

Atlas de riscos geológico e hidrológico do estado do Espírito Santo no período 2011-2020: resultados gerais

Atlas of geological and hydrological risks for the state of Espírito Santo in the period 2011–2020: general results

Rafael Silva Ribeiro¹ 

¹Serviço Geológico do Brasil, Divisão de Geologia Aplicada, Departamento de Gestão Territorial, Avenida Pasteur, 404, Urca, CEP: 22290-255, Rio de Janeiro, RJ, BR (rafael.silva@sge.gov.br)

Recebido em 22 de novembro de 2022; aceito em 25 de outubro de 2022.

Resumo

As conclusões dos mapeamentos de risco do Serviço Geológico do Brasil e dos Planos Municipais de Risco na última década impõem a confecção de um novo atlas no Espírito Santo. O objetivo principal desta pesquisa é apresentar os resultados gerais do Atlas de Riscos Geológico e Hidrológico do Estado do Espírito Santo com os dados dessas publicações. Para isso, foram analisados 1.378 setores de risco alto e muito alto de 78 municípios do Espírito Santo relacionados a 12 processos geológicos e hidrológicos. Os dados foram estatisticamente tratados, o que possibilitou a produção das cartas. As cartas traduzem a análise dos seguintes parâmetros: ano de mapeamento, grau de risco, número de construções e população percentual em risco. Novidades foram criadas nesse processo, como o índice de setorização de risco e as análises percentuais municipal e estadual. O índice de setorização de risco é um índice de fácil determinação e que envolve exclusivamente parâmetros avaliados em campo. Informações referentes ao histórico de decretos municipais, danos e prejuízos e regime pluviométrico foram obtidas e adicionadas no atlas. Os resultados mostram que o índice de setorização de risco do Espírito Santo em 2021 é de 147.888 e que quedas de blocos, inundações e deslizamentos planares estão em pelo menos um setor de mais da metade dos municípios capixabas. A metodologia empregada é inédita e mostra-se relevante na quantificação e gestão do risco a desastres naturais.

Palavras-chave: Geologia de engenharia; Setorização; Movimentos gravitacionais de massa; Desastres naturais.

Abstract

The conclusion of the risk mappings produced by the Geological Survey of Brazil and the Municipal Reduction Risk Plans over the last decade requires the creation of a new atlas for the Brazilian state of Espírito Santo (ES). The main objective of this research was to present the general results of the Atlas of Geological and Hydrological Risks for the State of Espírito Santo, with data from these publications. For this purpose, 1,378 high- and very high-risk sectors from 78 municipalities in ES, related to twelve geological and hydrological processes, were analyzed. Data were statistically treated, which enabled the production of charts. The charts reflect the analysis of the following parameters: year of mapping, degree of risk, number of buildings and percentage population at risk. New developments were created in this process, such as the Risk Sectoring Index (ISR) and the municipal and state percentage analyses. The ISR is an easy-to-determine index that exclusively involves field-evaluated parameters. Information regarding the history of municipal decrees, damages and losses and rainfall regime were obtained and added to the atlas. The results show that Espírito Santo's ISR in 2021 is 147,888, and rockfalls, floods and planar landslides are in at least one sector of more than half of Espírito Santo's municipalities. The methodology used is unprecedented and proves to be relevant in quantifying and managing the risk of natural disasters.

Keywords: Engineering geology; Sectorization; Landslides; Natural disasters.

INTRODUÇÃO

Conforme Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021) e Dicionário Michaelis (Michaelis, 2015), atlas é uma publicação ou livro formado por conjunto de mapas ou cartas geográficas. Além desse conceito clássico, o IBGE esclarece que o termo também se aplica ao conjunto de dados organizados que tratam sobre determinado tema e serve de referência para a construção de informações de acordo com o intuito do usuário. Os dois conceitos são aqui aplicados, visto que, para a obtenção das cartas, são indispensáveis a organização e o tratamento dos dados de interesse.

No Brasil, a maioria dos desastres está organizada e descrita na Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE), que os divide em naturais e tecnológicos (Brasil, 2012b). Por sua vez, os desastres naturais são subdivididos em cinco grupos: geológico, hidrológico, meteorológico, climatológico e biológico. Esse atlas aborda os processos geológicos e hidrológicos estabelecidos na COBRADE. Contudo nem todos os desastres naturais aqui analisados estão na classificação. Por isso, foram adicionados itens e adotados os termos e siglas mostrados nas duas últimas colunas da Tabela 1.

Os efeitos provocados por um desastre natural no Brasil podem levar o estado, o Distrito Federal e os municípios a declararem, mediante decreto do chefe do Poder Executivo, situação de emergência ou estado de calamidade pública. O Decreto nº 10.593, de dezembro de 2020, estabelece que, na situação de emergência, há um comprometimento parcial da capacidade de resposta do poder público ante os danos e prejuízos provocados pelo desastre, enquanto o estado de calamidade pública é decretado quando o comprometimento da capacidade de resposta é substancial (Brasil, 2020).

O Escritório das Nações Unidas para a Redução do Risco de Desastres (UNDRR, 2004) define o risco como: “A probabilidade de consequências danosas ou perdas esperadas (mortes, feridos, propriedades, meios de subsistência, interrupção da atividade econômica ou ambiente danificado) resultantes das interações entre ameaças naturais ou antropogênicas e condições vulneráveis”.

De acordo com Crozier e Glade (2005), a estimativa do risco passa pela integração da análise de perigo com os elementos em risco e suas vulnerabilidades, estando consagrada na forma da Equação 1:

$$\text{Risco} = \text{Perigo} \times \text{Vulnerabilidade} \times \text{Elemento em risco} \quad (1)$$

Tabela 1. Termos e siglas adotados para os desastres naturais analisados no atlas.

Grupo	Subgrupo	COBRADE		Atlas de riscos geológico e hidrológico do ES					
		Tipo	Subtipo	Termo adotado	Sigla				
Geológico	Movimentos de massa	Quedas, tombamentos e rolamentos	Blocos	Queda de blocos	QB				
			Lascas						
			Matacões						
	Erosão	Erosão	Erosão de Margem Fluvial	Lajes	Deslizamento planar	DP			
				Deslizamentos			Deslizamentos de solo e/ou rocha		
				Corridas de massa			Solo/Lama Rocha/Detrimento	Corrida de massa	CM
				Subsidências e colapsos			Colapso e subsidência	CS	
Erosão	Erosão	Erosão de Margem Fluvial	Erosão Costeira/Marinha	Erosão marinha	EM				
			Erosão Continental	Erosão de margem fluvial	EF				
			Erosão Continental	Laminar Ravina Boçorocas	Erosão continental	EC			
Hidrológico	Inundações Enxurradas			Inundação	ID				
				Enxurrada	EX				
Processos não contemplados na COBRADE				Rastejo	RT				
				Enchente	ET				
				Deslizamento rotacional	DR				

Fonte: Modificada de Brasil (2012b).

Van Westen et al. (2006) afirmam que o risco total é resultado do perigo multiplicado pelas perdas esperadas para todos os elementos em risco (Equação 2):

$$Risco = \sum (H \sum (VA)) \quad (2)$$

Em que:

H = é o perigo, expresso como a probabilidade de ocorrência em um período de referência;

V = é vulnerabilidade física de um determinado elemento em risco (de 0 a 1) para um tipo específico de perigo e para um elemento específico em risco;

A = é a quantidade ou custo dos elementos em risco (número de edificações, custo dos edifícios afetados, número de pessoas afetadas etc.).

Em abril de 2012, foi promulgada a Lei nº 12.608, que institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC) e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil (CONPDEC) e autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres (Brasil, 2012a). Conforme os incisos III e IV do artigo 6º da lei, compete à União “promover estudos referentes às causas e possibilidades de ocorrência de desastres de qualquer origem, sua incidência, extensão e consequência” e

“apoiar os Estados, o Distrito Federal e os Municípios no mapeamento das áreas de risco, nos estudos de identificação de ameaças, suscetibilidades, vulnerabilidades e risco de desastre e nas demais ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação” (Brasil, 2012a), o que justifica a atuação do Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM) no tema.

Desde 2011, o SGB/CPRM vem atuando no mapeamento dos riscos a desastres naturais no território nacional em escala que varia de 1:2.000 a 1:1.000 (Macedo e Mirandola, 2018). Lana et al. (2021) apontam que, de maneira geral, na etapa de campo são identificadas as condições potenciais para a deflagração futura dos processos analisados, bem como de evidências que indicam processos em curso ou ocorrências pretéritas. Segundo os autores, também são verificadas características das edificações e da urbanização local, as quais são importantes na avaliação da vulnerabilidade.

As construções em risco são agrupadas em setores, que posteriormente são qualificados em quatro graus: baixo, médio, alto e muito alto (Tabelas 2 e 3). O mapeamento considera apenas os setores com risco alto (R3) e muito alto (R4). Em cada setor, é estimado o número de habitantes em situação de risco.

O Plano Municipal de Redução de Riscos (PMRR) é um documento detalhado que, entre outras informações, define e qualifica áreas de risco e norteia as intervenções

Tabela 2. Graus de risco para deslizamento e erosão de margem fluvial.

Grau de risco	Descrição
R1 Baixo	<ul style="list-style-type: none"> Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes e o nível de intervenção no setor são de baixa potencialidade para o desenvolvimento de processos de deslizamento e erosão de margem fluvial; Não se observa(m) sinal(is), feição(ões) ou evidência(s) de instabilidade. Não há indícios de desenvolvimento de processos de instabilização de encostas e de margens de drenagens; Mantidas as condições existentes, não se espera a ocorrência de eventos destrutivos no período compreendido por uma estação chuvosa normal.
R2 Médio	<ul style="list-style-type: none"> Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes e o nível de intervenção no setor são de média potencialidade para o desenvolvimento de processos de deslizamento e erosão de margem fluvial; Observa-se a presença de algum(ns) sinal(is), feição(ões) ou evidência(s) de instabilidade, porém incipiente (s). Processo de instabilização em estágio inicial de desenvolvimento; Mantidas as condições existentes, é reduzida a possibilidade de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.
R3 Alto	<ul style="list-style-type: none"> Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes e o nível de intervenção no setor são de alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de deslizamento e erosão de margem fluvial; Observa-se a presença de significativo(s) sinal(is), feição(ões) ou evidência(s) de instabilidade. Processo de instabilização em pleno desenvolvimento, ainda sendo possível monitorar a evolução do processo; Mantidas as condições existentes, é perfeitamente possível a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.
R4 Muito Alto	<ul style="list-style-type: none"> Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes e o nível de intervenção no setor são de muita alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de deslizamento e erosão de margem fluvial; Os sinais, feições ou evidências de instabilidade são expressivos e estão presentes em grande número ou magnitude. Processo de instabilização em avançado estágio de desenvolvimento. É a condição mais crítica, sendo possível monitorar a evolução do processo, dado seu elevado estágio de desenvolvimento; Mantidas as condições existentes, é muito provável a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.

Fonte: Modificada de Brasil (2007).

Tabela 3. Graus de risco para enchente e inundação.

Grau de risco	Descrição
R1 Baixo	<ul style="list-style-type: none"> Drenagem ou compartimentos de drenagem sujeitos a processos com baixo potencial de causar danos; Baixa frequência de ocorrência (sem registros de ocorrências nos últimos cinco anos).
R2 Médio	<ul style="list-style-type: none"> Drenagem ou compartimentos de drenagem sujeitos a processos com médio potencial de causar danos; Média frequência de ocorrência (registro de uma ocorrência nos últimos cinco anos).
R3 Alto	<ul style="list-style-type: none"> Drenagem ou compartimentos de drenagem sujeitos a processos com alto potencial de causar danos; Média frequência de ocorrência (registro de uma ocorrência nos últimos cinco anos) e envolvendo construção(ões) de alta vulnerabilidade.
R4 Muito Alto	<ul style="list-style-type: none"> Drenagem ou compartimentos de drenagem sujeitos a processos com alto potencial de causar danos; Alta frequência de ocorrência (pelo menos três eventos em cinco anos) e envolvendo construção(ões) de alta vulnerabilidade.

