletrônica de Geografia, Rio Claro, v. 2, n. 1, p.107-118, jun. 2004. Disponível em: <<https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/estgeo/article/view/254>>. Acesso em: 05 maio 2019.

GARIANO, S.I. et al. Calibration and validation of rainfall thresholds for shallow landslide forecasting in Sicily, southern Italy. **Geomorphology**, [s.l.], v. 228, p. 653-665, jan. 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.10.019>>. Acesso em: 26 fev. 2019.

GOUVEIA, Isabel Cristina Moroz-caccia. **Da originalidade do sítio urbano às formas antrópicas**: aplicação da abordagem da geomorfologia antropogênica na bacia hidrográfica do rio Tamanduateí, na Região Metropolitana de São Paulo. 2010. 385 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Geografia Física, Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-31012011-123012/pt-br.php>>. Acesso em: 02 ago. 2018.

GUIDICINI, Guido; IWASA, Oswaldo Yujiro. **Ensaio de correlação entre pluviosidade e escorregamentos em meio tropical úmido**. 1080. ed. São Paulo: IPT, 1976. 48 p. CD-ROM.

GUZZETTI, Fausto et al. The rainfall intensity–duration control of shallow landslides and debris flows: an update. **Landslides**, [s.l.], v. 5, n. 1, p. 3-17, 6 dez. 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10346-007-0112-1>>. Acesso em: 05 maio 2019.

HAPUARACHCHI, H. A. P.; WANG, Q. J.; PAGANO, T. C.. A review of advances in flash flood forecasting. **Hydrological Processes**, [s.l.], v. 25, n. 18, p. 2771-2784, 15 mar. 2011. Wiley. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/hyp.8040>>. Acesso em: 1 maio 2019.

HOGAN, Daniel Joseph. Mobilidade populacional, sustentabilidade ambiental e vulnerabilidade social. **Rev. Bras. de Est. Pop.**, São Paulo, v. 22, n. 2, p. 323-338, dez. 2005. Quadrimestral. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbepop/v22n2/v22n2a08.pdf>>. Acesso em: 01 ago. 2018.

HOGAN, Daniel Joseph; MARANDOLA JUNIOR, Eduardo. Bringing a population-environment perspective to hazards research. **Population and Environment**, [s.l.], v.

34, n. 1, p. 3-21, 19 fev. 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11111-012-0166-4>>. Acesso em: 28 jun. 2017.

HUANG, Huijun et al. Evaluation of the global and regional assimilation and prediction system for predicting sea fog over the south China sea. **Advances in Atmospheric Sciences**, [s.l.], v. 36, n. 6, p. 623-642, 12 abr. 2019. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s00376-019-8184-0>>. Acesso em: 01 maio 2019.

IBGE. **Censo demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 02 maio 2019.

ICSU-LAC. **Ciencia para una vida mejor: desarrollando programas científicos regionales en áreas prioritarias para America Latina y el Caribe**. Rio de Janeiro e Cidade do México: ICSU-LAC / Conacyt, 2010. 88 p. CD-ROM.

IDE, Fernanda Sugamore. **Escorregamento, meteorologia e precipitação: uma proposta de método de investigação para a prevenção e monitoramento de risco, aplicado em Campinas/SP**. 2005. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia Ambiental, Ipt, São Paulo, 2005. Disponível em: <http://cassiopea.ipt.br/teses/2005_TA_Fernanda_Sugamore_Ide.pdf>. Acesso em: 02 maio 2019.

IPCC. **Climate change 2013: The Physical Science Basis: Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Cli**. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. 1535 p. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>>. Acesso em: 01 ago. 2018.

IPCC. Glossary of Terms. In: FIELD, C. B. et al. **A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)**. Cambridge: Cambridge University Press, 2012. p. 555-564. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/report/srex/>>. Acesso em: 24 jul. 2018.

IPT. **Gestão de Áreas de Risco na Região do Grande ABC – Município de Santo André**. São Paulo: IPT, 2014. 3 v. Disponível em: <<http://www3.santoandre.sp.gov.br/defesacivil/plano-municipal-de-reducao-de-rios/>>. Acesso em: 01 ago. 2018.

