

APLICAÇÃO DE ANÁLISE MULTIVARIADA PARA A CONSTRUÇÃO DE INDICADORES AMBIENTAIS NA RELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO E DESLIZAMENTOS

APPLICATION OF MULTIVARIATE ANALYSIS FOR THE CONSTRUCTION OF ENVIRONMENTAL
INDICATORS ON THE RELATIONSHIP BETWEEN PRECIPITATION AND LANDSLIDES IN
THE ASSESSMENT OF SOCIO-ENVIRONMENTAL VULNERABILITY

Ricardo Brambila Bosco 

Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal do ABC (UFABC) – São André (SP), Brasil.

Andrea de Oliveira Cardoso 

Professora do Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas (CECS), UFABC – São André (SP), Brasil.

Andrea Ferraz Young 

Pesquisadora no Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) – São José dos Campos (SP), Brasil.

Endereço para correspondência:

Ricardo Brambila Bosco –
Avenida dos Estados, 5001 –
Santa Terezinha – CEP 09210-580 –
São André (SP), Brasil –
E-mail: ricardobrb@hotmail.com

Recebido em: 13/05/2019

Aceito em: 26/08/2019

RESUMO

Este trabalho avaliou a vulnerabilidade socioambiental à ocorrência de deslizamentos em uma área da Região Metropolitana do Vale do Paraíba, no estado de São Paulo, através da construção de índices ambientais e socioeconômicos, visando à criação de um índice sintético, denominado índice de vulnerabilidade geral (IVG). Consideraram-se indicadores obtidos através do Censo Demográfico de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, de séries históricas pluviométricas da Agência Nacional de Águas e de registros de ocorrências de deslizamentos (1990 a 2016). O método estatístico de análise de componentes principais foi utilizado para obter um indicador que representasse a relação entre a precipitação e as ocorrências de deslizamentos. A partir de todos os indicadores, construíram-se os índices de vulnerabilidade ambiental e social, obtendo-se assim o IVG. Os resultados mostraram um índice muito elevado de vulnerabilidade nas regiões de Campos do Jordão e Natividade da Serra devido, principalmente, à contribuição dos indicadores de chuva-deslizamento e socioeconômicos, respectivamente.

Palavras-chave: análise de componentes principais; região metropolitana do Vale do Paraíba; movimento de massa.

ABSTRACT

This work evaluated the socio-environmental vulnerability to the occurrence of landslides in the Paraíba Valley Metropolitan Region, São Paulo state, through the construction of environmental and socioeconomic indices, aiming at the creation of a synthetic index called the General Vulnerability Index (GVI). Indicators obtained in the Demographic Census (2010) from Brazilian Institute of Geography and Statistics were used. The rainfall data and the records of landslides (1990-2016) were obtained at the National Water Agency. The statistical method of Principal Components Analysis to obtain an indicator that represented the relationship between precipitation and landslides. Based on these indicators, the environmental (EVI) and social vulnerability indexes (SVI) were constructed, providing the GVI. In the results, a very high vulnerability index value can be observed in Campos do Jordão and Natividade da Serra regions, due to the contribution of rainfall-landslide and socioeconomic indicators, respectively.

Keywords: principal component analysis; Paraíba Valley metropolitan region; mass movement.

INTRODUÇÃO

Nessas últimas décadas, tornaram-se evidentes as transformações nos ambientes naturais impostas pelas atividades humanas, trazendo consigo melhorias e benfeitorias, mas também problemas gerados pelos impactos produzidos por desastres, por conta da interferência do ser humano em seu território, tais como a retirada de cobertura vegetal, a ocupação de áreas fluviais, entre outras. Esses problemas afetam sobretudo populações vulneráveis, que não possuem habilidades e/ou capacidades de absorção e recuperação de eventos perigosos (SANTOS, 2015).

O aumento da desigualdade socioeconômica, a deficiência dos serviços de saúde pública, a ineficiência da governança, entre outros aspectos, podem aumentar a vulnerabilidade dentro de um grupo de indivíduos (ADGER *et al.*, 2004). O conceito de vulnerabilidade é estudado por várias áreas da ciência, entre elas a ambiental, a social, a econômica, a climática e a cultural.

De acordo com Londe *et al.* (2018), a segregação e a exclusão continuaram a ser uma realidade brasileira nos séculos XX e XXI, tendo como consequência os desastres socioambientais, que se expressam pela superposição espacial de problemas sociais e ambientais e explicam a relação entre os piores indicadores socioeconômicos e os riscos de inundações e deslizamentos de terra.

Um dos desafios para a redução da vulnerabilidade na América Latina e no Caribe é como provocar diálogos entre governos, cientistas, mídia, instituições privadas, organizações não governamentais (ONGs) e cidadãos, onde os desastres sejam vistos como pontos centrais em suas vidas sociais, políticas e econômicas, e não como eventos que acontecem sem uma causa profunda em seus hábitos e costumes (MARCHEZINI *et al.*, 2017).

Em um estudo elaborado por Cutter, Boruff e Shirley (2003) sobre vulnerabilidade relacionada a riscos ambientais são demonstradas algumas perspectivas distintas que podem ser trabalhadas e que ainda são consideradas referências nos dias atuais, diante da problemática vivenciada pela sociedade no que diz respeito aos perigos e riscos socioambientais. O conhecimento sobre demografia populacional e as condições de vida em áreas de risco são cruciais para o gerenciamento de risco e resposta a desastres (DE ASSIS DIAS *et al.*, 2018).

Segundo Markovic *et al.* (2017), a vulnerabilidade é descrita como uma função de três componentes: perigo, exposição/sensibilidade e capacidade adaptativa, sendo que essa última pode ser caracterizada como a capacidade de um sistema (indivíduo, sociedade, economia, infraestrutura etc.) se ajustar a forças externas (perigos, eventos extremos), regular os impactos negativos, lidar com as consequências e aproveitar as oportunidades.

Para Cardona (2004), vulnerabilidade é a disposição preestabelecida ou a fragilidade física, econômica, política ou social, em que uma comunidade pode ser atingida ou sofrer algum dano no caso de um evento de origem natural ou antrópica. O autor discute que na maioria das vezes não é necessário haver um desastre “natural” para que o indivíduo seja considerado vulnerável, pois esse processo pode decorrer de outros fatores, por exemplo, dificuldades de acesso a informações e serviços públicos de qualidade (educação, saneamento e saúde, segurança, renda, habitação, transporte).

Na análise e gestão de riscos ambientais, foi apontada a importância de se avaliar além dos aspectos físicos, considerando os contextos e as causas sociais, pois havia um distanciamento, nas décadas passadas, entre os riscos de desastres naturais e a vulnerabilidade social. Isso ocorria em função de uma visão tecnocrática que estabelecia que os desastres deveriam ser considerados eventos extremos físicos que requeriam soluções tecnológicas (Aledo; Sulaiman, 2015).

A vulnerabilidade socioambiental urbana, na maioria dos casos, pode estar relacionada à segregação espacial urbana e aos processos de desigualdade social, relacionados (ou não) ao crescimento demográfico. Esses processos podem expor, principalmente as populações mais pobres, a um estado de vulnerabilidade, especialmente nas áreas públicas de preservação ou nas áreas periféricas, com pouca e/ou nenhuma infraestrutura de bens e serviços públicos para um atendimento adequado (Souto Maior; Candido, 2014).

Segundo Cabral e Cândido (2019), há uma contradição marcante no fenômeno da urbanização, pois o crescimento das cidades não está alinhado ao desenvolvimento urbano, causando aumento da vulnerabilidade, tanto em termos do habitat humano quanto do

ambiente construído, e conseqüentemente diminuindo as capacidades de resiliência sociais e ecológicas.

No Brasil, a segunda metade do século XX foi marcada por um processo de urbanização acelerado, pelo menos em parte do território, principalmente nas zonas periféricas das cidades, que passaram a expressar problemas distintos, relacionados sobretudo ao adensamento populacional, degradação da paisagem, poluição do ar, água e solo e alterações nas características da atmosfera local, que podem ter levado a alterações climáticas locais e até globais, elevando os níveis de vulnerabilidade de sistemas, populações e indivíduos (ZANELLA, 2008).

Um aumento na frequência e intensidade de eventos climáticos extremos tem levado a considerar que eles podem incrementar as potenciais ameaças em áreas ambientalmente e socialmente vulneráveis (IPCC, 2014; VALVERDE, 2017). Existem projeções de cenários climáticos que confirmam o aumento da frequência, intensidade e duração dos eventos extremos, tais como chuvas intensas, tempestades e secas. Muitos eventos de chuva intensa causam deslizamentos de terra e inundações (MENDES *et al.*, 2018; IPCC, 2014) e podem gerar desastres de diferentes impactos.

Assim sendo, é fundamental conduzir estudos que relacionem os diversos fatores envolvidos, reconhecendo que são dinâmicos, por exemplo, os processos de urbanização e as alterações ambientais mudam ao longo do tempo, assim como seus impactos. Essa questão é relevante diante do quadro de suscetibilidade do ambiente (natural e construído) degradado, e de uma população de baixa renda vivendo em áreas periféricas sem infraestrutura adequada e sem acesso a serviços básicos como educação, saúde e transporte.