Fonte: Modificada de Brasil (2004).

estruturais e não estruturais mais adequadas para serem implementadas na eliminação ou mitigação do risco. Os PMRRs são elaborados desde 2006 e contavam inicialmente com o apoio do extinto Ministério das Cidades (Caixeta e Masiero, 2016). A qualificação das áreas de risco segue as classificações dispostas nas Tabelas 2 e 3. Assim como nos setores de risco produzidos pelo SGB/CPRM, há descrição, registros fotográficos e indicação dos limites dos polígonos.

A Secretaria de Saneamento, Habitação e Desenvolvimento Urbano do Espírito Santo aponta que foram elaborados PMRRs em 17 municípios capixabas pelo governo estadual (SEDURB, 2021). Os planos abrangem as áreas urbanas sujeitas a enchentes, enxurradas, inundações, erosões e movimentos gravitacionais de massa. Segundo o órgão, os municípios foram selecionados com base em relatório da Defesa Civil Estadual que registrou os eventos relacionados ao período chuvoso em dez anos. Os municípios foram separados em três grupos de acordo com a região do estado e bacia hidrográfica onde estão localizados. Além dos PMRRs concluídos pelo governo do Espírito Santo, há aqueles que foram contratados pelos governos municipais.

Determinados cálculos desta pesquisa são baseados nos habitantes das unidades político-administrativas que, por sua vez, são quantificados nos censos demográficos realizados pelo IBGE. Nos censos, a população é enumerada no seu local de residência habitual, e contam-se todos os moradores residentes em domicílios particulares e coletivos (IBGE, 2022). De acordo com o artigo 1º da Lei nº 8.184, de 10 de maio de 1991, a periodicidade dos censos demográficos não deve exceder dez anos (Brasil, 1991). Tendo em vista essa realidade, recomenda-se a revisão do atlas após os censos e/ou atualizações de setorizações de risco.

O atlas é mais uma ferramenta para os gestores públicos dos entes federativos na adoção de medidas de planejamento territorial e prevenção a desastres naturais, pois estes sabem qual é o histórico de ocorrências, o tamanho da população e o número de construções que foram ou podem ser afetadas pelos fenômenos aqui analisados.

OBJETIVOS

Este artigo tem como objetivo principal a apresentação e discussão de resultados gerais do Atlas de Riscos Geológico e Hidrológico do Estado do Espírito Santo com base nos dados de risco alto e muito alto oriundos dos mapeamentos realizados entre os anos de 2011 e 2020. Para isso, foram finalizados os seguintes objetivos específicos:

- concepção de metodologia que subsidie a totalidade dos objetivos do atlas e atenda a eles;
- organização e validação dos dados das setorizações de risco do SGB/CPRM e dos PMRRs;
- determinação e categorização das construções em R3 e R4 nos municípios e no estado;
- criação de índice que permita englobar os graus de risco e o número de construções que constituem os setores;
- determinação e categorização do percentual da população em R3 e R4 sob dois aspectos: estadual e municipal;
- definição, por processo, da quantidade de municípios em que há no mínimo um setor R3 ou R4 gerado pelo fenômeno, e, por consequência, a identificação dos processos dominantes nas áreas de risco;
- distribuição por processo do percentual da população capixaba em R3 e R4;
- organização e agrupamento dos processos indicados nos decretos municipais de situação de emergência e estado de calamidade pública;
- análise e comparação da distribuição pluviométrica mensal com o clima do estado e os decretos municipais de situação de emergência e estado de calamidade pública;
- cálculos de danos e prejuízos provocados pelos 12 processos estudados.

Aspectos gerais da área de estudo

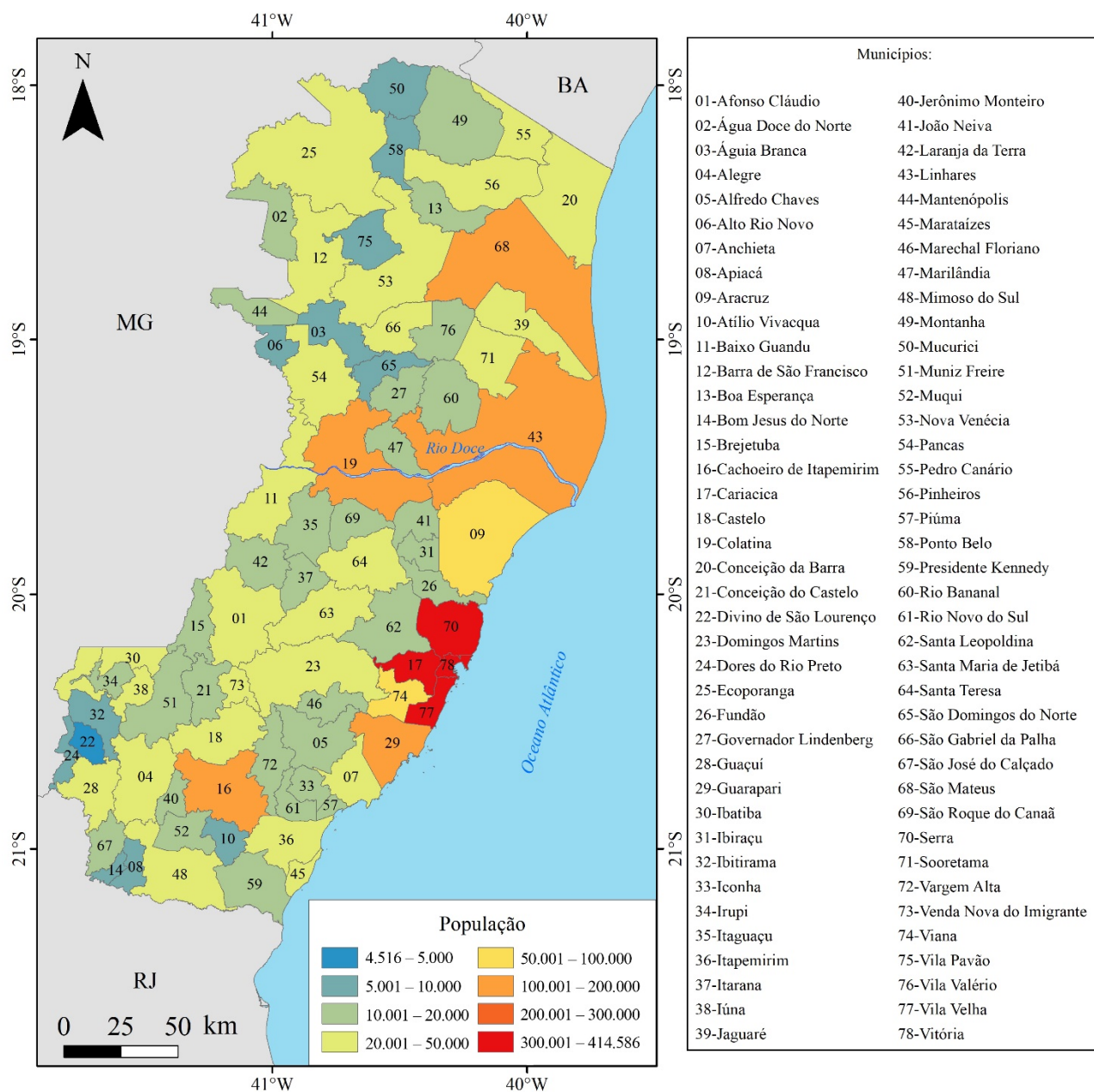
O Espírito Santo é uma unidade da federação formada por 78 municípios. Possui área de 46.074 km² (IBGE, 2020) e 3.514.952 habitantes, de acordo com o censo demográfico de 2010 (IBGE, 2010). Conforme o censo de 2010, os

quatro mais populosos são: Vila Velha, Serra, Cariacica e Vitória (Figura 1).

Nascimento et al. (2016) afirmam que a Classificação Climática de Köppen é o sistema de classificação climática mais empregado em trabalhos científicos e livros didáticos. Na Figura 2, é possível notar que 70,5% do território capixaba possui clima tropical (Alvares et al., 2013). Alvares et al. (2013) assinalam que as regiões com climas Am e Aw no estado possuem, respectivamente, precipitações médias anuais que vão de 1.200 a 1.300 mm e de 1.000 a 1.400

mm. O clima subtropical, com temperaturas médias mais baixas, abrange 29,5% do estado e ocupa seu extremo oeste e regiões sudoeste e centro-sul.

De acordo com Silva e Machado (2014), o Espírito Santo é constituído principalmente de 12 padrões de relevo (Figura 3). Nas áreas norte, nordeste e litorânea, há o predomínio de padrões com menores amplitudes altimétricas e inclinações, tais como planícies, tabuleiros e colinas. Já as regiões central, sul e oeste são dominadas por serras, montanhas e morros.



Fonte: Elaborado com base nos dados do IBGE (2010).

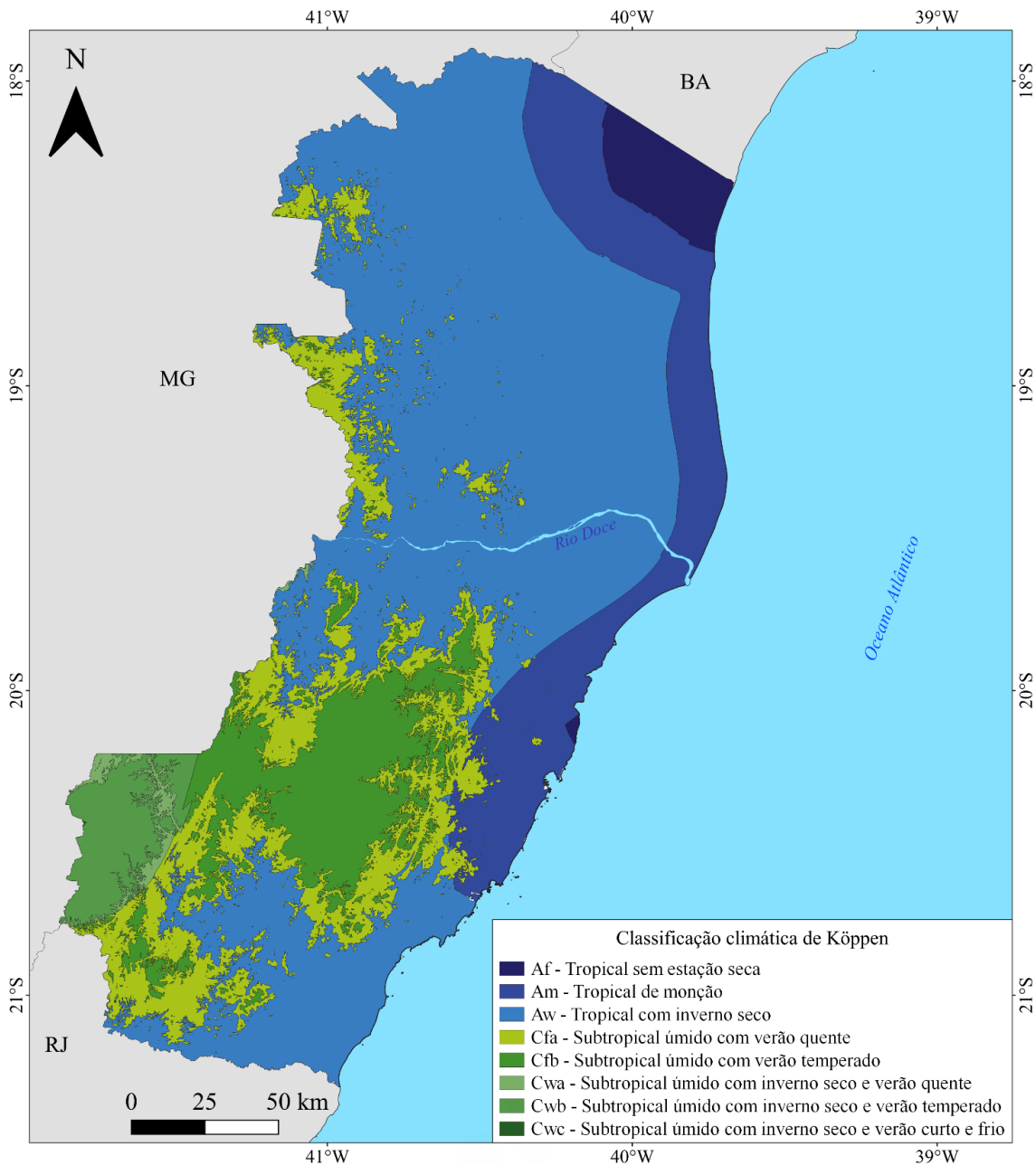
Figura 1. Classificação dos municípios capixabas por população em 2010.