JACOBI, Pedro. Dilemas socioambientais na gestão metropolitana: do risco à busca da sustentabilidade urbana. **Política & Trabalho**, João Pessoa, n. 25, p. 115-134, out. 2006. Semestral. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufpb.br/ojs/index.php/politicaetrabalho/article/view/6742>>. Acesso em: 01 ago. 2018.

KILL, Rodrigo Ferreira. **Análise de metacontingências da Lei 12.608/12 que define a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil**. 2016. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências do Comportamento, Instituto de Psicologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2016. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/21538/3/2016_RodrigoFerreiraKill.pdf>. Acesso em: 01 ago. 2018.

KLIJN, Frans et al. Adaptive flood risk management planning based on a comprehensive flood risk conceptualisation. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, [s.l.], v. 20, n. 6, p. 845-864, 12 mar. 2015. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11027-015-9638-z>>. Acesso em: 01 ago. 2018.

KLIJN, Frans et al. Preface: climate change proof flood risk management. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, [s.l.], v. 20, n. 6, p. 837-843, 3 jul. 2015. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11027-015-9663-y>>. Acesso em: 01 ago. 2018.

KOBIYAMA, Masatoet al. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Florianópolis: Organic Trading, 2006. 122 p. CD-ROM.

KOKS, E.e. et al. Combining hazard, exposure and social vulnerability to provide lessons for flood risk management. **Environmental Science & Policy**, [s.l.], v. 47, p. 42-52, mar. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2014.10.013>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462901114002056?via%3Dihub>>. Acesso em: 01 ago. 2018.

KRZHIZHANOVSKAYA, V.v. et al. Flood early warning system: design, implementation and computational modules. **Procedia Computer Science**, [s.l.], v. 4, p. 106-115, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2011.04.012>>. Acesso em: 02 maio 2019.

KRØGLI, Ingeborg K. et al. The Norwegian forecasting and warning service for rainfall- and snowmelt-induced landslides. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, [s.l.], v. 18, n. 5, p. 1427-1450, 25 maio 2018. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-18-1427-2018>.

LAM, Rex Pui Kin et al. Urban disaster preparedness of Hong Kong residents: A territory-wide survey. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, [s.l.], v. 23, p. 62-69, ago. 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijdr.2017.04.008>>. Acesso em: 05 maio 2019.

LAVELL, Allan et al. Climate change: new dimensions in disaster risk, exposure, vulnerability, and resilience. In: IPCC et al. **Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)**. Cambridge: Cambridge University Press, 2012. Cap. 1. p. 25-64. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/report/srex/>>. Acesso em: 01 ago. 2018.

LAVELL, Allan. Degradación ambiental, riesgo y desastre urbano: problemas y conceptos: hacia la definición de una agenda de investigación. In: FERNÁNDEZ, María Augusta (Comp.). **Ciudades em riesgo: Degradación ambiental, riesgos urbanos y desastres**. Cidade do Panamá: La Red, 1996. p. 12-42. Disponível em: <<http://www.desenredando.org/public/libros/1996/cer/>>. Acesso em: 24 jul. 2018.

LAVELL, Allan. Una nota sobre cambio y variabilidad. Gestión de riesgo y adaptación: ¿Hacia dónde vamos?. In: BRIONES, Fernando (Org.). **Perspectivas de investigación y acción frente al cambio climático en Latinoamérica**: Número especial de Desastres y Sociedad en el marco del XX Aniversario de La Red. Mérida: La Red, 2012. p. 221-229. Disponível em: <<http://www.desenredando.org/public/2012/>>. Acesso em: 01 ago. 2018.

LI, Jiangong et al. Acoustic emission monitoring technology for coal and gas outburst. **Energy Science & Engineering**, [s.l.], v. 7, n. 2, p. 443-456, 7 fev. 2019. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/ese3.289>>. Acesso em: 01 maio 2019.

LIMA, Mariana. Brasil já tem mais de um smartphone ativo por habitante, diz estudo da FGV. **O Estado de São Paulo**. São Paulo, 19 abr. 2018. Link, p. 1. Disponível em: <<https://link.estadao.com.br/noticias/geral,brasil-ja-tem-mais-de-um-smartphone-ativo-por-habitante-diz-estudo-da-fgv,70002275238>>. Acesso em: 01 maio 2019.

LIU, Changjun et al. A review of advances in China's flash flood early-warning system. **Natural Hazards**, [s.l.], v. 92, n. 2, p. 619-634, 21 abr. 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11069-018-3173-7>>. Acesso em: 24 jan. 2019.