O entendimento da base conceitual sobre a vulnerabilidade e a aplicação de indicadores e índices, que representem as características e condições ambientais e socioeconômicas da Região Metropolitana do Vale do

Paraíba (RMVP), podem auxiliar na avaliação da vulnerabilidade socioambiental relacionada aos riscos de deslizamentos ocorridos nessa área.

Em seus estudos, Vincent (2004) avalia empiricamente os níveis relativos de vulnerabilidade social às variações induzidas pelas mudanças climáticas na disponibilidade de água, permitindo fazer uma comparação entre países na África, através da agregação de indicadores para construir um índice.

Kaly, Pratt e Mitchell (1999) desenvolveram um índice de vulnerabilidade ambiental que pode ser calculado na escala de países, através de pontuações (*scores*), com o objetivo de classificá-los e fornecer uma expressão única de suas vulnerabilidades ambientais relativas, sendo obtido um índice de vulnerabilidade ambiental.

Assim, o presente trabalho considerou um recorte, como estudo de caso, a sub-região 2 da RMVP, pelo fato de possuir municípios com considerável número de episódios de deslizamentos de terra, especialmente Campos do Jordão, onde 33% da população do município se encontra em áreas de risco, sendo que 2,6% se situam em setores de risco de escorregamento com grau muito alto (ANDRADE; BROLLO, 2015).

Portanto, este estudo teve como objetivo principal avaliar a vulnerabilidade socioambiental da sub-região 2 da RMVP relativa à ocorrência de eventos geológicos, especificamente os deslizamentos deflagrados por chuvas. Para alcançar tal objetivo, utilizou-se indicadores, construídos a partir de variáveis socioeconômicas e ambientais, que originaram os índices de vulnerabilidade socioambiental através da combinação das metodologias de Vincent (2004) e Kaly, Pratt e Mitchell (1999).

O destaque no presente trabalho é a construção de um indicador chuva-deslizamento através do método estatístico da análise de componentes principais (ACP), que foi utilizado para estimar a vulnerabilidade da área de estudo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

Localizada entre as serras da Mantiqueira e do Mar, a RMVP, em sua porção paulista, encontra-se a leste do estado, composta por 39 municípios (Figura 1), sen-

do eixo de ligação entre os estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro. Possui um importante e diversificado polo industrial, com metalúrgicas, mecânicas, quí-

micas, alimentos e vestuário, muitas delas agrupadas à margem da Rodovia Presidente Dutra (EMPLASA, 2013).

A RMVP é dividida em três unidades de relevos predominantes — Serra do Mar, Serra da Mantiqueira e Vale do Paraíba do Sul —, formadas por duas grandes unidades geológicas: o escudo cristalino e a bacia sedimentar (AB’SÁBER, 1958). As duas serras transformam o vale em um longo corredor e cria condições propícias para a concentração de chuvas, podendo gerar eventos como deslizamentos, erosões e inundações. O município de Campos do Jordão destaca-se por uma frequência significativa de eventos pluviométricos associados a deslizamentos e movimentos de massa (SANTOS, 2007; ANDRADE; BROLLO, 2015).

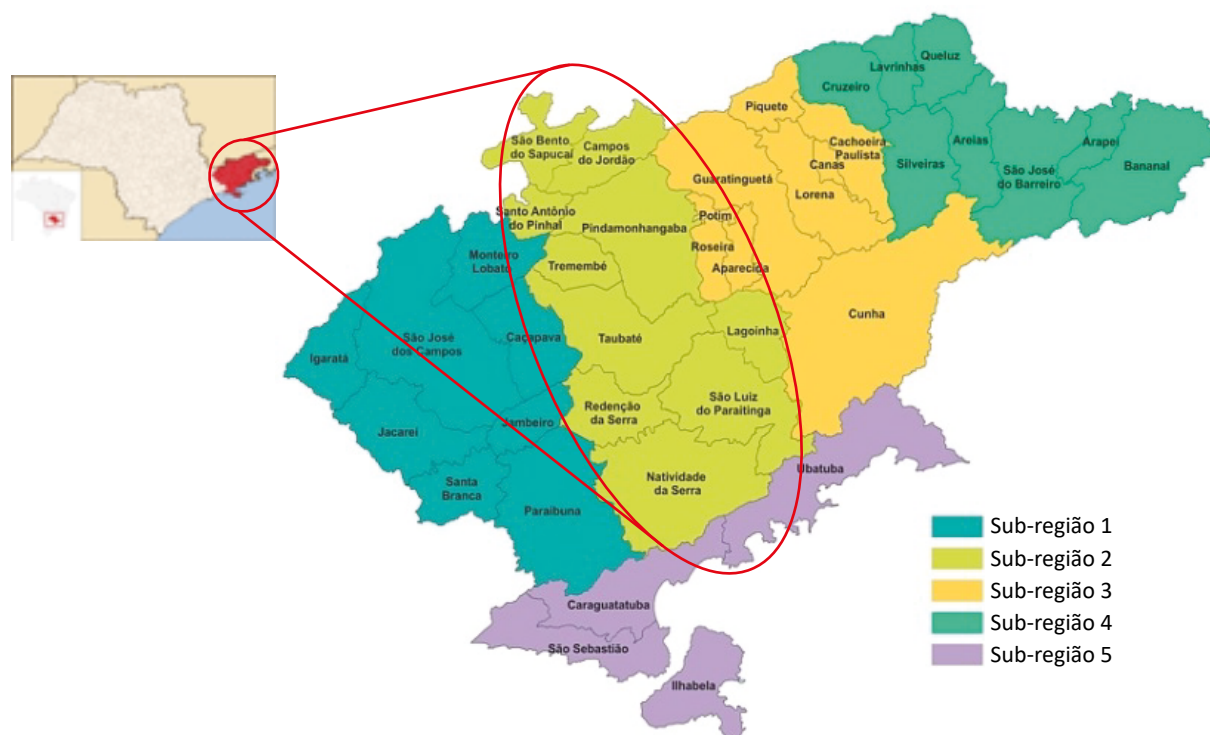
A RMVP foi criada em 2012, por meio da Lei Complementar nº 1.166/12 (SÃO PAULO, 2012), e está dividida em cinco sub-regiões (Figura 1) que apresentam características sociais, econômicas e ambientais distintas (EMPLASA, 2013).

A sub-região 2, objeto deste estudo, é composta de dez municípios: Campos do Jordão, Lagoinha, Nativi-

dade da Serra, Pindamonhangaba, Redenção da Serra, Santo Antônio do Pinhal, São Bento do Sapucaí, São Luís do Paraitinga, Taubaté e Tremembé.

No presente estudo foram considerados os mapeamentos de suscetibilidade dos municípios da sub-região 2 para demonstrar as características do meio físico, disponibilizados pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2010) e pelo Instituto Geológico/Secretaria de Meio Ambiente (SÃO PAULO, 2014), a partir de mapas temáticos de hipsometria (Figura 2A) e de declividade (Figura 2B).

De acordo com a classificação da hipsometria e da declividade (CPRM, 2010; SÃO PAULO, 2014), observa-se que a região norte da área de estudo, onde está localizada a Serra da Mantiqueira, é a que possui as maiores cotas de altitudes, que variam entre 900 e 2.100 metros, e relevo com declividade entre forte ondulado e escarpado, englobando especialmente a maior parte da área dos municípios de Campos do Jordão e Santo Antônio do Pinhal. As regiões central e sul da sub-região 2, onde se encontram os municípios



Fonte: adaptado de EMLASA (2013).

Figura 1 – Localização da sub-região 2 na Região Metropolitana do Vale do Paraíba, São Paulo.

situados no vale e na Serra do Mar, respectivamente, possuem o relevo, em sua maior parte, com declividade entre plano e suavemente ondulado, e altitudes que variam entre 300 e 900 metros.

A sub-região 2 possui uma característica climatológica semelhante à da região sudeste do país, com invernos secos e verões chuvosos, onde a média da precipitação

anual acumulada varia em torno de 1.500 e 2.000 mm (QUADRO *et al.*, 2012).

Os estudos de Marengo (2009) demonstram que a Região Sudeste do país, onde está inserida a sub-região 2 da RMVP, é vulnerável a eventos pluviométricos extremos, que contribuem significativamente para a deflagração de deslizamentos e inundações.