MATERIAIS E MÉTODOS

Durante a pesquisa bibliográfica, foram salvos os PMRRs dos municípios mais populosos e as setorizações de risco do SGB/CPRM concluídos entre 2011 e 2020 (Figura 4). Nos casos em que havia mais de um mapeamento por município, os mais recentes foram selecionados e estudados.

Nos documentos, foram analisados: polígonos de risco, descrição, grau de risco, fotografias da região, logradouros, número de construções e população em

risco. Com as fotografias dos documentos e os polígonos que delimitam os setores de risco, foram realizadas as validações das informações. Rodovias, ruas, avenidas, becos e travessas dos setores foram virtualmente acessados pelo Google StreetView. Foram minuciosamente conferidos: número de construções, grau de risco e estimativa da população residente em cada setor. Nesse processo, eventuais modificações foram consumadas e os dados inseridos em planilha cujas colunas são apresentadas na Tabela 4.



Fonte: Modificado de Alvares et al. (2013).

Figura 2. Climas do estado do Espírito Santo de acordo com a Classificação Climática de Köppen.

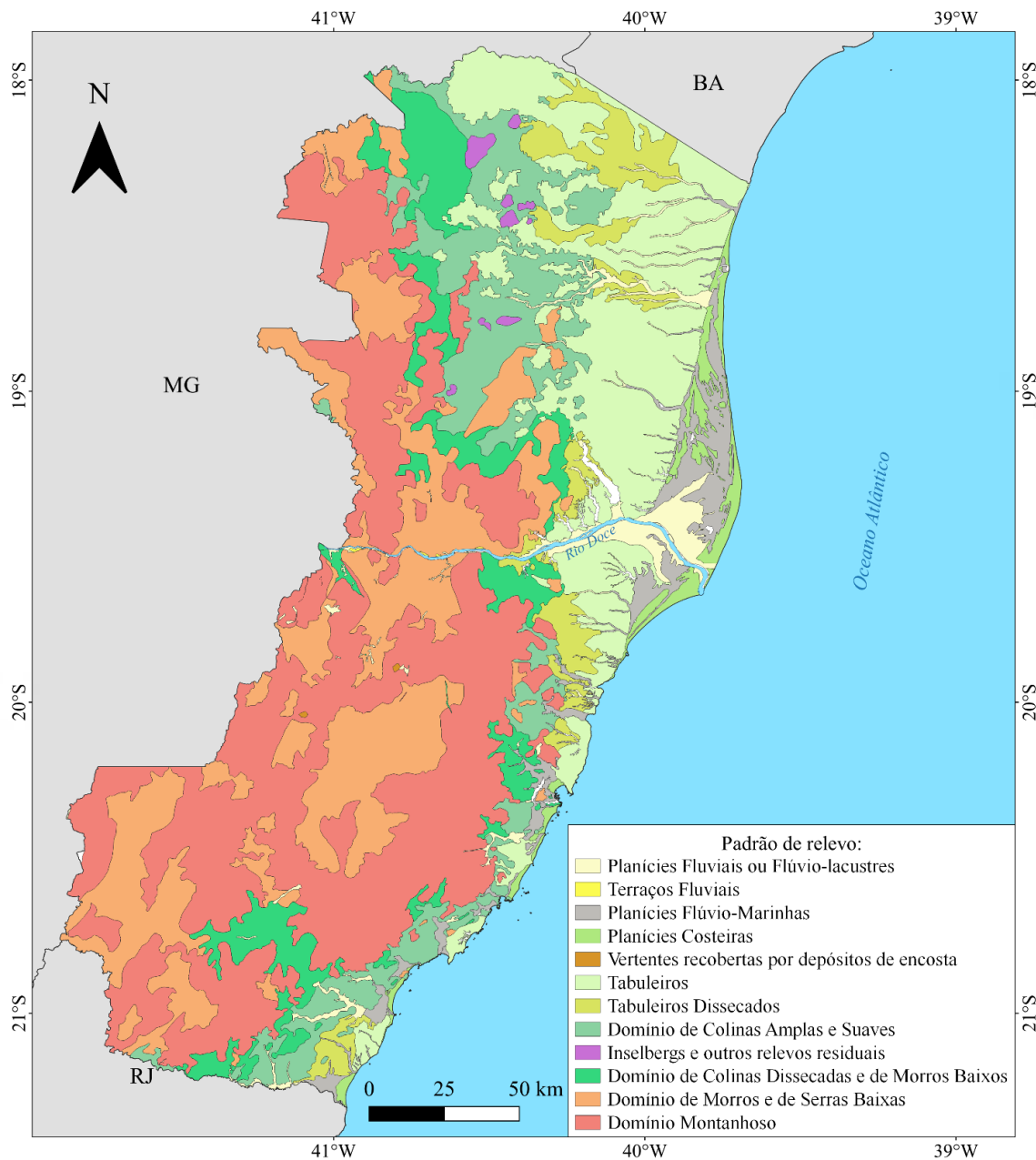
Como a contagem das construções em risco é precisa, foi adotado o número absoluto desse parâmetro nas cartas. Contudo a população residente nos setores de risco é estimada, e, por esse motivo, foram realizados cálculos percentuais com base no último censo demográfico. Para facilitar a compreensão de como os cálculos percentuais foram efetuados, segue um exemplo.

Suponha que um estado tenha 20.000 habitantes. Um de seus municípios possui 1.000 habitantes e 500 deles moram em áreas de risco. Qual o percentual de municípios que estão

em situação de risco? Para responder à questão, é preciso estabelecer qual a população total a ser considerada no cálculo. Se a população estadual que está em risco e reside no município for analisada, o percentual é (Equação 3):

$$= \left(\frac{500}{20.000} \right) \cdot 100 = 2,5\% \quad (3)$$

No caso da determinação da porcentagem da população municipal que está em situação de risco, o resultado é (Equação 4):



Fonte: Modificado de Silva e Machado (2014).

Figura 3. Mapa de padrões de relevo do Espírito Santo.

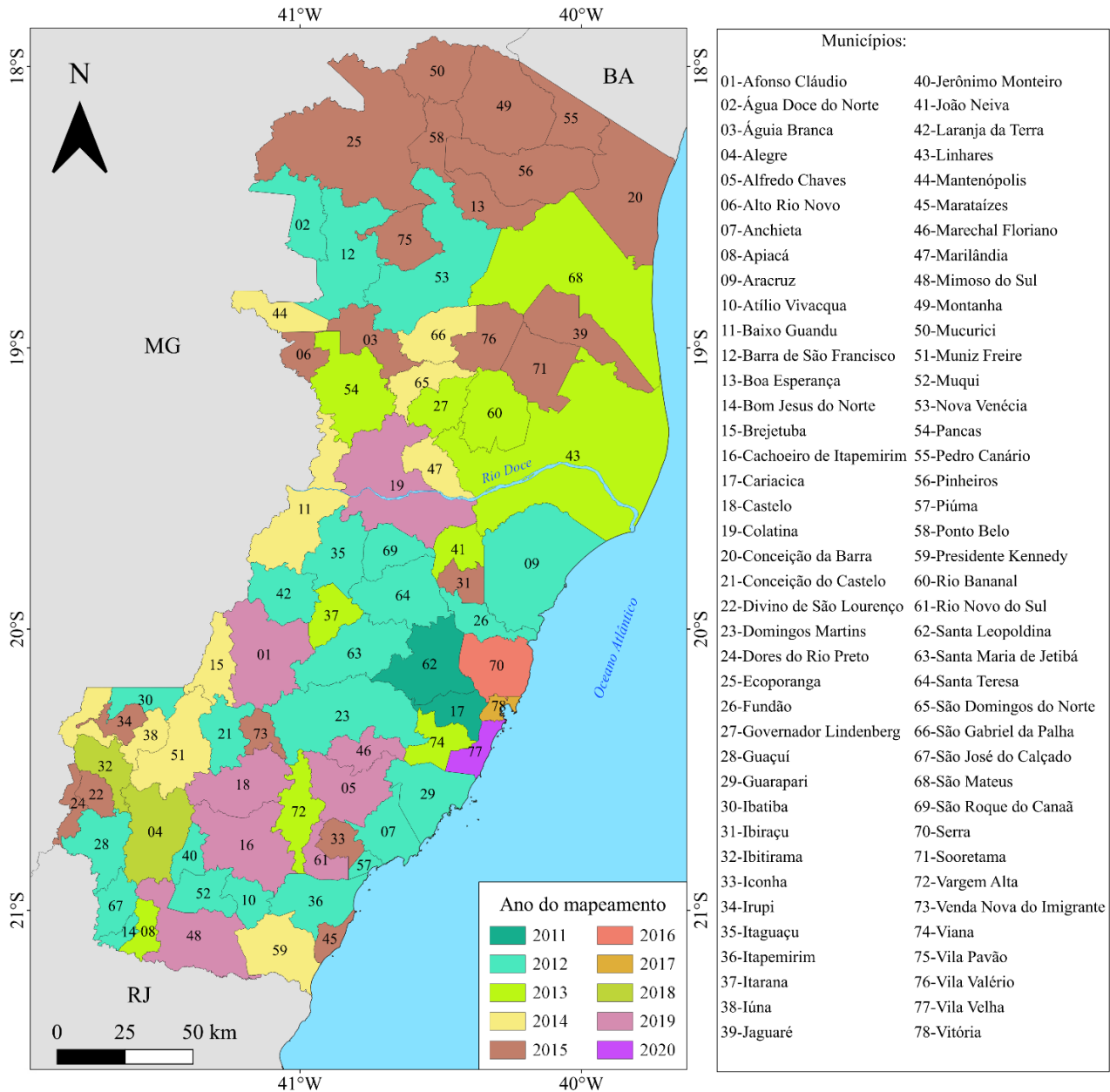


Figura 4. Ano do mapeamento das setorizações de risco e dos Planos Municipais de Redução de Riscos considerados na pesquisa.

Tabela 4. Itens das colunas da planilha Dados de Risco.

Título	Descrição
Município	Nome do município em análise.
Ano	Ano do mapeamento de risco.
Setor	Número do setor de risco.
Processos	Indicação de um ou mais processos que ocorreram ou podem ocorrer no setor.
Grau	Grau de risco: alto ou muito alto.
Construções	Número de construções em risco no setor.
População	Estimativa da população em risco no setor.
OBS	Observações sobre o mapeamento de risco: se é Plano Municipal de Redução de Riscos, se houve alterações, em que coluna ocorreram e o motivo das alterações.

$$= \left(\frac{500}{1.000} \right) \cdot 100 = 50\% \quad (4)$$

Portanto os resultados são diferentes, o que implica representações distintas nas cartas do atlas.