MACEDO, Eduardo Soares de; OGURA, Agostinho Tadashi; SANTORO, Jair. O que é um Plano de Contingência ou Preventivo de Defesa Civil. In: CARVALHO, Celso Santos; GALVÃO, Thiago (Org.). **Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas**: Guia para Elaboração de Políticas Municipais. Brasília: Ministério das Cidades, 2006. Cap. 6. p. 76-91. CD-ROM.

MARANDOLA JUNIOR, Eduardo; HOGAN, Daniel Joseph. O risco em perspectiva: tendências e abordagens. **Geosul**, Florianópolis, v. 19, n. 38, p. 25-58, jan. 2004. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/13431>>. Acesso em: 01 ago. 2018.

MARANDOLA JUNIOR, Eduardo; HOGAN, Daniel Joseph. Vulnerabilidades e riscos: entre geografia e demografia. **Rev. Bras. de Est. Pop.**, São Paulo, v. 1, n. 22, p. 29-53, jun. 2005. Quadrimestral. Disponível em: <<https://www.rebep.org.br/revista/article/view/253>>. Acesso em: 01 ago. 2018.

MARCELINO, Emerson Vieira; NUNES, Lucí Hidalgo; KOBAYAMA, Masato. Banco de dados de desastres naturais: Análise de dados globais e regionais. **Caminhos da Geografia**, [s.l.], v. 19, n. 7, p. 130-149, out. 2006. Disponível em: <[http://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/Emerson%20et%20al%20\(UFU%202006\)%20vol.%207_n.%2019%20\(banco%20de%20dados\).pdf](http://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/Emerson%20et%20al%20(UFU%202006)%20vol.%207_n.%2019%20(banco%20de%20dados).pdf)>. Acesso em: 20 maio 2019.

MARCHIORI-FARIA, Daniela Girio; SANTORO, Jair. Gerenciamento de desastres naturais. In: TOMINAGA, Lidia Keiko; SANTORO, Jair; AMARAL, Rosângela do (Org.). **Desastres Naturais**: Conhecer para prevenir. São Paulo: IG, 2009. Cap. 10. p. 161-178.

MARENGO, J. A. et al. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. **International Journal of Climatology**, [s.l.], v. 29, n. 15, p. 2241-2255, dez.

2009. Disponível em: <<https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/joc.1863>>. Acesso em: 01 ago. 2018.

MARENGO, J. A.; VALVERDE, Maria Cleofé. Caracterização do clima no Século XX e Cenário de Mudanças de clima para o Brasil no Século XXI usando os modelos do IPCC-AR4. **Revista Multiciência**, Campinas, n. 8, p. 5-28, maio 2007. Disponível em: <https://www.multiciencia.unicamp.br/artigos_08/a_01_8.pdf>. Acesso em: 01 ago. 2018.

MARICATO, Ermínia. O Ministério das Cidades e a política nacional de desenvolvimento urbano. **IPEA: políticas sociais - acompanhamento e análise**, [s.i.], v. 1, n. 12, p. 211-220, fev. 2006. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/4508/1/bps_n.12_ensaio2_ministerio12.pdf>. Acesso em: 20 maio 2019.

MARTINE, George; MCGRANAHAN, Gordon. A transição urbana brasileira: trajetória, dificuldades e lições aprendidas. In: BAENINGER, Rosana (Org.). **População e Cidades: Subsídios para o planejamento e para as políticas sociais**. Campinas: UNFPA; Unicamp, 2010. Cap. 2. p. 11-24. Disponível em: <http://www.unfpa.org.br/Arquivos/populacao_cidade.pdf>. Acesso em: 20 maio 2019.

MCCUEN, Richard H.; WONG, Stanley L.; RAWLS, Walter J.. Estimating urban time of concentration. **Journal of Hydraulic Engineering**, [s.l.], v. 110, n. 7, p. 887-904, jul. 1984. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9429\(1984\)110:7\(887\)](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)0733-9429(1984)110:7(887))>. Acesso em: 26 maio 2019.

MELILLO, Massimo et al. A tool for the automatic calculation of rainfall thresholds for landslide occurrence. **Environmental Modelling & Software**, [s.l.], v. 105, p. 230-243, jul. 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.03.024>>. Acesso em: 27 fev. 2019.