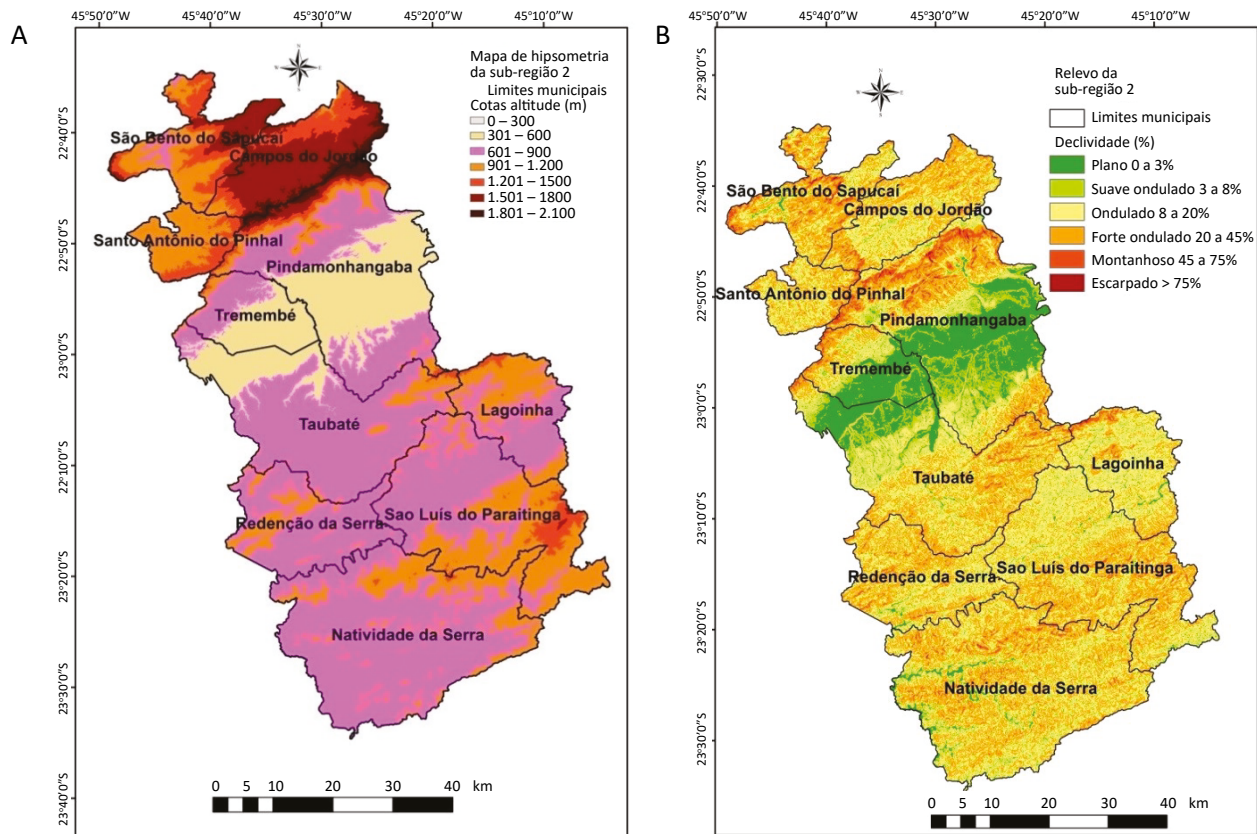
METODOLOGIA

Para a avaliação da vulnerabilidade socioambiental da sub-região estudada foi estimado um índice de vulnerabilidade, denominado neste trabalho de índice de vulnerabilidade geral (IVG).

Os índices de vulnerabilidade utilizam os chamados indicadores de vulnerabilidade, que podem ser físicos, demográficos, sociais, de saúde, climáticos, entre outros. A escolha de indicadores para componentes de vulnerabilidade depende do cenário a ser avaliado e

varia principalmente com os tipos de risco, a escala espacial e a disponibilidade de dados (GAIN *et al.*, 2015).

Apesar do nível de incerteza associado a esse tipo de abordagem, que demanda mais estudos, tais como definição do peso de cada parâmetro, inserção de indicadores adicionais, entre outros, os métodos de avaliação de vulnerabilidade baseados em abordagens estatísticas podem ser vistos como as ferramentas mais adequadas para análise em grande escala, porque ofe-



Fonte: adaptado de CPRM (2010) e São Paulo (2014).

Figura 2 – (A) Hipsometria e (B) declividade da sub-região 2 na Região Metropolitana do Vale do Paraíba, São Paulo.

recem boa representatividade entre a quantidade e o tipo de informações necessárias para realizar a análise e a confiabilidade das saídas produzidas (MIRANDA; FERREIRA, 2019).

Neste estudo foram utilizados indicadores baseados em dados anuais sobre as variáveis ambientais e socioeconômicas, para o período entre 1990 e 2016. Os indicadores da dimensão ambiental foram: indicador de cobertura vegetal; indicador de matas e florestas naturais destinadas à preservação permanente ou reserva legal; índice de avaliação ambiental – Programa Município Verde Azul; índice de perigo a escorregamento; indicador de áreas prioritárias para restauração de vegetação nativa; e indicador chuva-deslizamento.

Para os indicadores da dimensão socioeconômica, consideraram-se as variáveis: taxa de analfabetismo da população de 15 anos e mais; taxa de crescimento populacional; domicílios particulares com renda *per capita* até meio salário mínimo; renda familiar *per capita* (R\$); taxa de população em situação de extrema pobreza; densidade demográfica; taxa de urbanização; domicílios particulares permanentes, por número de cômodos – 1 a 2 cômodos; domicílios particulares permanentes, por tipo de material das paredes externas – madeira, taipa, palha, outros; domicílios particulares permanentes, por classes de rendimento nominal mensal domiciliar *per capita* – sem rendimento; domicílios particulares permanentes, por existência de água canalizada e forma de abastecimento de água – não tinham; proporção de crianças de 0 a 5 anos de idade residentes em domicílios particulares permanentes – com responsável ou cônjuge analfabeto.

A maior parte das informações utilizadas como indicadores ambientais e socioeconômicos foi disponibilizada por órgãos públicos, tais como a Secretaria de Meio Ambiente (SMA) e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Já o indicador chuva-deslizamento, da dimensão ambiental, foi construído com base em dados diários de precipitação, para dois períodos: 1969 a 2016 e 1990 a 2016, disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA), pelo Departamento de Água e Energia Elétrica (DAEE) e pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN). Utilizou-se também o histórico de deslizamentos para o período de 1990 a 2016, obtidos do trabalho de Ayres (2010), do Atlas Brasileiro de Desastres Naturais do Centro de Estudos e Pesquisas sobre Desastres da Universidade

Federal de Santa Catarina (CEPED/UFSC) (UFSC, 2013) e também as informações da base de dados de desastres naturais do Sistema Integrado de Monitoramento, Previsão e Alerta de Tempestades para as Regiões Sul-Sudeste do Brasil (SIMPAT-SINAL-SOS), do Instituto de Pesquisas Meteorológicas (IPMet) da Universidade Estadual Paulista (UNESP) de Bauru (UNESP, 2017).

Para a construção do indicador chuva-deslizamento que representasse a relação entre a precipitação e as ocorrências de deslizamentos na área de interesse, realizou-se inicialmente uma análise exploratória, através da análise de frequência, contabilizando o número de episódios de deslizamentos em cada faixa de precipitação acumulada em 1, 2, 3, 4 e 5 dias, visando observar a distribuição das chuvas associadas aos eventos de deslizamentos ocorridos em cada município da área de estudo.

Assim, foram considerados somente os dados diários consecutivos de chuva para as datas das ocorrências dos eventos de deslizamentos, no período de 1990 a 2016. Observou-se, entretanto, que não havia dados suficientes, em função das falhas nas séries históricas de chuva, para alguns municípios, sendo necessário aplicar um método capaz de identificar os principais padrões de precipitação. Para tanto, realizou-se um estudo aprofundado, através do uso de análise multivariada, onde foi aplicado o método estatístico de ACP para dois períodos, a saber: 1969 a 1994 (climatológico) e 1990 a 2016 (recente, com deslizamentos), permitindo a construção desse indicador, conforme os seguintes passos:

1. Geração de séries de totais de precipitação acumulada em 1, 2, 3, 4 e 5 dias consecutivos até o dia de ocorrência do evento de deslizamento para o período mais recente, de 1990 a 2016, nos municípios com maior número de ocorrências de deslizamentos;
2. Aplicação da ACP para o conjunto de séries geradas de 1 a 5 dias, descritas no item anterior, visando encontrar os padrões de variabilidade dos totais precipitados em dias consecutivos até a data de ocorrência do deslizamento, obtendo assim o padrão de relação entre os totais acumulados de precipitação no dia do evento e em dias anteriores, que apresente o maior percentual de explicação da variância original (primeira componente principal, denominada de CP1);
3. Geração de séries de totais de precipitação acumulada em 1, 2, 3, 4 e 5 dias consecutivos, no período

climatológico de 1969 a 1994, disponível para todos os municípios;

4. Aplicação da ACP para o conjunto de séries geradas de 1 a 5 dias, no período climatológico, descritas no item 3;
5. Comparação entre o padrão do CP1 de chuva-deslizamento, descrito no item b, com o CP1 obtido a partir de todo o histórico, item 4;
6. Ponderação do CP1 do período climatológico (item d), pelo peso relativo às ocorrências de deslizamentos no município, sendo esse peso (pd_i) calculado através da Equação 1:

$$pdi = (ndi/ndt) + 1 \quad (1)$$

Em que:

pdi = peso das ocorrências de cada município i ;

ndi = número total de deslizamentos no município i ;

ndt = número total de deslizamentos na região.

Obtidos todos os indicadores das dimensões ambientais e socioeconômicas, foi estimado o índice de vulnerabilidade socioambiental, e para isso foi considerada a combinação de procedimentos metodológicos empregados nos estudos desenvolvidos por Vincent (2004) e Kaly, Pratt e Mitchell (1999), por intermédio de um índice sintético para representar o nível de vulnerabilidade socioambiental dos municípios que compõem a sub-região 2 da RMVP.