Em conformidade com o exemplo citado anteriormente, o percentual da população estadual em risco alto e muito alto para cada município foi determinado com aplicação da Equação 5. O percentual da população municipal em risco alto e muito alto para cada processo foi calculado com base no censo demográfico de 2010 (IBGE, 2010) (Equação 6).

$$PP_L^{UF} = \left(\frac{Popu_L^{R3 e R4}}{\sum Popu_L^{R3 e R4}} \right) \cdot 100 \quad (5)$$

Em que:

PP_L^{UF} = é o percentual da população da unidade da federação UF em riscos alto e muito alto no município para um ou todos os processos (L);

$Popu_L^{R3 e R4}$ = é a população do município em riscos alto ($R3$) e muito alto ($R4$) originados por um ou todos os processos (L);

$\sum Popu_L^{R3 e R4}$ = é a população da unidade da federação em riscos alto ($R3$) e muito alto ($R4$) provocados por um ou todos os processos (L).

$$PP_L^{Mn} = \left(\frac{Popu_L^{R3 e R4}}{Popu_{2010}} \right) \cdot 100 \quad (6)$$

Em que:

PP_L^{Mn} = é o percentual da população municipal em riscos alto e muito alto no município Mn para um ou todos os processos (L);

$Popu_L^{R3 e R4}$ = é a população do município em riscos alto ($R3$) e muito alto ($R4$) originados por um ou todos os processos (L);

$Popu_{2010}$ = é a população do município no censo demográfico de 2010.

Depois desse diagnóstico, vem outra questão: como representar os graus de risco das construções dos municípios nas cartas do atlas? Considere as setorizações de risco dos municípios X e Z mostradas na Figura 5.

Os municípios X e Z possuem dois setores e sete construções em risco. O setor X.1 possui uma construção com risco muito alto, e o setor X.2 é formado por seis construções com risco alto. O setor Z.1 contém uma construção com risco alto, e o setor Z.2 é composto de seis construções com risco muito alto. Embora tenham características distintas nos resultados dos mapeamentos de risco, se os maiores graus de risco ($R4$) forem considerados, os municípios serão representados da mesma forma na carta. Se o número de construções em risco for considerado, os dois municípios também apresentariam a mesma cor na carta.

No caso da adoção do critério do grau de risco do setor com o maior número de construções, o município X terá a cor laranja e o município Z a cor vermelha. Contudo o grau de risco do outro setor dos municípios é desprezado.

Tendo em vista tal situação, torna-se imperiosa a criação de um índice que abarque os dois parâmetros em suas totalidades. Assim surge o índice de setorização de risco (ISR). O ISR é um parâmetro adimensional igual ou superior a zero e resultante do somatório dos diferentes pesos atribuídos às construções do município. Esses pesos advêm dos graus de risco das construções (Equação 7).

$$ISR_B^A = C_{R1} + 2 \cdot C_{R2} + 3 \cdot C_{R3} + 4 \cdot C_{R4} \quad (7)$$

Em que:

ISR = é o índice de setorização de risco;

C_{R1} = é o número de construções em risco baixo;

C_{R2} = é o número de construções em risco médio;

C_{R3} = é o número de construções em risco alto;

C_{R4} = é o número de construções em risco muito alto;

A = é o ano do cálculo do ISR, formado por quatro algarismos. Exemplo: 2021;

B = é a unidade político-administrativa do referido ISR. Se é do país ou de alguma unidade da federação, é constituído de duas letras maiúsculas (Exemplo: BR, ES, MG e DF). Se é do município, distrito ou bairro, é constituído de três letras maiúsculas (Exemplo: VIT, ADN e BSF).

Porém aqui são estudados somente os setores com risco alto ($R3$) e muito alto ($R4$). Então o ISR é (Equação 8):

$$ISR_B^A = 3 \cdot C_{R3} + 4 \cdot C_{R4} \quad (8)$$

O ISR pode ser utilizado para a determinação do risco por determinado processo em uma região. O processo é representado por termo subscrito formado pelas duas letras maiúsculas padronizadas nas siglas da Tabela 1. Por isso as siglas dos processos não são coincidentes com as das unidades da federação brasileira.

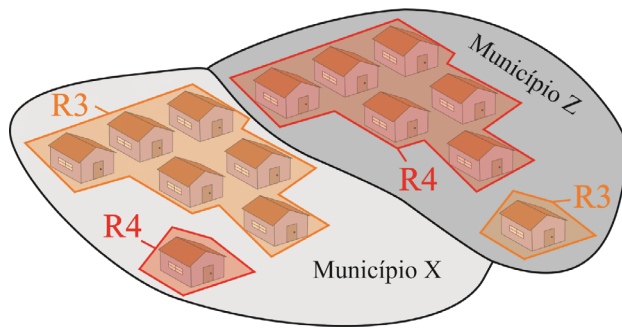


Figura 5. Áreas de risco alto ($R3$) e muito alto ($R4$) dos municípios X e Z.

No exemplo dos municípios X e Z citados anteriormente, seus ISRs são (Equações 9 e 10):

$$ISR_X^{2021} = (3 * 6) + (4 * 1) = 22 \quad (9)$$

$$ISR_Z^{2021} = (3 * 1) + (4 * 6) = 27 \quad (10)$$

Agora, com valores diferentes, os municípios X e Z podem ter representações distintas no atlas, o que dependerá dos limites das classes de valores em que se encontram.

Os resultados obtidos nos cálculos foram inseridos no QGIS em coordenadas geográficas e tendo como sistema de referência geodésico o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas 2000 (SIRGAS 2000). As cartas contêm os limites dos municípios e do estado, e suas áreas são preenchidas pela cor correspondente à classe de valores do parâmetro estudado em que se enquadram. Para a definição da quantidade de classes, foi aplicada a Regra de Sturges (Equação 11):

$$k = 1 + 3,3 \cdot \log(n) \quad (11)$$

Em que:

k = é a quantidade de classes;

n = é o número de dados.

Como a quantidade de municípios e, por consequência, o número de dados representados nas cartas é igual a 78, $k = 7,2$, logo são sete classes para a representação nas legendas das cartas. Contudo os municípios com valor nulo para o parâmetro estudado são indicados em classe própria e na cor branca. Dessa forma, adotaram-se oito classes nas cartas cujos dados foram previamente tratados.

As datas das promulgações dos decretos municipais de situação de emergência e estado de calamidade pública provocados pelos 12 desastres naturais analisados nos municípios entre os anos de 2012 e 2020 disponíveis no sítio eletrônico da Coordenadoria Estadual de Proteção e Defesa Civil do Espírito Santo (CEPDEC-ES, 2021b) foram cadastradas e organizadas na pesquisa. Com isso, foram criados gráficos para a determinação da frequência dos processos em anos e meses e quais são os processos dominantes nos decretos. Além disso, foi feita comparação do número de decretos municipais com a precipitação média mensal e anual em milímetros quantificadas em estações meteorológicas automáticas distribuídas pelo estado cujos registros se iniciaram antes de 2010. As informações das oito estações foram obtidas no Banco de Dados Meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2021) e estão localizadas nos municípios de Alegre, Alfredo Chaves, Linhares, Nova Venécia, Presidente Kennedy, Santa Teresa, São Mateus e Vitória (Figura 6).

Por fim, valores de danos e prejuízos provocados pelos 12 processos informados nos decretos municipais entre

os anos de 2013 e 2020 e disponíveis no sítio eletrônico da Coordenadoria Estadual de Proteção e Defesa Civil do Espírito Santo (CEPDEC-ES, 2021a) foram agrupados em quatro categorias: mortos, feridos e enfermos; desabrigados, desalojados e desaparecidos; construções afetadas; valor das perdas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Há cerca de 44 mil construções em risco alto ou muito alto associados a processos geológicos e hidrológicos no Espírito Santo que estão agrupadas em 1.378 setores analisados, validados e cadastrados. Para cada construção em risco muito alto, há aproximadamente duas construções com risco alto no Espírito Santo (Figura 7). Salvo algumas exceções, os mapeamentos de risco evidenciam que o número de construções em risco fica em destaque em municípios populosos: Serra, Colatina, Cachoeiro de Itapemirim, Cariacica e Castelo. Em sentido contrário estão os municípios do norte do estado, que possuem poucas construções em risco ou não possuem risco alto e muito alto. É o caso de Mucurici, Pinheiros e Ponto Belo (Figura 8).

O ISR do Espírito Santo no ano de 2021 é de 147.888, isto é, $ISR_{ES}^{2021} = 147.888$. Como pode ser observado na Figura 9, os maiores ISRs são de Serra, Colatina, Cachoeiro de Itapemirim, Castelo e Cariacica. Em contrapartida, os ISRs dos municípios de Mucurici, Pinheiros e Ponto Belo são nulos.

Os entes federativos podem acompanhar periodicamente como se comportam seus ISRs. Tomando como base o valor em determinado ano, estes podem impor metas de redução percentuais ou absolutas do índice para uma próxima atualização do índice (Figura 10).

De cada 100 capixabas, 5 residem em construções em situação de risco alto e muito alto oriundo de processos geológicos e hidrológicos. A análise percentual estadual da população em risco mostra que 1/3 da população capixaba em risco mora nos seguintes municípios: Serra, Colatina, Cachoeiro de Itapemirim e Cariacica (Figura 11).

A análise percentual municipal da população em risco alto e muito alto destaca dois municípios: Marechal Floriano e Castelo (Figura 12). De cada quatro municípes dessas cidades, pelo menos um mora em construções localizadas em setores de risco alto e muito alto. Ainda se sobressaem nesse quesito: Apiaçá, Rio Novo do Sul, Alfredo Chaves, Divino de São Lourenço, Dores do Rio Preto e Itarana. Os municípios com maiores crescimentos percentuais da análise estadual para a municipal foram, em sequência: Marechal Floriano, Rio Novo do Sul, Divino de São Lourenço, Alfredo Chaves e Dores do Rio Preto.