MENDES, Rodolfo Moreda et al. Stability analysis on urban slopes: Case study of an anthropogenic-induced landslide in São José dos Campos, Brazil. **Geotechnical and Geological Engineering**, [s.l.], v. 36, n. 1, p. 599-610, 14 jul. 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10706-017-0303-z>>. Acesso em: 05 maio 2019.

MENDES, Rodolfo Moreda et al. Study of critical thresholds of landslides triggered by rainfall in the municipality of São José dos Campos/SP (Brazil). **Territorium**, [s.l.], n. 22, p. 119-129, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14195/1647-7723_22_8>. Acesso em: 20 mar. 2019.

MENDONÇA, Francisco de Assis; LEITÃO, Sanderson Alberto Medeiros. Riscos e vulnerabilidade socioambiental urbana: uma perspectiva a partir dos recursos hídricos. **Geotextos**, Salvador, v. 4, p. 145-163, dez. 2008. Disponível em: <<https://portalseer.ufba.br/index.php/geotextos/article/view/3300/2413>>. Acesso em: 01 ago. 2018.

METZGER, Pascale. Medio ambiente urbano y riesgos: elementos de reflexión. In: FERNANDEZ, María Augusta (Comp.). **Cidades em rios: degradação ambiental, riscos urbanos e desastres**. Cidade do Panamá: La Red, 1996. p. 43-56. Disponível em: <<http://www.desenredando.org/public/libros/1996/cer/>>. Acesso em: 24 jul. 2018.

MIRUS, Benjamin B. et al. Integrating real-time subsurface hydrologic monitoring with empirical rainfall thresholds to improve landslide early warning. **Landslides**, [s.l.], v. 15, n. 10, p.1909-1919, 15 maio 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10346-018-0995-z>>. Acesso em: 27 fev. 2019.

MOEL, H. de et al. Flood risk assessments at different spatial scales. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, [s.l.], v. 20, n. 6, p. 865-890, 22 maio 2015. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11027-015-9654-z>>. Acesso em: 01 ago. 2018.

MOLINA, Ellen; CARDOSO, Andréa; NOGUEIRA, Fernando. Relação precipitação-deslizamento no município de São Bernardo do Campo – SP. **Ciência e Natura**, [s.l.], v. 37, p. 46-54, 7 mar. 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5902/2179460x16214>>. Acesso em: 20 mar. 2019.

MOURA, Rodolfo Baesso et al. A abordagem da vulnerabilidade global em ações de redução de riscos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE REDUÇÃO DE RISCO DE DESASTRES, 3, 2017, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CBRD, 2017. p. 1 - 12. CD-ROM.

NEVES, Rafael Antonio Teixeira das. **O combate às enchentes no município de Santo André/SP: caracterização socioambiental do problema e subsídios dos afetados ao planejamento das ações de Defesa Civil**. 2008. 248 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-27032009-155824/pt-br.php>>. Acesso em: 02 maio 2019.

NIELAND, Carlette; MUSHTAQ, Shahbaz. The effectiveness and need for flash flood warning systems in a regional inland city in Australia. **Natural Hazards**, [s.l.], v. 80, n. 1, p. 153-171, 22 set. 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11069-015-1962-9>>. Acesso em: 01 maio 2019.

NOBRE, Carlos Afonso; YOUNG, Andrea F (Ed.). **Vulnerabilidades das megacidades brasileiras às mudanças climáticas: Região Metropolitana de São Paulo - Relatório Final**. São José dos Campos: INPE, 2011. 192 p. CD-ROM.

NOGUEIRA, Fernando Rocha. **Gerenciamento de riscos ambientais associados a escorregamentos: Contribuição às políticas públicas municipais para áreas de ocupação subnormal**. 2002. 269 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2002. CD-ROM.

NOGUEIRA, Fernando Rocha. Gestão de risco nos municípios. In: CARVALHO, Celso Santos; GALVÃO, Thiago (Org.). **Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas**: Guia para Elaboração de Políticas Municipais. Brasília: Ministério das Cidades, 2006. Cap. 3. p. 28-46. CD-ROM.

OLIVEIRA, Nathalia Silva de et al. Correlation between rainfall and landslides in Nova Friburgo, Rio de Janeiro - Brazil: a case study. **Environmental Earth Sciences**, [s.l.], v. 75, n. 20, p. 1-12, out. 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s12665-016-6171-7>>. Acesso em: 05 maio 2019.