Cálculo dos índices de vulnerabilidade ambiental e de vulnerabilidade social

Para o cálculo do IVA e IVS foi efetuada a somatória da pontuação de cada indicador (Equação 2), estabelecendo o total de *score* para cada município, também conforme a escala entre 1 e 7, com valores dos intervalos que representassem os níveis de vulnerabilidade:

1. muito baixo (de 1 a 10);
2. baixo (de 10,1 a 20);
3. médio baixo (de 20,1 a 30);
4. médio (de 30,1 a 40);
5. médio alto (de 40,1 a 50);

Cálculo do índice de vulnerabilidade geral

Para a avaliação da vulnerabilidade socioambiental da sub-região estudada, foi calculado um índice agregado,

A metodologia de Vincent (2004) agrega indicadores por somatórias ponderadas. Por outro lado, a de Kaly, Pratt e Mitchell (1999) estabelece escalas de valores 1 a 7, o que possibilita obter níveis ou graus de vulnerabilidade. São estabelecidas sete divisões para a escala de pontuação, sendo 1 a menor incidência possível; 2 significativamente menor do que a média; 3 um pouco menos do que a média; 4 média; 5 um pouco mais do que a média; 6 significativamente mais do que a média; e 7 a maior incidência possível.

Esses procedimentos estabelecidos por Vincent (2004) e Kaly, Pratt e Mitchell (1999) também foram empregados em outros trabalhos relacionados ao setor de saúde e macroeconomia geral, tais como o estudo sobre os impactos e estratégias de adaptação às mudanças climáticas; avaliação da vulnerabilidade à inundação; análise das vulnerabilidades socioeconômicas; demográficas; sanitárias e de extremos de chuva (CONFALONIERI; MARINHO, 2007; VALVERDE; YOUNG; MARENGO, 2011; VELENYI; SMITZ, 2014; DUMENU; OBENG, 2016; TOUBES *et al.*, 2017; VALVERDE, 2017).

Assim, primeiro estimou-se um índice de vulnerabilidade para a dimensão ambiental (IVA), com base nos indicadores acima descritos, e outro índice de vulnerabilidade para a dimensão socioeconômica (IVS). A agregação desses dois índices resultou no IVG, que possibilitou avaliar a vulnerabilidade socioambiental da região de estudo. A seguir está descrito o processo dessa estimativa.

7. 6: alto (de 50,1 a 60);
8. 7: muito alto (acima de 60).

$$IV = Id_{1+} Id_{2+} Id_{3+} \dots Id_n \quad (2)$$

Em que:

IV = subíndice (no presente estudo foi representado através do IVA e IVS);

Id = indicadores.

sendo obtido por meio da média ponderada dos subíndices IVA e IVS, de acordo com a Equação 3.

$$IVG = (IVA * wa) + (IVS * ws) \quad (3)$$

Em que:

IVG = índice de vulnerabilidade geral;
 IVA = índice de vulnerabilidade ambiental;
 IVS = índice de vulnerabilidade social;
 wa, ws = pesos.

Assim, selecionou-se o total de pontuação do IVA e IVS, para cada município, estabelecendo os pesos 0,6 e 0,4, respectivamente, para obter uma medida geral da vulnerabilidade da sub-região 2, representada pelo IVG. Aplicou-se também a classificação baseada na escala de pontuação de 1 a 7, conforme utilizada nos cálculos do IVA e IVS.

Importante destacar que todos os indicadores, tanto os ambientais quanto os socioeconômicos, foram previamente padronizados de acordo com as Equações 4 e 5, visando representar os dados entre o intervalo de 0 e 1, e colocados em escalas comparáveis, indicando que quanto mais próximo ao valor 1, maior o nível de vulnerabilidade, e quanto mais próximo de 0, menor o nível de vulnerabilidade.

Equação tipo 1 – um valor alto do indicador representa uma situação de menor vulnerabilidade:

$$I_{padronizado} = \frac{Máximo_i - I_{observado}}{Máximo_i - Mínimo_i} \quad (4)$$

Equação tipo 2 – um valor baixo do indicador representa uma situação de menor vulnerabilidade:

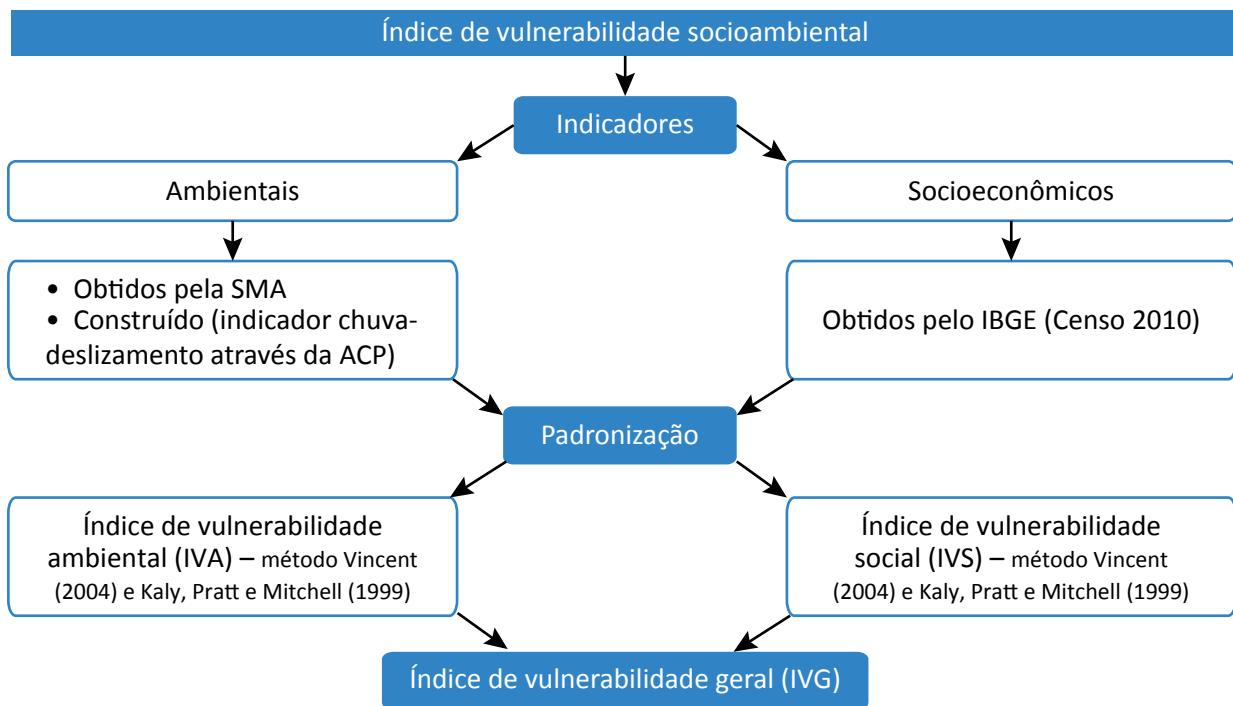
$$I_{padronizado} = \frac{I_{observado} - Mínimo_i}{Máximo_i - Mínimo_i} \quad (5)$$

Em que:

$I_{padronizado}$ = indicador padronizado;
 $I_{observado}$ = indicador estudado;
 $Máximo_i$ = indicador máximo encontrado;
 $Mínimo_i$ = indicador mínimo encontrado.

Com os indicadores devidamente padronizados, realizou-se o cálculo dos índices e a classificação dos níveis de vulnerabilidade socioambiental dos municípios estudados.

Os procedimentos metodológicos aplicados neste estudo estão representados no fluxograma da Figura 3.



SMA: Secretaria de Meio Ambiente; ACP: análise de componentes principais; IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

Figura 3 – Procedimentos metodológicos aplicados no estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Padrões de precipitação e ocorrências de deslizamentos

O resultado da análise estatística dos episódios de deslizamentos ocorridos na RMVP indicou que a sub-região 2 apresenta o maior número de ocorrências, com 91 episódios de um total de 227, no período de 1990 a 2016, representando 40,1% dos casos ocorridos na RMVP. O município de Campos do Jordão apresentou o maior número de deslizamentos, totalizando 34 ocorrências nesse período, entre os meses de novembro e março, seguido pelos municípios de Pindamonhangaba e São Luís do Paraitinga, com 12 e 11 ocorrências, respectivamente.

O valor médio da precipitação acumulada anual no período climatológico (1969 a 1994), para a sub-região 2, indica maior intensidade de chuvas para o município de Campos do Jordão com 1.783 mm, seguidos dos municípios de Santo Antônio do Pinhal, Natividade da Serra e São Luís do Paraitinga, com valores de 1.776, 1.716 e 1.516 mm, respectivamente (Figura 4A).