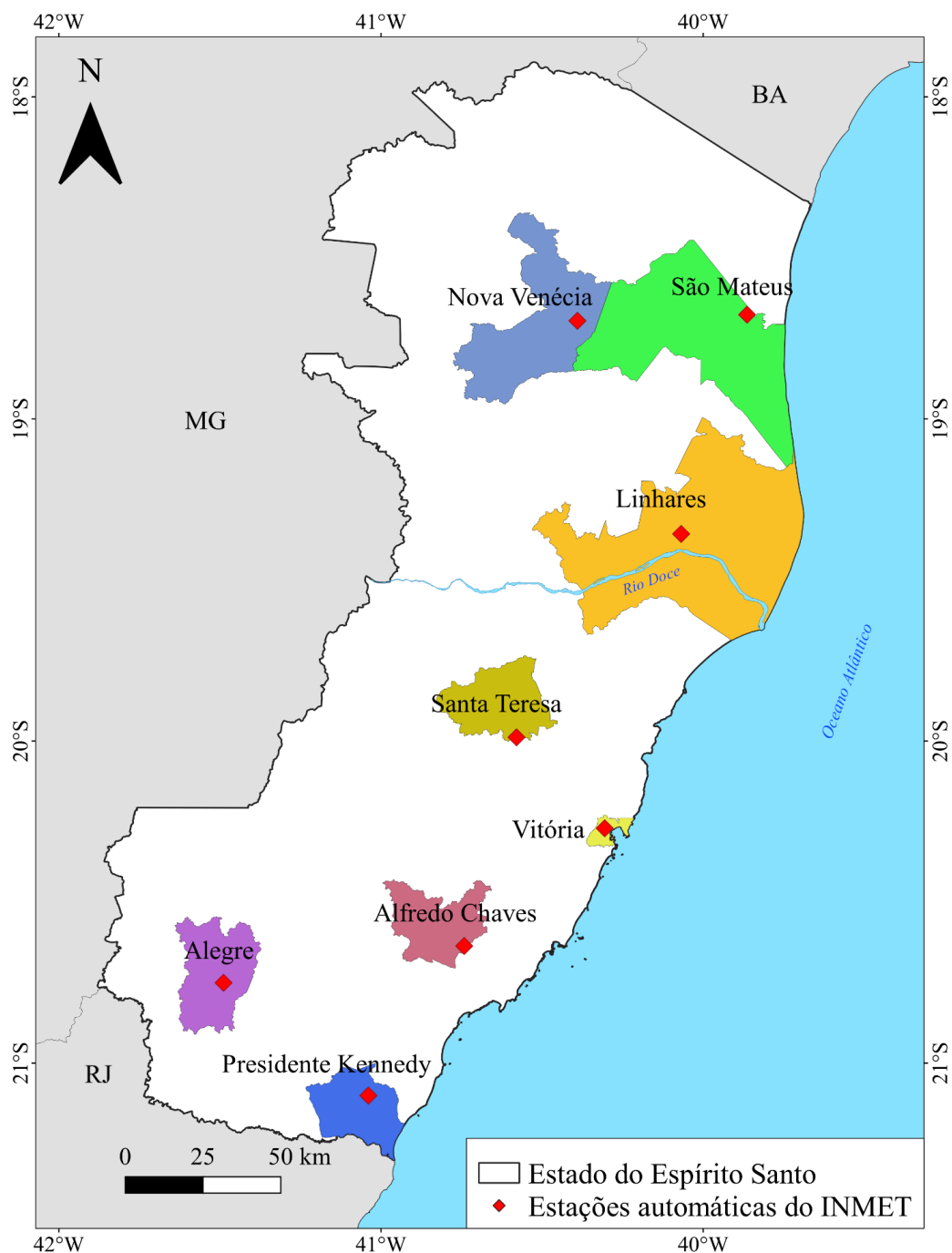
Deslizamento planar, inundação e queda de blocos estão em pelo menos um setor de risco de mais da metade dos

municípios do Espírito Santo, com destaque para o primeiro fenômeno, presente em 91% das cidades com áreas em R3 e R4 (Figura 13). Não há setores com riscos alto e muito alto relacionados a subsidências e colapsos do terreno no estado.

Quase a metade dos cidadãos capixabas em situação de risco alto e muito alto estão em setores de deslizamentos planares, e aproximadamente 4/5 estão em setores de risco cujos

processos são deslizamentos planares, inundações e quedas de blocos. No outro extremo, o somatório dos habitantes residentes em setores com erosão marinha, deslizamento rotacional e corrida de massa não atinge a marca de 1% (Figura 14).

Dos 354 decretos municipais de situação de emergência e estado de calamidade pública registrados na CEPDEC-ES entre 2012 e 2020, 126 contêm um dos 12 processos estudados.



Fonte: Elaborado com base nas coordenadas das estações informadas pelo INMET (2021).

Figura 6. Localização das oito estações meteorológicas automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia.

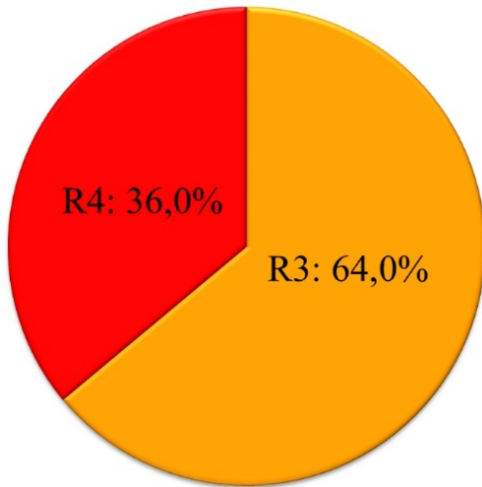


Figura 7. Porcentagens de construções em risco alto (R3) e muito alto (R4) no Espírito Santo.

Grande parte refere-se a processos hidrológicos e os demais foram decretados em função de deslizamentos, erosões e quedas de blocos (Figura 15).

A maioria dos 126 decretos municipais considerados na pesquisa é de 2013 (41%), o que muito provavelmente foi ocasionado por considerável volume de chuva no ano. O oposto aconteceu em 2015, quando não foram registrados decretos municipais relacionados aos processos estudados (Figura 16). Este foi um ano de estiagem no estado, o que fez com que, dos 47 decretos municipais, 46 se devam ao fenômeno.

Quando os decretos municipais são confrontados com as precipitações médias anuais das estações meteorológicas automáticas do INMET, percebe-se certa relação entre eles (Figura 17). Realmente, em 2013, houve um pico das precipitações médias anuais nas estações de Santa Teresa, Vitória, Alfredo Chaves, Alegre e Linhares que diminuíram para 2015, ano com eventos de estiagem no estado do Espírito Santo.

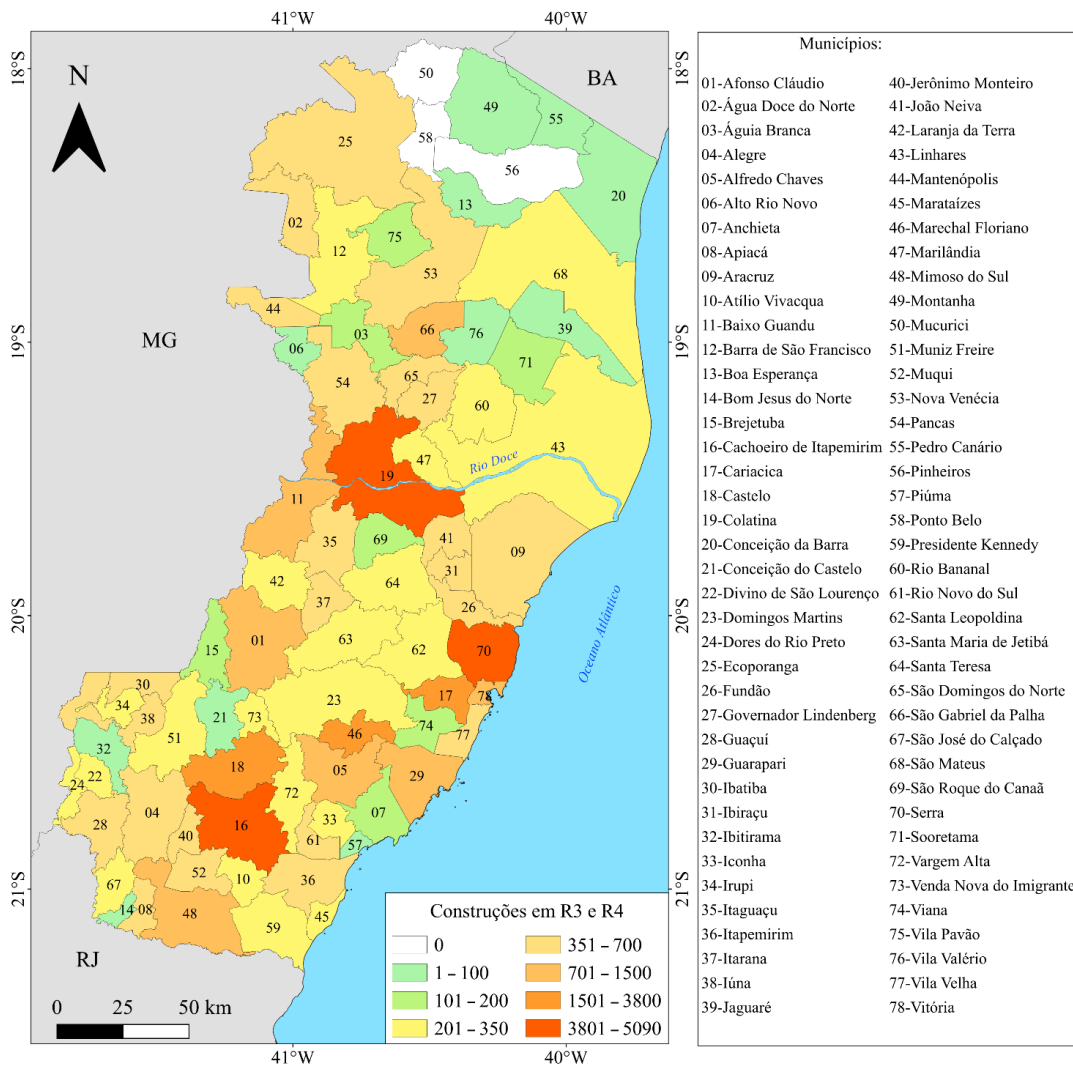


Figura 8. Construções em risco alto (R3) e muito alto (R4) nos municípios do Espírito Santo.

Dos 126 decretos municipais considerados, 111 foram declarados pelas enchentes, inundações e enxurradas. O gráfico de distribuição mensal, representado na Figura 18, mostra a concentração dos registros de decretos municipais desses eventos nos meses de dezembro e janeiro (79%).

Para corroborar a hipótese citada anteriormente, as precipitações médias e os decretos municipais foram contabilizados por mês. Conforme Figura 19, a chuva no Espírito Santo está concentrada entre os meses de novembro e abril, e o período mais seco ocorre de junho a setembro. Esses períodos coincidem, respectivamente, com os maiores números e a pouca ou a ausência de decretações de situação de emergência ou estado de calamidade pública provocadas por enchentes, enxurradas e inundações.

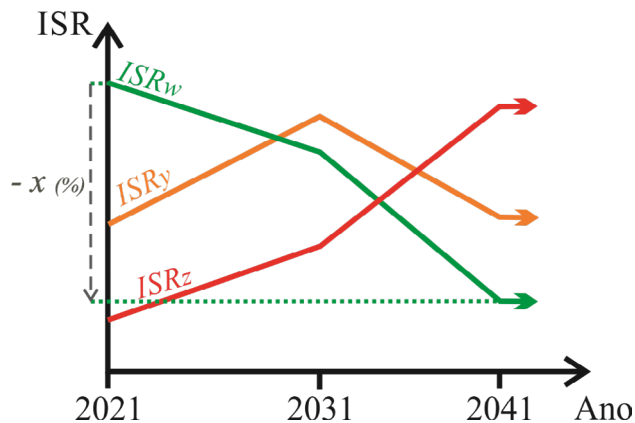


Figura 10. Representações das variações de índice de setorização de risco nas unidades político-administrativas w, y e z e de meta de redução percentual do índice (-x%).