OMI, Takahiro et al. Implementation of a real-time system for automatic aftershock forecasting in Japan. **Seismological Research Letters**, [s.l.], v. 90, n. 1, p. 242-250, 31 out. 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1785/0220180213>>. Acesso em: 01 maio 2019.

Organização das Nações Unidas. **World Statistics Pocket Book**: 2017 Edition. Nova Iorque: United Nation, 2017. 292 p. (5). Disponível em: <<https://unstats.un.org/unsd/publications/pocketbook/files/world-stats-pocketbook-2017.pdf>>. Acesso em: 01 ago. 2018.

PARKER, Dennis John. Flood warning systems and their performance. **Oxford Research Encyclopedia of Natural Hazard Science**, [s.l.], p. 1-20, 29 mar. 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1093/acrefore/9780199389407.013.84>>. Acesso em: 27 fev. 2019.

PINTO JUNIOR, Osvaldo Borges; ROSSETE, Amintas Nazareth. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do ribeirão Cachoeira, MT-Brasil. **Geoambiente Online**, [s.l.], v. 4, n. 1, p. 1-16, jun. 2005. Disponível em: <<https://www.revistas.ufg.br/geoambiente/article/view/25872>>. Acesso em: 26 maio 2019.

POSHTER, Jacob. **Smartphone ownership and internet usage continues to climb in emerging economies**: But advanced economies still have higher rates of technology use. [s.l.]: PewResearch Center, 2016. 45 p. Disponível em: <<https://www.pewglobal.org/2016/02/22/smartphone-ownership-and-internet-usage-continues-to-climb-in-e>>. Acesso em: 01 maio 2019.

RAIMUNDO, Clebson do Carmo; SANSIGOLO, Clóvis Angeli; MOLION, Luiz Carlos Baldicero. Tendências das classes de precipitação na região metropolitana de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [s.l.], v. 29, n. 3, p. 397-408, set. 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/0102-778620130655>>. Acesso em: 02 maio 2019.

REED, Seann; SCHAAKE, John; ZHANG, Ziya. A distributed hydrologic model and threshold frequency-based method for flash flood forecasting at u. **Journal of Hydrology**, [s.l.], v. 337, n. 3-4, p. 402-420, abr. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.02.015>.

RODRIGUES, Juliana Gueiros Fusato; VALVERDE, Maria Cleofé. Inundações urbanas na subbacia do Guarará – Santo André – SP: um problema recorrente. In:

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 22, 2017, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ABRH, 2017. p. 1-8. Disponível em: <http://evoluedoc.com.br/xxiisbrh/detalhes-715_inundacoes-urbanas-na-subbacia-do-guarara-santo-andre->. Acesso em: 01 ago. 2018.

ROSS, Jurandy Luciano Sanches; MOROZ, Isabel Cristina. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. **GeographyDepartment, UniversityofSao Paulo**, [s.l.], p.41-58, 1996. Universidade de Sao Paulo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBiUSP. **Erro! A referência de hiperlink não é válida.** Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/53703>>. Acesso em: 05 maio 2019.

SABER, Mohamed; YILMAZ, Koray. Evaluation and bias correction of satellite-based rainfall estimates for modelling flash floods over the Mediterranean region: Application to Karpuz river basin, Turkey. **Water**, [s.l.], v. 10, n. 5, p. 657-681, 18 maio 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3390/w10050657>>. Acesso em: 05 maio 2019.

SANTO ANDRÉ (Município). Decreto municipal nº 14.617, de 01 de fevereiro de 2001. Dispõe sobre o Programa "Operação Chuvas de Verão" - POCV no Município de Santo André. Santo André, SP, Disponível em: <<https://consulta.siscam.com.br/camarasantoandre/arquivo?Id=7533>>. Acesso em: 02 maio 2019.

SANTO ANDRÉ (Município). Lei municipal nº 9.621, de 25 de setembro de 2014. **Plano Diretor Municipal**. Santo André, SP, Disponível em: <http://www.cmsandre.sp.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=505&Itemid=64>. Acesso em: 25 jul. 2018.