Com o resultado encontrado, percebe-se que o município de Campos de Jordão, além de apresentar uma suscetibilidade do meio físico à ocorrência de deslizamentos, principalmente nas áreas de risco identificadas em estudos anteriores por Andrade e Brollo (2015), é

Indicadores chuvas-deslizamentos

A análise de frequência, que relacionou os acumulados com a ocorrência de deslizamentos, indicou que a faixa de precipitação entre 40 e 80 mm acumulada em 3 dias é a que se associou com a maior frequência de eventos nos municípios de Campos de Jordão, Pindamonhangaba e São Luís do Paraitinga. Isso mostra a importância da relação de chuvas diárias em dias consecutivos com a ocorrência de eventos de deslizamentos.

A aplicação da ACP foi realizada somente em três municípios: Campos do Jordão, Pindamonhangaba e São Luís do Paraitinga, por apresentarem o maior número de ocorrências de deslizamentos da sub-região estudada, sendo de 34, 12 e 11 casos, respectivamente.

Destacam-se os resultados do CP1, pois é o que representa a maior parte da variância do conjunto de dados, no período de 1990 a 2016. Para Campos do Jordão, o CP1 explica 81,6% da variância total dos dados, indi-

também caracterizado pelos maiores totais pluviométricos da sub-região 2. Isso se explica porque o regime de chuva nessa área é influenciado por um dos principais fenômenos meteorológicos da região sudeste do país, a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (QUADRO; ABREU, 1994; CARVALHO; JONES; LIEBMANN, 2004).

A sazonalidade da precipitação para o período médio de análise de 1969 a 1994 (Figura 4B) destaca os acumulados máximos, na estação de verão, para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, e os mínimos no inverno, para os meses de junho, julho e agosto, o que é típico da Região Sudeste. O município de Campos do Jordão apresenta os maiores totais de precipitações mensais no período chuvoso, na estação de verão: 286,7; 292,3 e 230,9 mm, para dezembro, janeiro e fevereiro, respectivamente.

De um modo geral, também se observam valores elevados de precipitação no início do outono e durante a primavera (Figura 4B), o que significa que em anos de anomalias positivas de precipitação, podem ocorrer episódios de deslizamentos, por causa dos excessos de chuvas nessas épocas.

cando um alto coeficiente (0,96) para o acumulado de 3 dias de precipitação, de acordo com os pesos de cada variável sobre o CP1 (Tabela 1). O valor elevado de variância explicada pelo CP1 assegura a boa representatividade do principal padrão de variabilidade dos dados de precipitação acumulada em dias consecutivos.

Para o município de Pindamonhangaba foi obtido um valor de 80,2% da variância total explicada pelo CP1, e para São Luís do Paraitinga o valor da variância foi de 78,5%. Também se observa alto coeficiente para o acumulado de três dias de precipitação, sendo 0,964 e 0,958, respectivamente (Tabela 1). Isso indica um maior fator de influência na variabilidade da precipitação para esses acumulados, que estão associados aos casos de deslizamentos.

Para avaliar se tal padrão é climatologicamente predominante, foi aplicada a ACP considerando a preci-

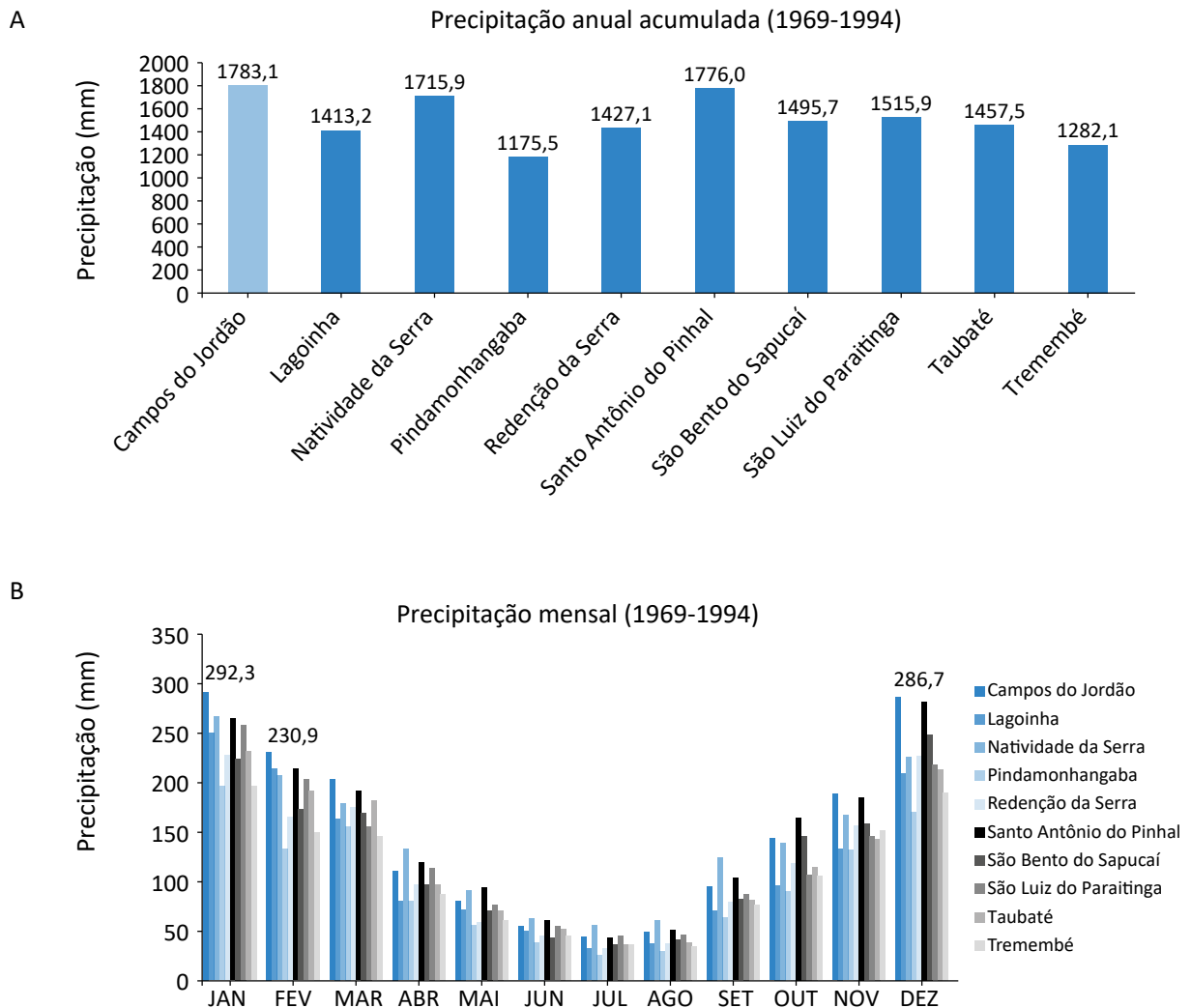
precipitação diária independente da ocorrência de deslizamentos, para o período climatológico de 1969 a 1994. Verificou-se que os padrões são semelhantes, conforme mostrado pela Tabela 1, destacando o

maior peso para a variável de precipitação acumulada em três dias. Essa similaridade viabiliza a construção de indicadores de chuva-deslizamento para todos os municípios.

Índice de vulnerabilidade ambiental

O IVA tem como objetivo representar as condições e características do meio físico do território, por meio da agregação de indicadores que mostrem os níveis de fragilidade ou degradação, tanto no que concerne ao

relevo, ao solo e à vegetação, quanto no que diz respeito à criação ou não de programas e ações originadas de políticas públicas que auxiliem no processo de recuperação e/ou preservação do ambiente.



Fonte: ANA, DAEE e CEMADEN (1969-1994).

Figura 4 – (A) Caracterização climatológica e (B) precipitação média mensal da sub-região 2 da Região Metropolitana do Vale do Paraíba.

Neste estudo foram utilizados os indicadores ambientais na construção do IVA, conforme descritos na metodologia, juntamente com os indicadores climáticos representando a relação chuva-deslizamento. A classificação do IVA para os municípios analisados é representada no mapa (Figura 5A), apresentado em faixas, cujas tonalidades vão de tons verdes, indicando os valores mais baixos, aos tons vermelhos, representando os valores mais altos, para diferentes níveis de vulnerabilidade.

Nota-se o destaque para o município de Campos do Jordão, que apresentou um nível muito alto de vulnerabilidade ambiental (total de *score* 73). Isso ocorre, principalmente, em razão dos elevados valores para os cinco indicadores de precipitação acumulada em 1, 2, 3, 4 e 5 dias consecutivos (com pontuações máximas na escala de 1 a 7, obtendo o valor 7 para cada variável), e também o percentil 85% e a média da precipitação anual obtiveram alto valor (também com pontuações 7), indicando o município com a maior intensidade de chuvas anuais (média de 1.783 mm). Outro indicador que também influenciou o IVA foi obtido mediante o

maior número de deslizamentos na região estudada, com um total de 34 de ocorrências.

Os municípios de São Luís do Paraitinga e Santo Antônio do Pinhal, com *scores* de 46 e 44, respectivamente, apresentaram um nível médio alto de vulnerabilidade na avaliação do IVA.

Para Santo Antônio do Pinhal, os indicadores mais relevantes são: índice de avaliação ambiental, índice de perigo a escorregamento e a média de precipitação anual, com os máximos valores na escala de 1 a 7. Os indicadores mais relevantes e também com os máximos valores na escala de 1 a 7, para o município de São Luís do Paraitinga, foram: o índice de avaliação ambiental e o indicador de cobertura vegetal.

