



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
INSTITUTO DE RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

Caracterização dos Desastres Naturais em Minas Gerais

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO

Thaís Aparecida Cortez Pinto

Itajubá, MG, Brasil

2021

Caracterização dos Desastres Naturais em Minas Gerais

por

Thaís Aparecida Cortez Pinto

Monografia apresentada à comissão examinadora Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas da Universidade Federal Itajubá (UNIFEI, MG), como requisito parcial para obtenção do grau de
Bacharel em Ciências Atmosféricas.

Orientador: Enrique Vieira Mattos

Coorientador: Diego Oliveira de Souza

Itajubá, MG, Brasil

2021

Universidade Federal de Itajubá
Instituto de Recursos Naturais
Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a
Monografia

Caracterização dos Desastres Naturais em Minas Gerais
elaborada por
Thaís Aparecida Cortez Pinto

Como requisito parcial para a obtenção do grau de
Bacharel em Ciências Atmosféricas

Comissão Examinadora:



Enrique Vieira Mattos, Dr. (UNIFEI)
(Presidente/Orientador)



Diego Oliveira de Souza, Dr. (CEMADEN)



Fabrina Bolzan Martins, Dr^a. (UNIFEI)



Ricardo Batista Vilela, Msc. (CLIMATEMPO)

Itajubá, 23 de novembro de 2021.

AGRADECIMENTOS

Ao fim de mais uma etapa, olho para trás com orgulho, pois o caminho não foi fácil e não cheguei aqui sozinha.

Agradeço primeiramente aos meus pais, Antonio e Geralda, aos meus irmãos, Rodrigo, Matheus e Thamires, vocês são meu porto seguro e minha base, nada disso faria sentido sem vocês ao meu lado. Agradeço também a todos os familiares que torceram por mim, em especial a família da minha tia Aparecida e do meu padrinho, que me apoiaram tanto durante esse tempo em Itajubá, e às minhas primas “lindinhas”, especialmente Lucila, Letícia e Ana Cristina que sempre estiveram presentes, obrigada por comemorarem minhas conquistas e serem abrigo nos momentos difíceis. Agradeço também aos amigos(as) do Prevest e João Cursino que mesmo com a distância, se fizeram presente em diversas ocasiões.

Durante esses anos de graduação, aprendi muito mais do que a teoria em sala de aula, tenho certeza que não sou a mesma pessoa de 2017 e fico feliz por isso, afinal estamos em constante mudança e aprendizado. Por esse motivo, não posso deixar de agradecer à UNIFEI, aos professores do curso e técnicos(as) de laboratório, obrigada por despertarem em mim o amor pela meteorologia e pela pesquisa, vocês são verdadeiros mestres! Agradecimento especial ao professor Enrique e ao Diego pela orientação e coorientação deste trabalho e ao professor Marcelo e ao Giovanni que foram orientadores de iniciação científica.

Agradeço também a equipe do Projeto TrilhaZ, com vocês aprendi muito, me desafiei e percebi que sou capaz de coisas que nem imaginava. Não poderia deixar de agradecer aos amigos(as) de Ciências Atmosféricas, principalmente a turma de 2017, não sei o que o que seria da graduação sem vocês, em especial aos que fazem parte do ClimaCast (Raquel Pereira, Aline Araújo, Juliano Monteiro, Ivana Bastos e Flávia Azevedo), e é claro à Sarah Marins, Fabiana Teixeira, e Gabriel Teodoro, obrigada pela amizade além da sala de aula.

E por último, mas não menos importante, agradeço a Deus por ter conseguido chegar até aqui e às numerosas pessoas que cruzaram meu caminho durante a graduação e que, de certa forma, contribuíram com minha formação.

Dedicatória:

A minha família. Obrigada pelo incentivo, carinho e amor de sempre.

RESUMO

Monografia de Graduação
Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Itajubá, MG, Brasil

Caracterização dos Desastres Naturais em Minas Gerais.

AUTOR(A): THAÍS APARECIDA CORTEZ PINTO

ORIENTADOR: ENRIQUE VIEIRA MATTOS

COORIENTADOR: DIEGO OLIVEIRA DE SOUZA

Local e Data da Defesa: Itajubá, 23 de novembro de 2021.