SANTO ANDRÉ. DPDCSA. **Departamento de Defesa Civil de Santo André**. 2019. Disponível em: <<http://www3.santoandre.sp.gov.br/defesacivil/>>. Acesso em: 02 maio 2019.

SANTO ANDRÉ. PREFEITURA DE SANTO ANDRÉ. **Do atendimento emergencial à gestão de risco: Os 40 anos de atividades da Defesa Civil de Santo André**. Santo André: SEMASA, 2016. 103 p.

SANTORO, Jair. Correlação entre chuvas e deslizamentos ocorridos durante a operação do plano preventivo de Defesa Civil em São Paulo, SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL, 7, 2010, Maringá. **Anais...** Maringá: ABGE, 2010. p. 1-15. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/310801390_CORRELACAO_ENTRE_CHUVAS_E_DESLIZAMENTOS_OCORRIDOS_DURANTE_A_OPERACAO_DO_PLANO_PREVENTIVO_DE_DEFESA_CIVIL_EM_SAO_PAULO_SP>. Acesso em: 02 maio 2019.

SÃO PAULO (Estado). Decreto estadual nº 30.860, de 04 de dezembro de 1989. Dispõe sobre a aprovação e implantação do Plano Preventivo de Defesa Civil Específico para Escorregamentos nas Encostas do Mar. São Paulo, SP, Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1989/decreto-30860-04.12.1989.html>>. Acesso em: 02 maio 2019.

SÃO PAULO (Município). Decreto municipal nº 39.928, de 05 de outubro de 2000. Dispõe sobre o Centro de Gerenciamento de Emergências - CGE, e dá outras providências. São Paulo, SP, Disponível em: <<http://legislacao.prefeitura.sp.gov.br/leis/decreto-39928-de-5-de-outubro-de-2000>>. Acesso em: 02 maio 2019.

SÃO PAULO (Município). Decreto municipal nº 42.565, de 01 de dezembro de 1997. Redefine o Plano Preventivo de Defesa Civil - PPDC específico para Escorregamentos nas Encostas da Serra do Mar, e dá outras providências. São Paulo, SP, Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1997/decreto-42565-01.12.1997.html>>. Acesso em: 02 maio 2019.

SÃO PAULO. FCTH. **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: aspectos tecnológicos; fundamentos**. São Paulo: Prefeitura de São Paulo, 2012. 220 p. Vol. II. Disponível em: <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/urbanismo/biblioteca_digital/manual_de_drenagem/i>. Acesso em: 26 jul. 2018.

SEGONI, Samuele et al. Combination of rainfall thresholds and susceptibility maps for dynamic landslide hazard assessment at regional scale. **Frontiers in Earth Science**, [s.l.], v. 6, p. 1-11, 20 jun. 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3389/feart.2018.00085>>. Acesso em: 05 maio 2019.

SEGONI, Samuele; PICIULLO, Luca; GARIANO, Stefano Luigi. A review of the recent literature on rainfall thresholds for landslide occurrence. **Landslides**, [s.l.], v. 15, n. 8, p. 1483-1501, 2 mar. 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10346-018-0966-4>>. Acesso em: 27 fev. 2019.

SEMASA. **Santo André lança Programa Operação Chuvas de Verão 2018**. 2018. Disponível em: <semasa.sp.gov.br/santo-andre-lanca-programa-operacao-chuvas-de-verao-2018/>. Acesso em: 02 maio 2019.

SENEVIRATNE, Sonia et al. Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment. In: FIELD, C. B. et al. **Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation**: Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge: University of Cambridge Press, 2012. Cap. 3. p. 109-230. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/report/srex/>>. Acesso em: 01 ago. 2018.

SILVA, Harley; MONTE-MÓR, Roberto L.. Transições demográficas, transição urbana, urbanização extensiva: um ensaio sobre diálogos possíveis. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 17, 2010, Caxambu. **Anais...** Caxambu: ABEP, 2010. p. 1-16. Disponível em: <<http://www.abep.org.br/publicacoes/index.php/anais/article/view/2420/2374>>. Acesso em: 02 maio 2019.

SILVEIRA, André. Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [s.l.], v. 10, n. 1, p. 5-

29, 2005. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v10n1.p5-29>>. Acesso em: 02 maio 2019.