Esses dois últimos municípios, juntamente com Tremembé (*score* 44) e Natividade da Serra (*score* 41), que também apresentaram um nível médio alto de vulnerabilidade, representam 40% do total de 10 municípios da sub-região 2.

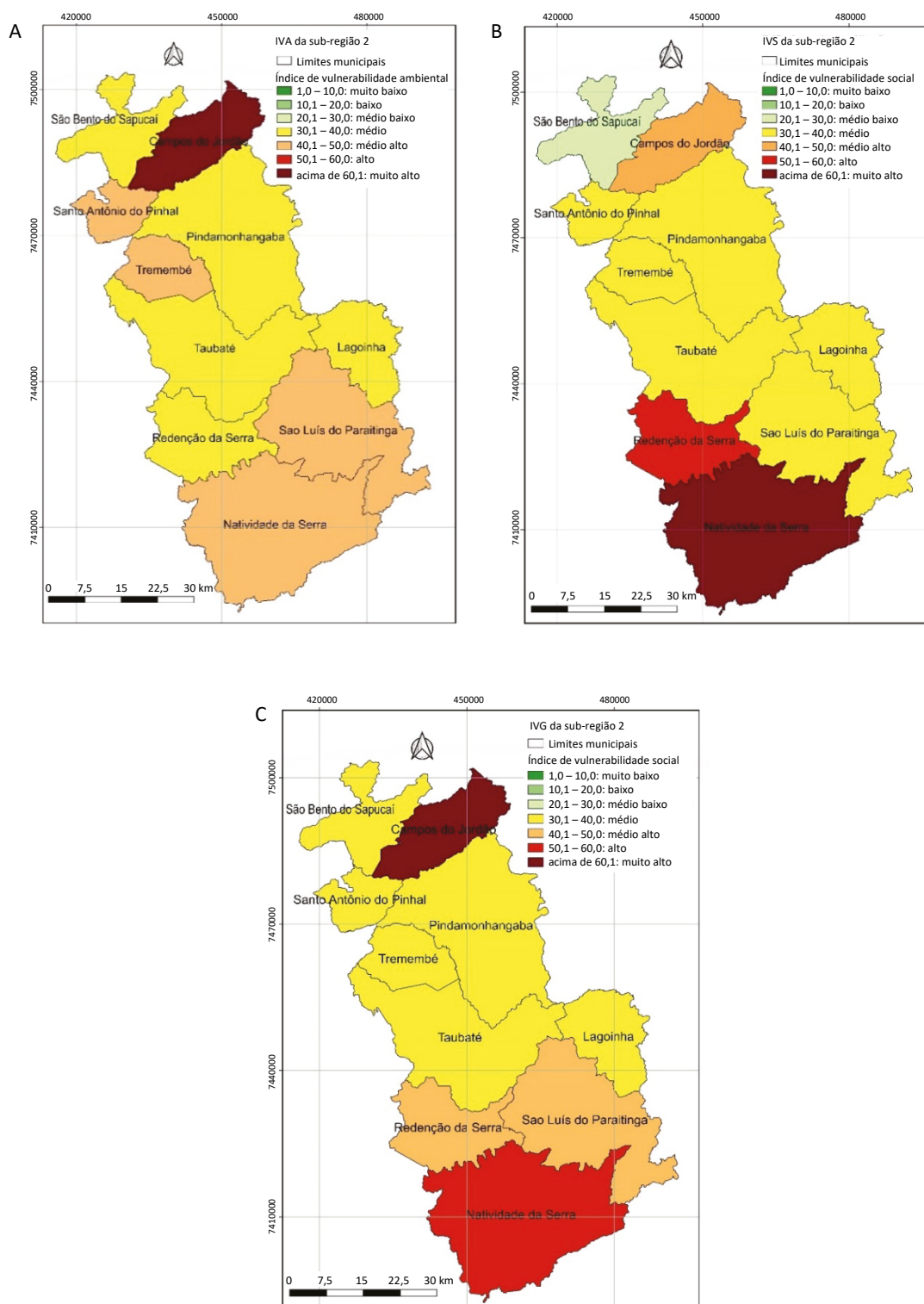
Índice de vulnerabilidade social

O IVS pode sinalizar o acesso ou não aos serviços básicos que o Estado deve oferecer a todos os cidadãos.

Quanto aos resultados do IVS, o destaque se aplica ao município de Natividade da Serra, sendo o primeiro na classificação, com um nível muito alto de vulnerabilidade social (*score* 65).

Tabela 1 – Comparação dos coeficientes da componente principal 1 para os períodos de análise: recente (1990 a 2016) e climatológico (1969 a 1994) para os municípios de Campos do Jordão, Pindamonhangaba e São Luís do Paraitinga.

Matriz de componentes – CP1	Campos Jordão variância 81,6%		Pindamonhangaba variância 80,2%		São Luís do Paraitinga variância 78,5%	
	1990 a 2016	1969 a 1994	1990 a 2016	1969 a 1994	1990 a 2016	1969 a 1994
Precipitação acumulada – 1 dia	0,763	0,781	0,680	0,765	0,694	0,748
Precipitação acumulada – 2 dias	0,918	0,925	0,948	0,916	0,918	0,907
Precipitação acumulada – 3 dias	0,960	0,963	0,964	0,958	0,958	0,952
Precipitação acumulada – 4 dias	0,941	0,944	0,945	0,939	0,925	0,933
Precipitação acumulada – 5 dias	0,882	0,892	0,954	0,886	0,787	0,875



Fonte: IBGE (2010), ANA/DAEE/CEMADEN (1969-1994 e 1990-2016), SMA (2014).

Figura 5 – Índices de vulnerabilidade: (A) ambiental, (B) social e (C) geral da sub-região 2 da Região Metropolitana do Vale do Paraíba.

Os sete indicadores mais relevantes que influenciaram o IVS desse município, representando mais da metade do total, foram: taxa de analfabetismo da população de 15 anos e mais, taxa de domicílios particulares com renda *per capita* até meio salário mínimo, renda familiar *per capita*, taxa de população em situação extrema pobreza, taxa de domicílios, por número de cômodos — 1 a 2 cômodos, taxa de domicílios, por existência de água canalizada e forma de abastecimento de água — não tinham, e proporção de crianças de 0 a 5 anos de idade — com responsável ou cônjuge analfabeto.

Índice de vulnerabilidade geral

A distribuição espacial do IVG para os municípios da sub-região 2 da RMVP (Figura 5C) apresenta Campos do Jordão com um nível muito alto de vulnerabilidade e Natividade da Serra com um nível alto de vulnerabilidade (total de *score* 63 e 50,6, respectivamente).

O nível muito alto de vulnerabilidade do município de Campos do Jordão se deve principalmente ao alto valor do IVA, destacando as contribuições dos indicadores de precipitação acumulada em 1, 2, 3, 4 e 5 dias consecutivos, os de ocorrências de deslizamentos, média da precipitação anual e percentil 85% da precipitação anual, os quais apresentaram os máximos valores em relação aos demais municípios. As características do meio físico, tais como relevo acentuado e cotas elevadas de altitude, também podem ser consideradas fatores potencializadores, aumentando a possibilidade de ocorrências de eventos de chuvas e deslizamentos de terra no município. O IVS para esse município foi o terceiro maior da sub-região, com um *score* de 48, composto de máximos valores dos indicadores relacionados à taxa de domicílios com renda *per capita* até meio salário mínimo, à taxa de domicílios com tipo de

Contribuição de indicadores chuva-deslizamento na avaliação geral da vulnerabilidade

Para avaliar a contribuição dos indicadores de chuva-deslizamento na mensuração da vulnerabilidade geral dos municípios, foram comparados os resultados obtidos pelo IVG sem e com a contribuição desses indicadores, conforme mostram as Figuras 6A e 6B, respectivamente.

De modo geral, nota-se um aumento dos níveis de vulnerabilidade para a região ao se considerar os indicadores chuva-des-

O segundo município nessa classificação foi Redenção da Serra, que apresentou um nível alto do IVS (Figura 5B), com um *score* de 55 pontos, com os indicadores mais relevantes: taxa de mortalidade infantil, domicílios particulares com renda *per capita* até meio salário mínimo e renda familiar *per capita*.

O município de Campos do Jordão apresentou um nível médio alto de vulnerabilidade e foi classificado em terceiro lugar, com o total de *score* de 48 pontos. Os indicadores taxa de urbanização e domicílios particulares, por tipo de material das paredes externas — madeira, taipa, palha são os mais relevantes no cálculo do IVS.

material das paredes externas — madeira, taipa, palha e à taxa de urbanização.

O município de Natividade da Serra apresentou o segundo maior valor de IVG, com nível alto de vulnerabilidade, dada a pontuação de 51,2. O índice que contribuiu para essa classificação foi o IVS, que apresentou o maior valor (65 pontos), destacando-se os indicadores: taxa de analfabetismo, taxa de crianças com responsável analfabeto, taxa de domicílios com renda *per capita* até meio salário mínimo, renda familiar *per capita* e taxa da população em extrema pobreza. Para a avaliação do IVA, esse município apresentou o terceiro maior valor (*score* 42), e os indicadores mais relevantes foram: índice de avaliação ambiental, indicador de coleta e tratamento de esgoto e o percentil 85% de precipitação anual.