Os desastres naturais em todo globo têm aumentado nas últimas décadas, principalmente depois da segunda metade do século XX. No Brasil, entre 1900 e 2006, as inundações lideraram o ranking de ocorrências de desastres naturais, seguida pela ocorrência de deslizamentos. Além dos transtornos sociais, o impacto na economia é grande. Em termos mundiais, há uma estimativa de que os prejuízos chegaram a 2,3 trilhões de dólares no período entre 1970 e 2012. Portanto, entender a frequência temporal da ocorrência de desastres naturais e sua distribuição espacial é importante para auxiliar no planejamento para emissão de alertas com maior antecipação, o que pode auxiliar na mitigação dos impactos decorrentes dos desastres naturais. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo geral avaliar a distribuição espacial e temporal desastres naturais ocorridos no Estado de Minas Gerais, entre 2016 e 2020, assim como caracterizar o desastre natural ocorrido na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) em janeiro de 2020. Foram utilizados dados provenientes do banco de dados do CEMADEN, imagens de satélite, dados do ERA5 e dados de relâmpagos. Dessa maneira, a partir dos resultados obtidos pode-se concluir que os desastres naturais ocorridos em Minas Gerais durante o período de 2016 à 2020 possuem maior frequência de ocorrência nos meses do verão (589 eventos), sendo o movimento de massa o tipo mais recorrente. Com relação ao evento na RMBH, os movimentos de massa também foram o tipo com maior registro (17 eventos). Além disso, o fenômeno meteorológico que deflagrou tais ocorrências foi a Zona de Convergência do Atlântico Sul.

Palavras-chave: Desastres Naturais. Minas Gerais. Região Metropolitana de Belo Horizonte.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Características comportamentais dos desastres naturais. Fonte: Marcelino, 2008.....	6
Figura 2 - Ilustração dos tipos de escorregamentos: (a) escorregamento translacional ou planar, (b) escorregamento rotacional ou circular e (c) escorregamento em cunha. Fonte: adaptado de Tominaga et al. (2009).	8
Figura 3 - Perfil esquemático do processo situação normal, enchente e inundação. Fonte: Tominaga et al. (2009).	9
Figura 4 - Distribuição dos desastres naturais por continente no período de 1900-2006. IN – Inundação, ES – Escorregamento, TE - Tempestade, SE – Seca, TX – Temperatura Extrema, IF – Incêndio Florestal, VU – Vulcanismo, TR – Terremoto e RE – Ressaca. Fonte: Marcelino (2008).	10
Figura 5 - Tipos de desastres naturais ocorridos no Brasil (1900-2006). IN – Inundação, ES - Escorregamento, TE – Tempestades, SE – Seca, TX – Temperatura Extrema, IF – Incêndio Florestal e TR – Terremoto. Fonte: Marcelino, 2008.	11
Figura 6 - Localização dos municípios de Minas Gerais monitorados pelo CEMADEN.	14
Figura 7 - Distribuição espacial de desastres naturais em Minas Gerais entre 2016 e 2020 para os 143 municípios monitorados pelo CEMADEN no estado.	18
Figura 8 - Distribuição dos tipos de desastres naturais no Estado de Minas Gerais entre 2016 e 2020 para os municípios monitorados pelo CEMADEN.	19
Figura 9 - Distribuição anual (a) total e por (b) tipologia dos desastres naturais em Minas Gerais entre 2016 e 2020.	20
Figura 10 - Acumulado anual de precipitação do produto MERGE para a RMBH (2016-2020)	21
Figura 11 - Distribuição mensal (a) total e por (b) tipologia dos desastres naturais em Minas Gerais entre 2016 e 2020.	22
Figura 12 - Distribuição dos desastres naturais em Minas Gerais (a) total e (b) por tipologia separados por período do dia em: i) madrugada (00:00 – 06:00 hora local), ii) manhã (06:00 – 12:00 hora local), iii) tarde (12:00 – 18:00 hora local), e iv) noite (18:00 – 00:00 hora local).	23