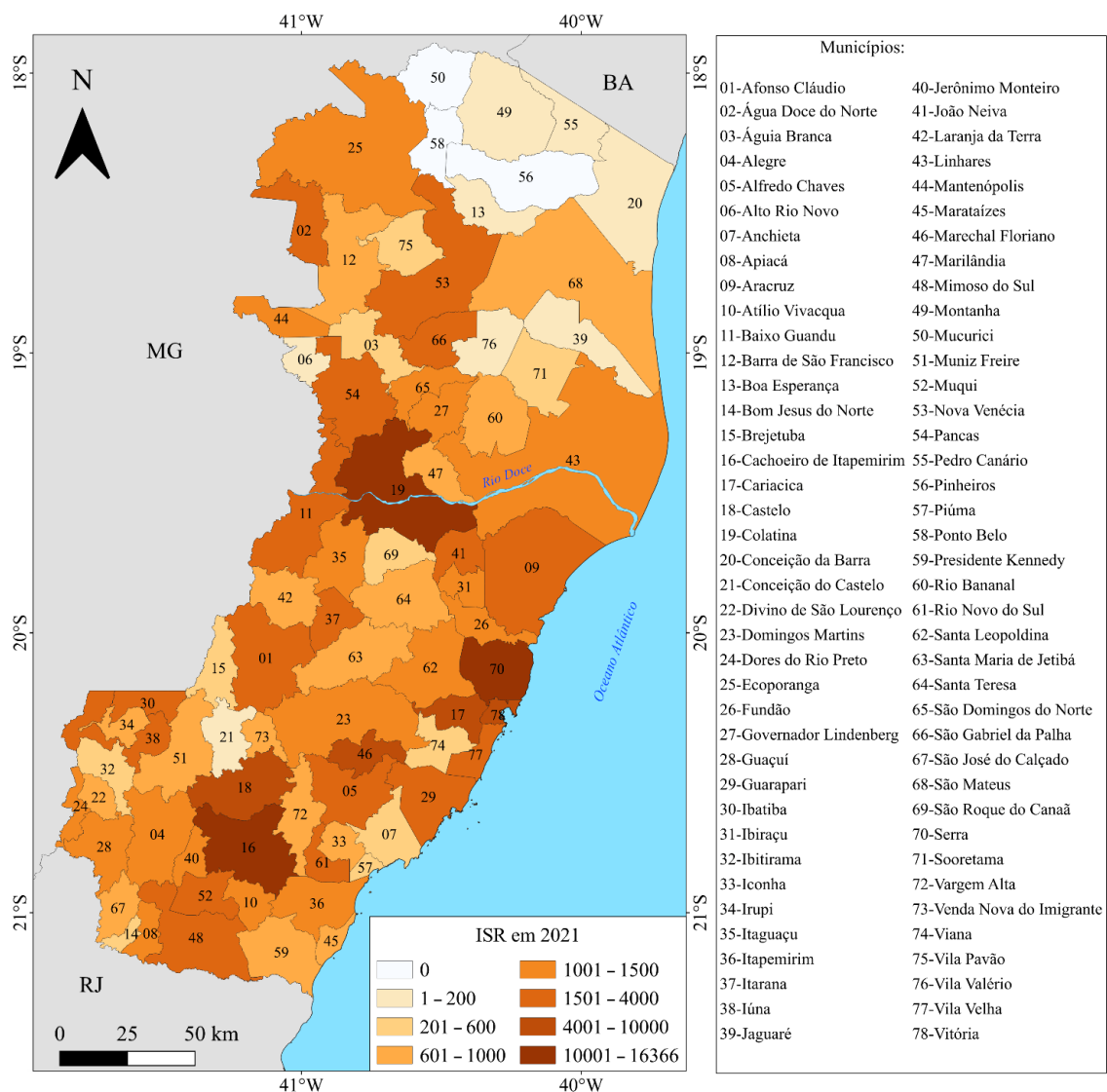


Figura 9. Índice de setorização de risco dos municípios capixabas.

A depender do processo geológico em questão, os decretos municipais variam conforme o período do ano (Figura 20). Decretos de erosões estão concentrados entre agosto e outubro e de deslizamentos e quedas de blocos ocorrem entre novembro e abril.

De acordo com o histórico de danos e prejuízos informados pela CEPDEC-ES (2021a), os 12 processos estudados provocaram no mínimo os seguintes danos e prejuízos de 2013 a 2020:

- 12 mortos, feridos e enfermos;
- 6.148 desabrigados, desalojados e desaparecidos;
- 498 construções destruídas e danificadas; e

- perda de R\$ 104.917.387,90.

Como foram consideradas somente as informações do histórico que continham de maneira explícita um dos termos dos processos aqui analisados, com certeza esses valores são maiores do que os citados anteriormente.

CONCLUSÕES

Cerca de 5% dos capixabas residem em áreas de risco geológico e hidrológico classificadas em R3 ou R4. Deslizamentos

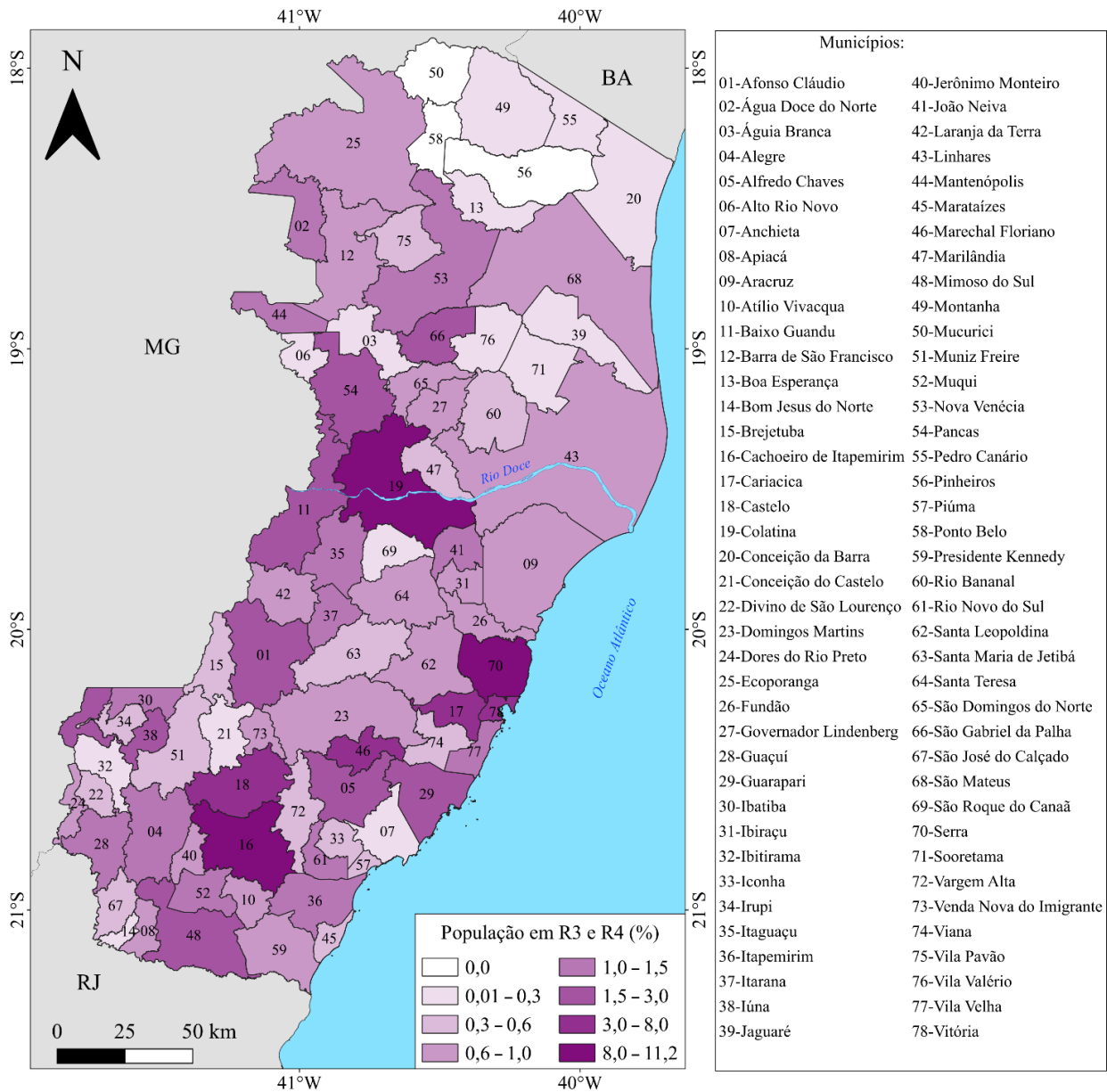


Figura 11. Percentual da população estadual que se encontra em risco alto (R3) e muito alto (R4) nos municípios do Espírito Santo.

planares, inundações e quedas são, nessa ordem, os três processos mais comuns nesses setores de risco e os que mais afetam a população residente nessas áreas para o período entre 2011 e 2020.

Apesar de o deslizamento planar ser o processo dominante em setores com risco alto e muito alto, os processos hidrológicos são responsáveis por 88% dos decretos municipais de estado de emergência e estado de calamidade pública. São levantadas as seguintes hipóteses para essa diferença:

- as setorizações de risco referem-se ao conjunto de áreas afetadas por eventos do passado, presente ou que podem surgir no futuro, enquanto os decretos são eventos transcorridos e que atendem a condições impostas no Decreto nº 10.593/2020;
- concomitância dos dois processos em um período de chuvas no município, com a preferência do poder público no registro de processo hidrológico no decreto;
- no caso dos deslizamentos, o município não perpetrou o decreto em função de sua capacidade de resposta;

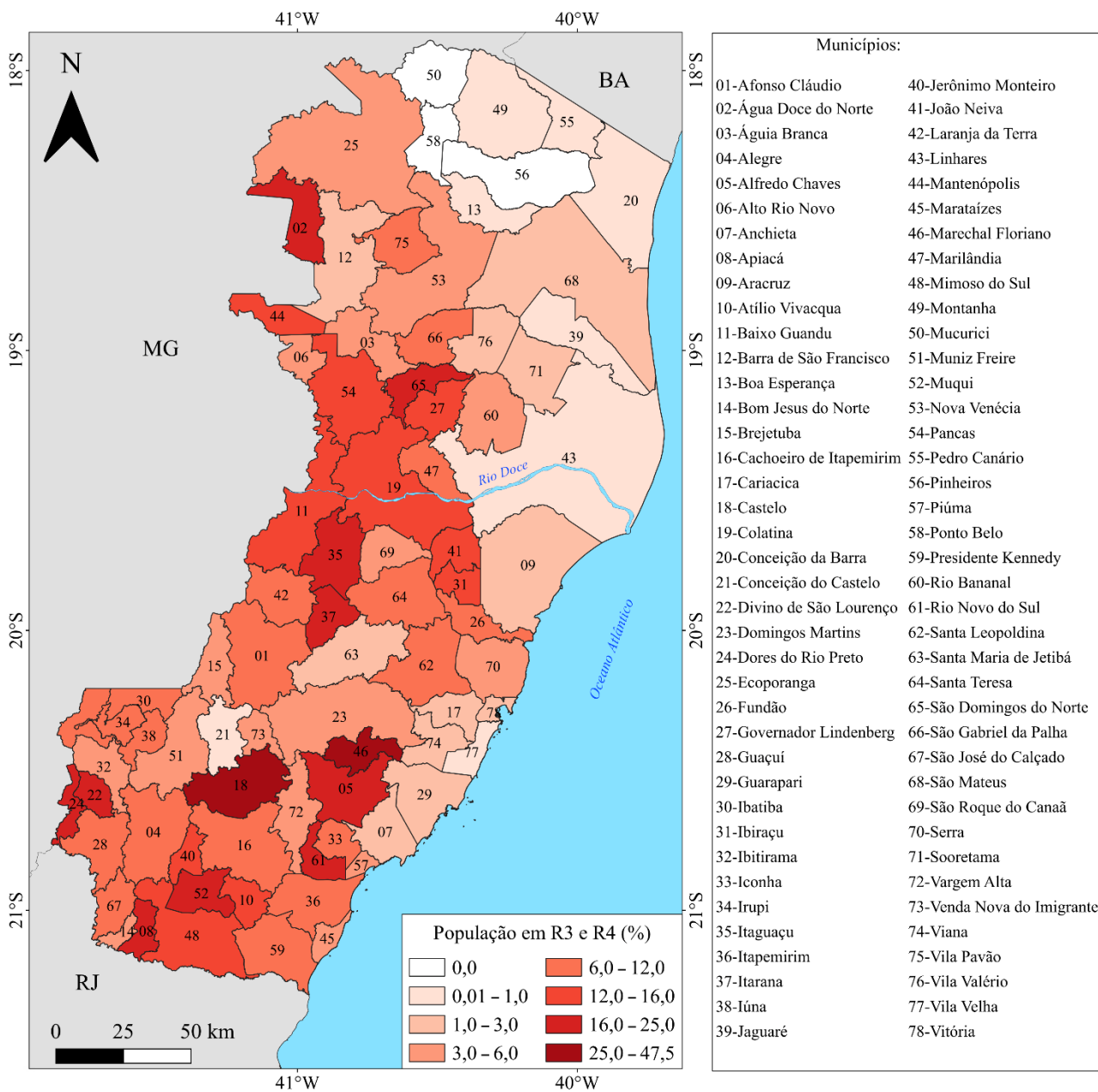
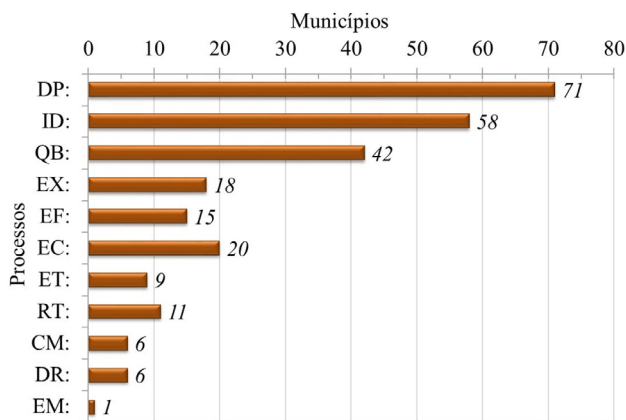


Figura 12. Percentual da população municipal que se encontra em risco alto (R3) e muito alto (R4) nos municípios do Espírito Santo.