Os municípios de São Luís do Paraitinga e Redenção da Serra apresentaram um nível médio alto de vulnerabilidade, sendo o total de *score* de 42,8 e 41,2, respectivamente.

Nota-se ainda que 60% do total de municípios da sub-região 2 apresentaram um nível médio para o IVG.

lizamento, pois sem a inclusão desses a região apresentava municípios com IVG de nível médio alto, no máximo (Figura 6A). Ao se incluir os indicadores de chuva-deslizamento são verificados níveis de IVG alto e muito alto (Figura 6B).

Observa-se que o município de Campos do Jordão passa a ser classificado com um nível muito alto (Figura 6B), dado pela maior pontuação (*score* 63), por conta

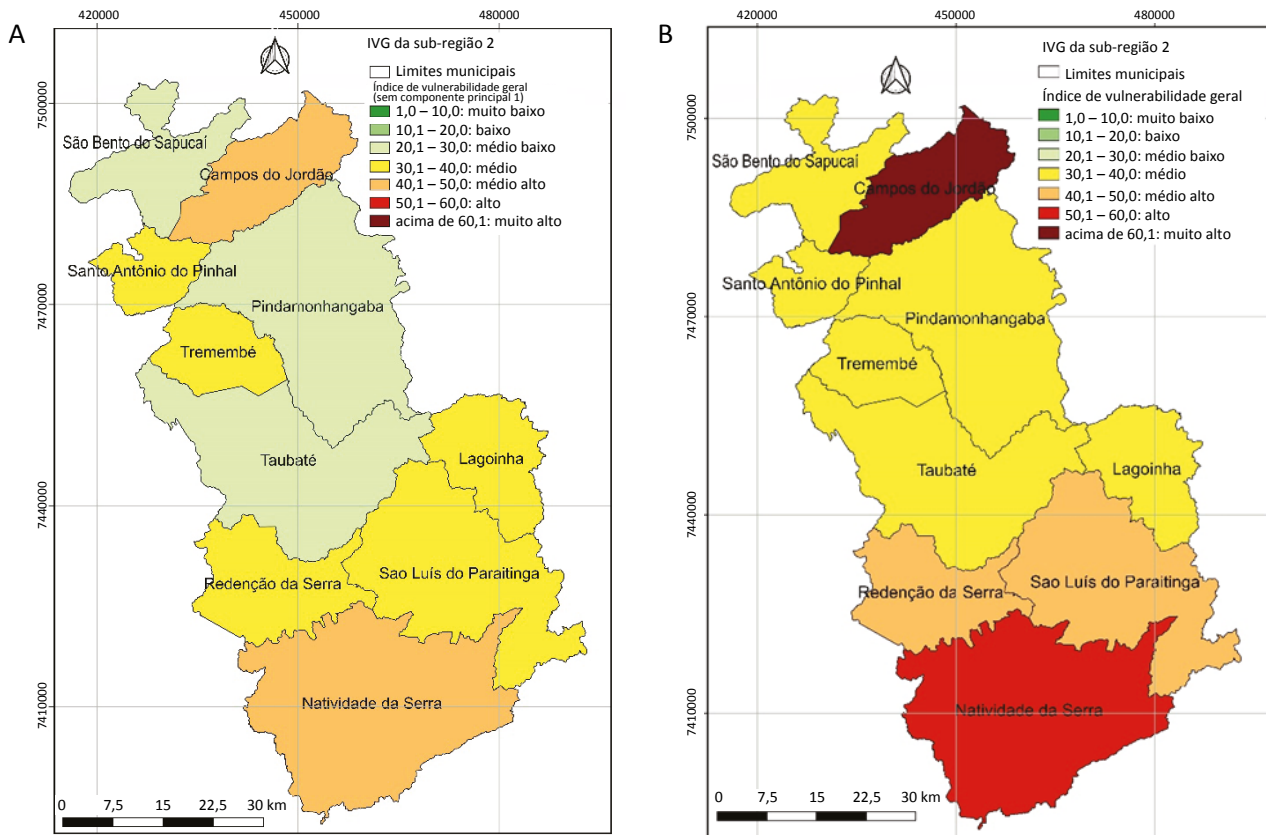
da contribuição dos indicadores de chuva-deslizamento. Não considerando essa contribuição (Figura 6A), o nível do IVG é classificado como médio alto, com um *score* de 44,4.

Esse fator é observado também para o município de Natividade da Serra, cujo nível foi alterado de médio alto para alto, com a contribuição dos indicadores (Figura 6B). Destaca-se, ainda, que sem essa contribuição (Figura 6A), esse município apresentava o mesmo nível de IVG que Campos do Jordão, de médio alto, diferenciando-se apenas pela pontuação obtida, com *score* de 48,2.

CONCLUSÃO

Os resultados apresentados neste estudo foram importantes, pois contribuíram para a compreensão sobre a exposição da população da área avaliada a fenômenos naturais potencialmente perigosos, assim como para o entendimento das relações entre con-

dições socioeconômicas e ambientais nos municípios da área de estudo. Também permitiram demonstrar que a vulnerabilidade socioambiental da sub-região 2 da RMVP é significati-



Fonte: IBGE (2010), ANA/DAEE/CEMADEN (1969-1994 e 1990-2016), SMA (2014).

Figura 6 – Indicadores chuva-deslizamento: (A) sem a contribuição dos indicadores climáticos e (B) com a contribuição.

va, apresentando desde níveis médio a muito alto de vulnerabilidade, conforme a metodologia utilizada. Revelou que as vulnerabilidades variam entre municípios e são distintas em suas dimensões socioeconômicas e ambientais, fatores que podem influenciar significativamente o processo da vulnerabilidade de uma região e mesmo entre municípios próximos.

Com essa avaliação, através do IVG, observou-se que os municípios de Campos do Jordão e Natividade da Serra apresentaram níveis alto e muito alto de vulnerabilidade, respectivamente, com dimensões diferenciadas influenciando esse processo. Alguns indicadores da dimensão ambiental, tais como os indicadores climáticos e o maior número de ocorrências de deslizamentos, influenciaram mais o processo de vulnerabilidade em Campos do Jordão. Já em Natividade da Serra, os altos valores dos indicadores da dimensão socioeconômica, tais como densidade demográfica e proporção de crianças de 0 a 5 anos de idade com responsável ou cônjuge analfabeto, foram os que mais influenciaram o processo de vulnerabilidade nesse município.

Na abordagem considerada neste trabalho, a ACP foi útil para extrair o padrão principal das precipitações acumuladas em dias consecutivos, relacionadas

à ocorrência de deslizamentos do período estudado. Na análise, extraiu-se também o padrão principal da precipitação do período climatológico, mostrando semelhanças entre eles e viabilizando a utilização de um indicador robusto chuva-deslizamento, através da ponderação pelo peso das ocorrências de deslizamentos em cada município.

Nessa mensuração, a contribuição do indicador chuva-deslizamento foi relevante para a caracterização do IVG da sub-região estudada, pois com sua inserção, além de representar o fator chuva-deslizamento, que demonstra a relação significativa entre essas duas variáveis, destacou-se também diferenças significativas entre os municípios analisados, verificando o aumento dos níveis de vulnerabilidade para a região, observado principalmente para o município de Campos do Jordão.

De modo geral, este estudo contribuiu para a compreensão do processo de vulnerabilidade na região, agregando conhecimentos e informações de como se distribuem os fatores ambientais, entre eles o clima e sua variabilidade, e os fatores socioeconômicos entre os municípios, permitindo, com isso, uma ação no sentido de gerar uma tratativa específica ou prioritária na redução da vulnerabilidade.

REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A.N. *Vale do Paraíba, Serra da Mantiqueira e Arredores de São Paulo*. Rio de Janeiro: Conselho Nacional de Geografia, 1958.
- ADGER, W.N.; BROOKS, N.; BENTHAM, G.; AGNEW, M.D.; ERIKSEN, S.H. *New indicators of vulnerability and adaptive capacity*. Norwich: Tyndall Centre for Climate Change Research Technical Report, 2004. v. 7.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Séries históricas de precipitação para os períodos de 1969 a 1994 e de 1990 a 2016. *Portal Hidroweb*. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf>. Acesso em: 8 nov. 2017.
- ALEDO, A.; SULAIMAN, S. La Incuestionabilidad del Riesgo: vulnerabilidad social y riesgo sísmico en municipios turísticos. *Cuadernos de Turismo*, n. 36, p. 17-37, 2015. <http://dx.doi.org/10.6018/turismo.36.230861>
- ANDRADE, E.; BROLLO, M.J. Perigos e riscos geológicos em Campos do Jordão (SP): diagnóstico em 2014. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA, 9., 2015, Cuiabá. *Anais...* Cuiabá: ABGE, 2015. CD-ROM.
- AYRES, A. C. *Variabilidade e desastres naturais da região do Vale do Paraíba/SP: passado e futuro*. 90 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade de Taubaté, 2010.