- Figura 13- Distribuição espacial dos desastres naturais e da localização dos pluviômetros para o evento ocorrido entre os dias 23 e 25 de janeiro de 2020 na RMBH. Os desastres são representados por estrelas em cores variadas: rosa-Alagamento, branca-Enxurrada, vermelha-Inundação e azul-Movimento de Massa. Os pluviômetros são representados por círculos na cor amarela. A região destacada na cor verde escuro representam os municípios monitorados pelo CEMADEN e em verde claro os municípios compreendidos pela RMBH.24
- Figura 14 – Fotografia dos registros de ocorrências em Belo Horizonte no dia 24/01/2020. (a) por volta das 7h, (b) 7h 40min, (c) 7h 52min e (d) Madrugada. Fonte: G1 – Fotos: Reprodução/TV Globo (<https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2020/01/24/chuva-forte-provoca-alagamento-na-pampulha-em-belo-horizonte.ghtml>).....24
- Figura 15 - Acumulado diário de precipitação (mm/dia) na RMBH em janeiro de 2020 com dados de estações meteorológicas fornecidas pelo CEMADEN, das cidades: (a) Belo Horizonte, Betim, Rio Acima; (b) Brumadinho, Caeté, Ibirité; (c) Nova Lima, Ribeirão das Neves, Raposos; (d) Santa Luzia, Vespasiano.27
- Figura 16 - Acumulado diário de precipitação (mm/dia) proveniente do produto MERGE para os dias: a) 23, b) 24 e c) 25 de janeiro de 2020. O quadrado vermelho indica aproximadamente a localização da RMBH.27
- Figura 17 - Acumulado horário de precipitação (mm/hora) na RMBH no dia 24/01/2020 das cidades: (a) Belo Horizonte, Betim, Rio Acima; (b) Brumadinho, Caeté, Ibirité; (c) Nova Lima, Ribeirão das Neves, Raposos; (d) Santa Luzia, Vespasiano.29
- Figura 18 - Distribuição dos tipos (alagamento, enxurrada, inundação e movimento de massa) de desastres naturais na RMBH entre os dias 23, 24 e 25 de janeiro de 2020 para os municípios monitorados pelo CEMADEN.30
- Figura 19 - Cartas sinóticas de (a, b, c) Altitude (205hPa), (d, e, f) Médios níveis (500hPa) e (g, h, i) Superfície para os dias 23, 24 e 25 de janeiro de 2020 às 18Z. Fonte: CPTEC/INPE.....32
- Figura 20 - Análise sinótica: (a, b, c) Jatos 250hPa, Espessura 500-1000hPa, Divergência 250hPa e Pressão ao nível médio do mar; (d, e, f) Água precipitável e Escoamento 850hPa; Convergência de umidade 850hPa, Vetores do vento 850hPa e Omêga negativo 500hPa para os dias 23, 24 e 25 de janeiro de 2020 às 18Z. O quadrado vermelho indica aproximadamente a localização da RMBH.33

Figura 21 - Análise termodinâmica: (a, b, c) CAPE e (d, e, f) Cisalhamento do vento para os dias 23, 24 e 25 de janeiro de 2020 às 18Z. O quadrado vermelho indica aproximadamente a localização da RMBH.	34
Figura 22 - Imagens de satélite (GOES-16, CH13 – 10,3 μm) para os horários: (a) 23/01/2020 21:00 UTC, (b) 23/01/2020 23:00 UTC, (c) 24/01/2020 01:00 UTC, (d) 24/01/2020 09:00 UTC, (e) 25/01/2020 15:00 UTC, (f) 25/01/2020 17:00 UTC, (g) 25/01/2020 19:00 UTC. O quadrado vermelho indica aproximadamente a localização de Minas Gerais.	36
Figura 23 – Densidade de relâmpagos (nuvem-solo + intra-nuvem) da rede Earth Networks Total Lightning Network calculada numa grade 4x4Km: (a) 23/01/2020, (b) 24/01/2020 e (c) 25/01/2020. O quadrado vermelho indica aproximadamente a localização da RMBH.	36
Figura 24 - Total de relâmpagos (intranuvem + nuvem-solo) da rede Earth Networks Total Lightning Network (24/01/2020)	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos desastres naturais com relação à intensidade.	5
Tabela 2 - Classificação dos desastres naturais quanto à tipologia.	7
Tabela 3 - Municípios do Estado de Minas Gerais monitorados pelo CEMADEN.....	44
Tabela 4 - Municípios da Região Metropolitana de Belo Horizonte monitorados pelo CEMADEN.	47