- registro incorreto do processo que provocou o desastre, como um alagamento apontado como inundação ou uma corrida de massa assinalada como inundação brusca.

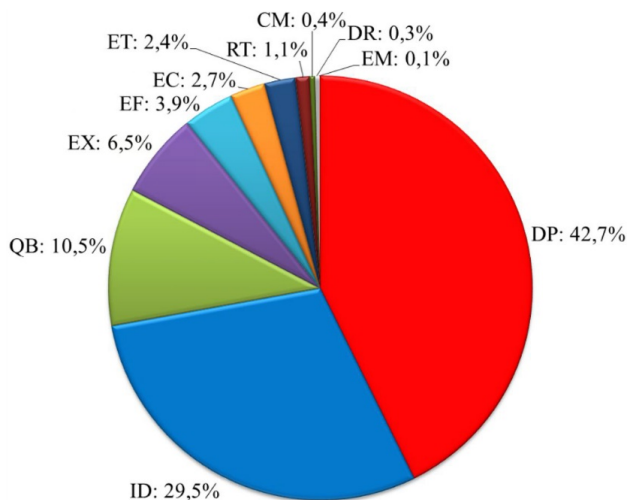
Portanto a identificação dos decretos municipais por processo é dependente do grau de discernimento do indivíduo em relação ao tipo de desastre e da seleção do desastre a ser inserido no documento.

O clima é um fator relevante nas distribuições mensal e anual dos decretos municipais de estado de emergência



DP: Deslizamento planar; ID: Inundação; QB: Queda de blocos; EX: Enxurrada; EF: Erosão de margem fluvial; EC: Erosão continental; ET: Enchente; RT: Rastejo; CM: Corrida de massa; DR: Deslizamento rotacional; EM: Erosão marinha.

Figura 13. Números de municípios do ES que possuem no mínimo um setor de risco alto ou muito alto originado pelos desastres analisados no atlas.

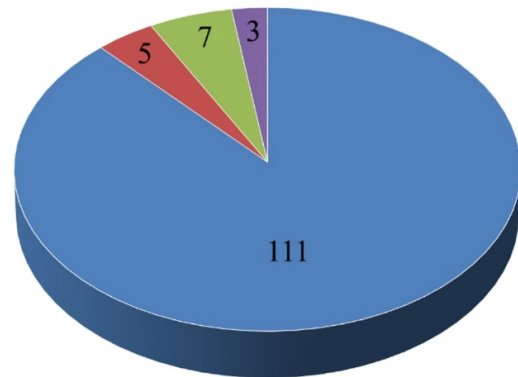


DP: Deslizamento planar; ID: Inundação; QB: Queda de blocos; EX: Enxurrada; EF: Erosão de margem fluvial; EC: Erosão continental; ET: Enchente; RT: Rastejo; CM: Corrida de massa; DR: Deslizamento rotacional; EM: Erosão marinha.

Figura 14. Distribuição por processo do percentual da população capixaba em risco alto e muito alto.

e estado de calamidade pública acarretados por processos hidrológicos. Os registros demonstram que o território capixaba é especialmente afetado por enchentes, inundações e enxurradas no fim da primavera e durante o verão, o que coincide com o regime pluviométrico de um território dominado por clima tropical e com concentração de chuvas entre novembro e março, ou seja, compatível com o que é observado em boa parte da Região Sudeste do Brasil.

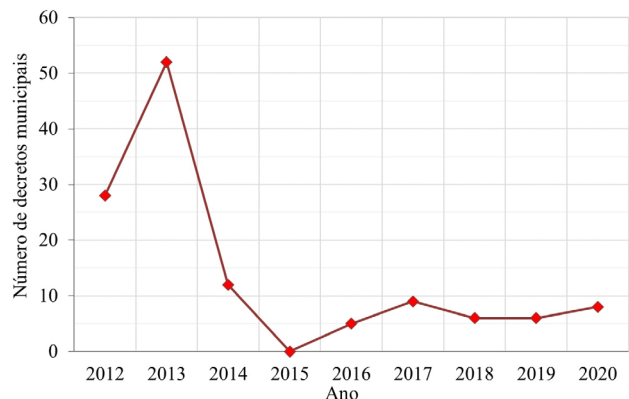
De maneira geral, o número de construções em risco alto e muito alto está associado com a população municipal. Uma das razões apontadas para essa realidade é o fato de que municípios maiores possuem maiores áreas urbanizadas e conseqüentemente maior número



■ ET, ID e EX ■ DP e DR ■ EM, EC e EF ■ QB

DP: Deslizamento planar; ID: Inundação; QB: Queda de blocos; EX: Enxurrada; EF: Erosão de margem fluvial; EC: Erosão continental; ET: Enchente; RT: Rastejo; CM: Corrida de massa; DR: Deslizamento rotacional; EM: Erosão marinha.

Figura 15. Distribuição dos decretos municipais de situação de emergência e estado de calamidade pública por processos agrupados. Fonte: Elaborado a partir dos dados de CEPDEC-ES (2021b).



Fonte: Elaborado com base nos dados de CEPDEC-ES (2021b).

Figura 16. Distribuição dos decretos municipais de situação de emergência e estado de calamidade pública por ano.

de construções que podem estar sujeitas aos processos estudados.

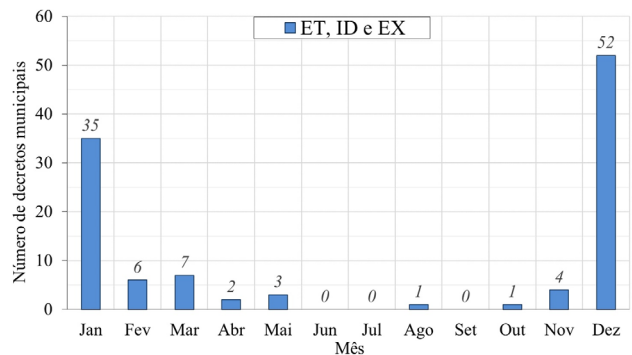
A carta que representa a análise populacional percentual do estado faz com que os municípios mais populosos se sobressaiam, estando os quatro primeiros entre os dez com o maior contingente populacional do Espírito Santo. Mas quando se analisa o percentual municipal, Marechal Floriano, a 45ª cidade capixaba mais populosa, lidera a lista do número de habitantes em R3 e R4. Portanto as cartas mostram a visualização dos dados de uma forma diferenciada. As primeiras parecem ser mais interessantes para planejamento e estudo na esfera estadual, enquanto as últimas são mais importantes para os municípios, especialmente aqueles com menor número de habitantes.

O ISR é um importante parâmetro na visualização, quantificação e caracterização dos riscos geológico e hidrológico. Ele é determinado com a obtenção de somente dois fatores oriundos exclusivamente do mapeamento de campo, o que o torna vantajoso sob o ponto de vista operacional. Como se trata do primeiro estudo referente ao ISR, não é possível estabelecer graus de sua qualificação, o que será exequível em outros estudos. Além disso, em pesquisas futuras, o ISR de cada processo pode ser calculado separadamente para estado e municípios.

O Atlas de Riscos Geológico e Hidrológico do Estado do Espírito Santo atualiza o panorama de risco na última década no estado e é uma importante ferramenta no entendimento das realidades municipais e estadual.

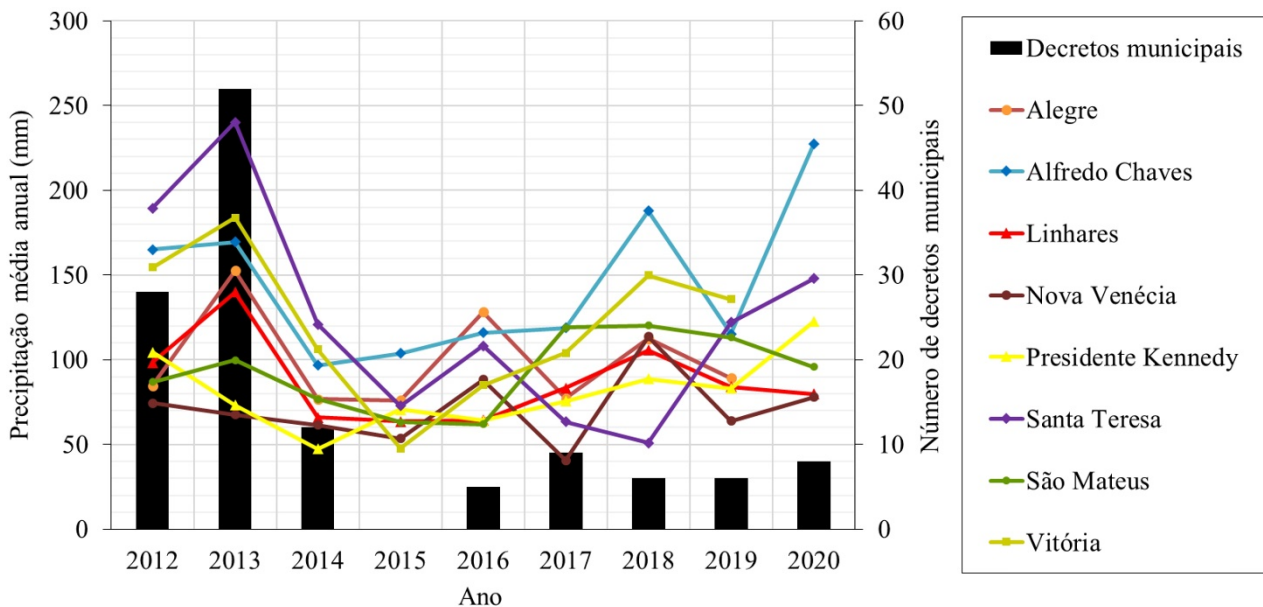
Os gestores públicos dos entes federativos passam a contar com valiosas informações decorrentes de uma nova abordagem metodológica na análise de desastres naturais no estado.

Cabe ressaltar que estão ocorrendo atualizações dos mapeamentos de risco por parte do SGB/CPRM no estado, já que muito provavelmente há alteração do cenário do risco geológico e hidrológico. Com a conclusão dessas setorizações e do censo demográfico de 2022, sugere-se a confecção de um novo atlas e a comparação dos atuais com os futuros valores dos parâmetros aqui analisados, incluindo o ISR. Com esse diagnóstico, será possível analisar a evolução do risco nesses territórios.