SOBREIRA, Frederico Garcia; SOUZA, Leonardo Andrade de. Cartografia geotécnica aplicada ao planejamento urbano. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**, São Paulo, v. 2, p. 79-97, jan. 2012. Disponível em: <http://www.abge.org.br/uploads/revistas/r_pdf/RevistaABGE-art3.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2018.

SORENSEN, John H. Hazard warning systems: Review of 20 years of progress. **Natural Hazards Review**, [s.i.], v. 2, n. 1, p. 119-125, maio 2000. Disponível em: <<https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%291527-6988%282000%291%3A2%28119%29>>. Acesso em: 02 maio 2019.

SOUZA, Nayara Silva et al. Análise das características morfométricas e de susceptibilidade a enchentes da sub-bacia do Rio das Fêmeas, Oeste da Bahia com uso de Geotecnologias. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17, 2015, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: INPE, 2015. p. 1884-1891. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0376.pdf>>. Acesso em: 26 maio 2019.

STOCKER, Thomas F. et al. Technical Summary. In: IPCC. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis: Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. p. 33-115. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>>. Acesso em: 01 ago. 2018.

TARIFA, José Roberto; ARMANI, Gustavo. **Unidades Climáticas Urbanas da Cidade de São Paulo**. São Paulo: SVMA/PMSP, 2001. 86 p. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/318744029/Unidades-Climaticas-Urbanas-da-Cidade-de-Sao-Paulo-pdf>>. Acesso em: 02 ago. 2018.

TARPANELLI, Angelica et al. Discharge estimation and forecasting by MODIS and altimetry data in Niger-Benue River. **Remote Sensing of Environment**, [s.l.], v. 195, p. 96-106, jun. 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2017.04.015>>. Acesso em: 01 maio 2019.

TATIZANA, Celso et al. 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...** São Paulo: ABGE, 1987. v. 2, p. 225 - 237. CD-ROM.

TATIZANA, Celso et al. Modelamento numérico da análise de correlação entre chuvas e escorregamentos aplicado às encostas da serra do mar no município de Cubatão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 5, 1987, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABGE, 1987. v. 2, p. 237 - 248. CD-ROM.

TERLIEN, Mark T. J. The determination of statistical and deterministic hydrological landslide-triggering thresholds. **Environmental Geology**, [s.l.], v. 35, n. 2-3, p. 124-

130, 27 ago. 1998. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s002540050299>>. Acesso em: 27 fev. 2019.

TOMAZ, Plínio. Tempo de Concentração. In: TOMAZ, Plínio. **Cálculos Hidrológicos e Hidráulicos para obras municipais**. 2. ed. São Paulo: Navegar Editora, 2011. Cap. 4. p. 68-104.

TOMINAGA, LidiaKeiko. Desastres Naturais: Por que ocorrem? In: TOMINAGA, LidiaKeiko; SANTORO, Jair; AMARAL, Rosangela do. **Desastres Naturais: Conhecer para prevenir**. São Paulo: Ig, 2009. Cap. 1. p. 11-24.

TOMINAGA, Lídia Keiko; SANTORO, Jair; AMARAL, Rosangela (Org.). **Desastres Naturais: Conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. 196 p.

UFABC (Santo André). **Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização: instrumento de planejamento para prevenção de desastres naturais nos municípios de Ribeirão Pires e Santo André, região do Grande ABC, Estado de São Paulo: Relatório 3: Elaboração das cartas de processos decorrentes de eventos geológico-geotécnicos e hidrológicos e problemas correlatos**. Santo André: UFABC, 2016. 114 p. CD-ROM.

UFABC (Santo André). **Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização: instrumento de planejamento para prevenção de desastres naturais nos municípios de Ribeirão Pires e Santo André, região do Grande ABC, Estado de São Paulo: Relatório 4: Resultados da elaboração das Cartas de Aptidão à Urbanização face aos desastres naturais do município de Santo André**. Santo André: UFABC, 2016. 173 p. CD-ROM.

UNISDR. **Living with risk: A global review of disaster reduction initiatives**. Nova Iorque: Unisdr, 2004. 457 p. Disponível em: <<https://www.unisdr.org/we/inform/publications/657>>. Acesso em: 03 jul. 2017.

UNISDR. **Developing early warning systems: A checklist**. Bonn: UNISDR, 2006. 13 p. Disponível em: <<https://www.unisdr.org/we/inform/publications/608>>. Acesso em: 02 maio 2019.