- CABRAL, L.N.; CÂNDIDO, G.A. Urbanização, vulnerabilidade, resiliência: relações conceituais e compreensões de causa e efeito. *Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, Curitiba, v. 11, e20180063, 2019. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.002.AO08>
- CARDONA, O.D. The need for rethinking the concepts of vulnerability and risk from a holistic perspective: a necessary review and criticism for effective risk management. In: HINRICHS, R.; KLEINBACH, M. *Energia e meio ambiente*. São Paulo: Pioneira Thonson Learning, 2004.
- CARVALHO, L.M.; JONES, C.; LIEBMANN, B. The South Atlantic convergence zone: intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. *Journal of Climate*, v. 17, n. 1, p. 88-108, 2004. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2004\)017<0088:TSACZI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017<0088:TSACZI>2.0.CO;2)
- CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS (CEMADEN). Séries históricas pluviométricas de 2014 a 2016. *Portal Mapa Interativo*. Disponível em: <<http://www.cemaden.gov.br/mapainterativo/#>>. Acesso em: 8 nov. 2017.
- CONFALONIERI, U.E.C.; MARINHO, D.P. Mudança Climática Global e Saúde: Perspectivas para o Brasil. *Revista Multiciência*, Campinas, n. 8, p. 48-64, 2007.
- CUTTER, S.L.; BORUFF, B.J.; SHIRLEY, W.L. Social Vulnerability to Environmental Hazards. *Social Science Quarterly*, v. 84, n. 2, p. 242-261, 2003. <http://dx.doi.org/10.1111/1540-6237.8402002>
- DE ASSIS DIAS, M.C.; SAITO, S.M.; ALVALÁ, R.C.S.; STENNER, C.; PINHO, G.; NOBRE, C.A.; FONSECA, M.R.S.; SANTOS, C.; AMADEU, P.; SILVA, D.; LIMA, C.O.; RIBEIRO, J.; NASCIMENTO, F.; CORRÊA, C.O. Estimation of exposed population to landslides and floods risk areas in Brazil, on an intra-urban scale. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, v. 31, p. 459-469, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.06.002>
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE). *Séries históricas de precipitação para os períodos de 1969 a 1994 e de 1990 a 2016*. Banco de Dados Hidrológicos. Disponível em: <<http://www.hidrologia.daee.sp.gov.br>>. Acesso em: 8 nov. 2017.
- DUMENU, W.K.; OBENG, E.A. Climate change and rural communities in Ghana: Social vulnerability, impacts, adaptations and policy implications. *Environmental Science & Policy*, v. 55, n. P1, p. 208-217, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.10.010>
- EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO S.A. (EMPLASA). *Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte Aspectos Jurídicos / Institucionais / Técnico*. EMLASA, 2013.
- GAIN, A.K.; MOJTAHED, V.; BISCARO, C.; BALBI, S.; GIUPPONI, C. An integrated approach of flood risk assessment in the eastern part of Dhaka City. *Natural Hazards*, v. 79, n. 3, p. 1499-1530, 2015. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1911-7>
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Cidades@*. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 9 jan. 2019.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). *Climate Change: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
- KALY, U.; PRATT, C.; MITCHELL, J. *Environmental Vulnerability Index (EVI) to summarize national environmental vulnerability profiles*. SOPAC Technical Report 275. 1999. 66 p.
- LONDE, L. R.; MOURA, L. G.; COUTINHO, M. P.; MARCHEZINI, V.; SORIANO, E. Vulnerability, health and disasters in São Paulo coast (Brazil): challenges for a sustainable development. *Ambiente & Sociedade*, São Paulo, v. 21, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc0102r2vu1811ao>

MARCHEZINI, V.; WISNER, B.; LONDE, L. de R.; SAITO, S. M. *Reduction of vulnerability to disasters: from knowledge to action*. São Carlos: Rima Editora, 2017.

MARENGO, J. A. *Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil*. Rio de Janeiro: FBDS, 2009.

MARKOVIC, D.; CARRIZO, S.F.; KÄRCHER, O.; WALZ, A.; DAVID, J.N.W. Vulnerability of European freshwater catchments to climate change. *Global Change Biology*, v. 23, p. 3567-3580, 2017. <http://dx.doi.org/10.1111/gcb.13657>

MENDES, R.M.; ANDRADE, M.R.M.; TOMASELLA, J.; MORAES, M.A.E.; SCOFIELD, G.B. Understanding shallow landslides in Campos do Jordão municipality – Brazil: disentangling the anthropic effects from natural causes in the disaster of 2000. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, v. 18, p. 15-30, 2018. <https://doi.org/10.5194/nhess-18-15-2018>

MIRANDA, F.N.; FERREIRA, T.M. A simplified approach for flood vulnerability assessment of historic sites, *Natural Hazards*, v. 96, n. 2, p. 713-730, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11069-018-03565-1>

QUADRO, M.F.L.; ABREU, M.L. Estudos de episódios de Zonas de Convergência do Atlântico Sul sobre a América do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 8., 1994. *Anais...* Belo Horizonte, p. 620-623, 1994.

QUADRO, M.F.L.; DIAS, M.A.F.S.; HERDIES, D.L.; GONÇALVES, L.G.G. Análise Climatológica da precipitação e do Transporte de umidade na região da ZCAS através da Nova geração de reanálises. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 27, n. 2, p. 152-162, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862012000200004>

SANTOS, J. de O. Relações entre fragilidade ambiental e vulnerabilidade social na susceptibilidade aos riscos. *Mercator*, Fortaleza, v. 14, n. 2, p. 75-90, ago. 2015. <http://dx.doi.org/10.4215/RM2015.1402.0005>

SANTOS, R.F. *Vulnerabilidade Ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos?* Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007.

SÃO PAULO. *Unidades Básicas de Compartimentação do Meio Físico (UBC) do Estado de São Paulo*. São Paulo: Instituto Geológico/Coordenadoria de Planejamento Ambiental, Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2014.

SÃO PAULO (Estado). Decreto nº 1.166, de 9 de janeiro de 2012. Cria a região metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte, e dá providências correlatas. São Paulo, v. 62, n. 3, p. 217-220, 2012.

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE (SMA). Estado de São Paulo. Dados socioeconômicos e índices para o período de 2014. Sistema Ambiental Paulista. Disponível em: <<http://datageo.ambiente.sp.gov.br/app/>>. Acesso em: 15 dez. 2017.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. *Mapa Geológico do Estado de São Paulo*. Brasília: CPRM, 2010.

SOUTO MAIOR, M.M.; CANDIDO, G.A. Avaliação das metodologias brasileiras de vulnerabilidade socioambiental como decorrência da problemática urbana no Brasil. *Cadernos Metrópole*, São Paulo, v. 16, n. 31, p. 241-264, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/2236-9996.2014-3111>

TOUBES, D.; GÖSSLING, S.; HALL, C.; SCOTT, D. Vulnerability of Coastal Beach Tourism to Flooding: A Case Study of Galicia, Spain. *Environments*, v. 4, n. 4, p. 83, 2017. <http://dx.doi.org/10.3390/environments4040083>.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO” (UNESP). Sistema Integrado de Monitoramento, Previsão e Alerta de Tempestades para as Regiões Sul-Sudeste do Brasil (SIMPAT-SINAL-SOS) do Instituto de Pesquisas Meteorológicas (IPMet). *Base de dados de desastres naturais, o período de 1990 a 2016*. Bauru. Disponível em: <<https://www.ipmetradar.com.br/2desastres.php>>. Acesso em: 15 dez. 2017.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA (UFSC). Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. *Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: 1991 a 2012*. 2. ed. Florianópolis: UFSC, 2013. 126 p. (Volume Brasil).

VALVERDE, M.C. A interdependência entre vulnerabilidade climática e socioeconômica na região do ABC Paulista. *Ambiente & Sociedade*, São Paulo, v. 20, n. 3, p. 39-60, jul.-set. 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc66r2v2032017>

VALVERDE, M.C.; YOUNG, A.F.; MARENGO, J. Índice de vulnerabilidade na região metropolitana de São Paulo (RMSP) relacionado aos extremos do clima e a fatores socioeconômicos e demográficos. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CLIMATOLOGIA, 4., 2011, João Pessoa. *Mudanças Climáticas e seus impactos em áreas urbanas*. 2011.

VELENYI, E.; SMITZ, M. *Cyclical Patterns in Government Health Expenditures Between 1995 and 2010: Are Countries Graduating from the Procyclical Trap or Falling Back?* World Bank HNP Discussion Paper. 2014.

VINCENT, K. *Creating an index of social vulnerability to climate change for Africa*. Norwich: Tyndall Centre for Climate Change Research and School of Environmental Sciences University of East Anglia Norwich NR4 7TJ, 2004.

ZANELLA, M. Eventos pluviométricos intensos e impactos gerados na cidade de Curitiba/PR - Bairro Cajuru: um destaque para as inundações urbanas (intense rainfall events and generated impacts in the Curitiba city/PR – Cajuru neighborhood: emphasis on urban flooding). *Mercator*, Fortaleza, v. 5, n. 9, 2008.