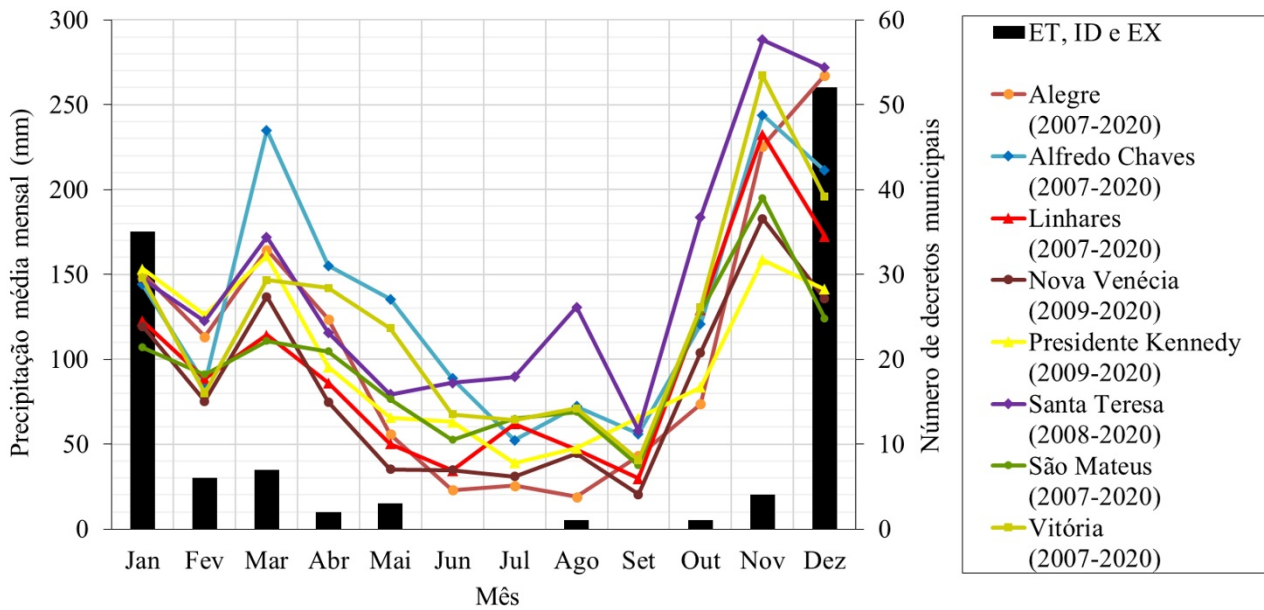
Fonte: Elaborado com base nos dados de CEPDEC-ES (2021b).

Figura 18. Distribuição dos decretos municipais do ES relacionados a enchente (ET), inundação (ID) e enxurrada (EX) por mês de 2012 a 2020.



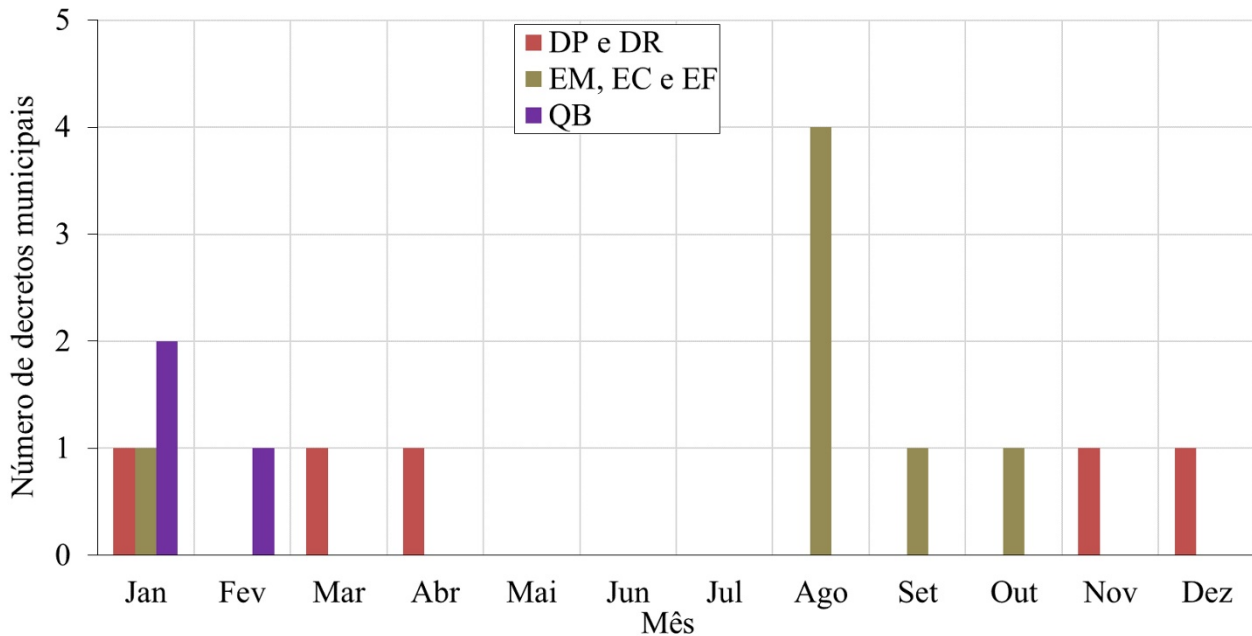
Fonte: Elaborado com base nos dados de CEPDEC-ES (2021b) e INMET (2021).

Figura 17. Precipitação média e decretos municipais anuais no período de 2012 a 2020 no Espírito Santo.



Fonte: Elaborado com base nos dados de CEPDEC-ES (2021b) e INMET (2021).

Figura 19. Relação entre a precipitação média mensal e os decretos municipais no estado do Espírito Santo.



Fonte: Elaborado com base nos dados de CEPDEC-ES (2021b).

Figura 20. Decretos municipais por mês de deslizamento planar (DP), deslizamento rotacional (DR), erosão marinha (EM), erosão continental (EC), erosão de margem fluvial (EF) e queda de blocos (QB).

REFERÊNCIAS

Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. M., Sparovek, G. (2013). Köppen's Climate Classification Map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711-728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

Brasil. (1991). Lei nº 8.184, de 10 de maio de 1991. Dispõe sobre a periodicidade dos Censos Demográficos e dos Censos Econômicos e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/18184.htm. Acesso em: 10 nov. 2021.

- Brasil. (2012a). Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil – SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil – CONPDEC [...]. *Diário Oficial da União*, Brasília. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm. Acesso em: 17 mar. 2020.
- Brasil. (2012b). Ministério do Desenvolvimento Regional. *Classificação e codificação brasileira de desastres (COBRADE)*. Brasil: Ministério do Desenvolvimento Regional. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/protecao-e-defesa-civil-sedec/DOCU_cobrade2.pdf. Acesso em: 6 maio 2021.
- Brasil. (2020). *Decreto nº 10.593, de 24 de dezembro de 2020*. Dispõe sobre a organização e o funcionamento do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil e do Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil e sobre o Plano Nacional de Proteção e Defesa Civil e o Sistema Nacional de Informações sobre Desastres. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/D10593.htm. Acesso em: 21 maio 2021.
- Brasil. Ministério das Cidades. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. (2004). *Treinamento de técnicos municipais para o mapeamento e gerenciamento de áreas urbanas com risco de escorregamentos, enchentes e inundações*. Apostila de treinamento. Brasília: Instituto de Pesquisas Tecnológicas.
- Brasil. Ministério das Cidades. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. (2007). *Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios*. Brasília: Instituto de Pesquisas Tecnológicas.
- Caixeta, K. F., Masiero, D. (2016). Gestão de risco e resposta a desastres: o apoio do governo federal à elaboração de planos municipais de riscos (PMRR's). In: ENEEAAmb, 14.; Fórum Latino, 2.; SBEA, 1., 2016. *Anais* [...]. Brasília, p. 601-608.
- Coordenadoria Estadual de Proteção e Defesa Civil do Estado do Espírito Santo (CEPDEC-ES). (2021a). *Danos e Prejuízos*. Vitória: CEPDEC-ES. Disponível em: <https://defesacivil.es.gov.br/danos-e-prejuizos>. Acesso em: 11 mar. 2021.
- Coordenadoria Estadual de Proteção e Defesa Civil do Estado do Espírito Santo (CEPDEC-ES). (2021b). *Histórico de Decretações*. Vitória: CEPDEC-ES. Disponível em: <https://defesacivil.es.gov.br/historico-de-decretacoes>. Acesso em: 14 jan. 2021.
- Crozier, M. J., Glade, T. (2005). Landslide hazard and risk: issues, concepts and approach. In: Glade, T., Anderson, M., Crozier, M. J. (Eds.), *Landslide hazard and risk*, p. 1-36. Chichester; Hoboken: John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470012659>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2010). *Censo Demográfico do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/>. IBGE: Rio de Janeiro. Acesso em: 8 jan. 2020.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2020). *Cidades e Estados*: Espírito Santo. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/es/>. Acesso em: 7 maio 2021.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2021). *Atlas Escolar*. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: <https://atlasescolar.ibge.gov.br/conceitos-gerais/o-que-e-um-atlas-geografico>. Acesso em: 11 mar. 2021.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2022). *Censo 2022*. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/sobre/quem-e-contado.html>. Acesso em: 8 set. 2022.
- Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). (2021). *Precipitação Total Mensal em Milímetros das Estações Automáticas de Alegre, Alfredo Chaves, Linhares, Nova Venécia, Presidente Kennedy, Santa Teresa, São Mateus e Vitória*. INMET. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/#>. Acesso em: 14 maio 2021.
- Lana, J. C., Jesus, D., Antonelli, T. (Eds.). (2021). *Guia de Procedimentos Técnicos do Departamento de Gestão Territorial: Setorização de Áreas de Risco Geológico*. Brasília: CPRM. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/22262>. Acesso em: 6 set. 2021.
- Macedo, E. S., Mirandola, F. A. (2018). Gestão de Riscos Geológicos. In: Oliveira, A. M. S., Monticeli, J. J. (Eds.). *Geologia de Engenharia e Ambiental*, v. 3, p. 279-300. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental.
- Michaelis (2015). Atlas. In: Michaelis (Ed.). *Dicionário Brasileiro de Língua Portuguesa Michaelis*. Melhoramentos. Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/atlas>. Acesso em: 11 mar. 2021.
- Nascimento, D. T. F., Luiz, G. C., Oliveira, I. J. (2016). Panorama dos sistemas de classificação climática e as diferentes tipologias climáticas referentes ao estado de Goiás e ao Distrito Federal (Brasil). *Élisée*, 5(2), 59-86.

Secretaria de Saneamento, Habitação e Desenvolvimento Urbano do Estado do Espírito Santo (SEDURB). (2021). *Plano de Redução de Risco*. Vitória: SEDURB. Disponível em: <https://sedurb.es.gov.br/plano-de-reducao-de-risco-2>. Acesso em: 3 mar. 2021.

Silva, S. F., Machado, M. F. (Eds.). (2014). *Geodiversidade do estado do Espírito Santo*. Belo Horizonte: CPRM.

United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). (2004). Living with risk: focus on disaster risk reduction. In: UNDRR. *Living with risk: a global review of disaster reduction initiatives*, v. 1, p. 1-33. Geneva: United Nations.

Van Westen, C. J., Van Asch, T. W. J., Soeters, R. (2006). Landslide hazard and risk zonation: why is it still so difficult? *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 65(2), 167-184. <https://doi.org/10.1007/s10064-005-0023-0>