UNISDR. **Terminology on Disaster Risk Reduction**. Genebra: United Nations, 2009. 35 p. Disponível em: <<https://www.unisdr.org/we/inform/publications/7817>>. Acesso em: 01 ago. 2018.

UOL (São Paulo). Rio transborda e deixa pessoas ilhadas em Santo André (SP); casa desaba e mata um em Mauá. **UOL**. São Paulo, p. 1. 18 jan. 2011. Disponível em: <<https://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2011/01/18/rio-transborda-e-deixa-pessoas-ilhadas-em-santo-andre-sp.htm>>. Acesso em: 05 maio 2019.

VALLE SILVA, Nelson do; BARBOSA, Maria Lígia de Oliveira. População e estatísticas vitais. In: BRASIL. IBGE. **Estatísticas do Século XX**. Rio de Janeiro: IBGE, 2006. Cap. 2. p. 29-57. Disponível em: <<https://seculoxx.ibge.gov.br/publicacao>>. Acesso em: 24 maio 2019.

VICENS, R S; MARQUES, J S. Características morfométricas e sua relação com a hidrologia de bacias hidrográficas de tabuleiros costeiros no norte do Espírito Santo, Brasil. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 6, 2006, Goiânia. **Anais...** Goiânia: UGB, 2006. p. 1-14. Disponível em: <<http://lsie.unb.br/ugb/sinageo/6/2/053.pdf>>. Acesso em: 26 maio 2019.

VILLAÇA, Flávio. Efeitos do espaço sobre o social na metrópole brasileira. In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPUR, 7, 1997, Recife. **Anais...** Recife: ANPUR, 1997. v. 3, p. 1375 - 1385. CD-ROM.

VUILLAUME, J. F. et al. Sub-seasonal extreme rainfall prediction in the Kelani River basin of Sri Lanka by using self-organizing map classification. **Natural Hazards**, [s.l.], v. 94, n. 1, p. 385-404, 21 jun. 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11069-018-3394-9>>. Acesso em: 24 jan. 2019.

WERNSTEDT, Kris et al. How emergency managers (mis?)interpret forecasts. **Disasters**, [s.l.], v. 43, n. 1, p. 88-109, 12 jun. 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/disa.12293>>. Acesso em: 01 maio 2019.

WILCHES-CHAUX, Gustavo. La vulnerabilidad global. In: MASKREY, Andrew (Comp.). **Los desastres no son naturales**. Cidade do Panamá: La Red, 1993. p. 11-44. Disponível em: <<http://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/>>. Acesso em: 24 jul. 2018.

WMO. **Guidelines on early warning systems and application of nowcasting and warning operations**. Genebra: WMO, 2010. 25 p. Disponível em: <http://www.wmo.int/pages/prog/amp/pwsp/publicationsguidelines_en.htm>. Acesso em: 02 maio 2019.

XAVIER, Teresinha de Maria Bezerra Sampaio; XAVIER, Airton Fontenele Sampaio; DIAS, Maria Assunção Faus da Silva. Evolução da precipitação diária num ambiente urbano: o caso da cidade de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 44-53, jun. 1994. CD-ROM.

YANG, Zifan et al. Synoptic Conditions and Moisture Sources for Extreme Snowfall Events Over East China. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, [s.l.], v. 124, n. 2, p. 601-623, 22 jan. 2019. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1029/2018jd029280>>. Acesso em: 01 maio 2019.

ZEHE, Erwin; BLÖSCHL, Günter. Predictability of hydrologic response at the plot and catchment scales: Role of initial conditions. **Water Resources Research**, [s.l.], v. 40, n. 10, p. 1-21, out. 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1029/2003wr002869>>. Acesso em: 21 ago. 2018.

ZHAI, Xiaoyan et al. Rainfall threshold determination for flash flood warning in mountainous catchments with consideration of antecedent soil moisture and rainfall pattern. **Natural Hazards**, [s.l.], v. 94, n. 2, p. 605-625, 11 jul. 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11069-018-3404-y>>. Acesso em: 05 maio 2019.

ZHOU, Ruixu et al. A new prediction model of daily weather elements in Hainan province under the typhoon weather. **Meteorology And Atmospheric Physics**, [s.l.], v. 131, n. 2, p. 137-156, 9 nov. 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s00703-017-0567-0>>. Acesso em: 01 maio 2019.