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABI	- <i>Advanced Baseline Imager</i>
ASAS	Anticiclone do Atlântico Sul
AVADAN	- Avaliação de Danos
CAPE	- <i>Convective Available Potential Energy</i>
CEMADEN	- Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
CPTEC	- Centro de Previsão do Tempo e do Clima
ENTLN	- <i>Earth Networks Total Lightning Network</i>
ECP	- Estado de Calamidade Pública
EM DAT	- <i>Emergency Disasters Database</i>
ECMWF	- <i>European Centre for Medium-Range Weather Forecasts</i>
ERA5	- <i>ECMWF Reanalysis v5</i>
GPM	- <i>Global Precipitation Measuring</i>
GOES	- <i>Geostationary Operational Environmental</i>
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	- Índice de Desenvolvimento Humano
INPE	- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INMET	- Instituto Nacional de Meteorologia
ONU	- Organização das Nações Unidas
OMM	- Organização Meteorológica Mundial
PIB	- Produto Interno Bruto
RMBH	- Região Metropolitana de Belo Horizonte
SE	- Situação de Emergência
SEDEC	- Secretária Nacional de Defesa Civil
ZCAS	- Zona de Convergência do Atlântico Sul

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....	IX
RESUMO.....	6
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. OBJETIVO GERAL	2
2. REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1. CONCEITOS SOBRE DESASTRES NATURAIS	3
2.2. CLASSIFICAÇÃO DOS DESASTRES NATURAIS	4
2.3. DISTRIBUIÇÃO DOS DESASTRES NATURAIS NO MUNDO E NO BRASIL	9
3. DADOS E METODOLOGIA	13
3.1. REGIÃO DE ESTUDO	13
3.2. ANÁLISE ESPACIAL E TEMPORAL DOS DESASTRES NATURAIS NO ESTADO DE MINAS GERAIS	13
3.3. ANÁLISE DE UM EVENTO DE DESASTRE NATURAL OCORRIDO NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE	14
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	17
4.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS DESASTRES NATURAIS REGISTRADOS NO ESTADO DE MINAS GERAIS	17
4.2. ESTUDO DE CASO DE UM DESASTRE NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE	23
4.2.1. DESCRIÇÃO DO EVENTO	23
4.2.2. CONDIÇÕES SINÓTICAS E TERMODINÂMICAS	30
4.2.3. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA TEMPESTADE	34
5. CONCLUSÕES.....	37
6. REFERÊNCIAS	38

1. INTRODUÇÃO

A precipitação é uma das mais importantes variáveis meteorológicas para o funcionamento da sociedade, possuindo impactos nas atividades consideradas de alta demanda, como por exemplo, na produção de energia, nas atividades industriais, agropecuárias e florestais (SIQUEIRA, 2014). Contudo, quando a precipitação acontece de forma intensa em locais de alta vulnerabilidade, podem causar impactos socioeconômicos, deflagrando eventos adversos, como inundações, enxurradas e movimentos de massa (CALBETE *et al.*, 2016).

De acordo com o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, durante o período de 1991 a 2012, a ocorrência de enxurrada foi o fenômeno que gerou o maior número de mortos no Brasil. Em contrapartida, devido a área de abrangência a estiagem é o tipo de desastre que afetou maior número de pessoas. Além dos transtornos sociais, o impacto dos desastres naturais na economia é grande. Em termos mundiais, os prejuízos associados à ocorrência de desastres naturais, chegaram a aproximadamente 2,3 trilhões de dólares, entre os anos de 1970 e 2012 (UFSC, 2013; WMO, 2015 apud ALVALÁ e BARBIERI, 2017).

A partir da segunda metade do século XX, o número de desastres naturais em todo o globo aumentaram. Mesmo que ainda não seja possível atribuir à ocorrência de um evento individual às mudanças do clima, é evidente que a partir da década de 1950, às mudanças climáticas já influenciavam na magnitude e frequência de eventos extremos em diversas regiões. Outros fatores que poderiam influenciar o aumento no número de desastres é o crescimento populacional, a segregação socioespacial e o avanço da comunicação (MARCELINO *et al.*, 2006; IPCC, 2012 apud ALVALÁ; BARBIERI, 2017).

Segundo Dalagnol *et al.* (2021), o evento extremo de precipitação que ocorreu em janeiro de 2020 no Estado de Minas Gerais, afetou mais de 90 mil pessoas e as perdas econômicas chegaram, a aproximadamente, 1,3 bilhões de reais. Além disso, os autores estimam que pelo menos 41% dos impactos podem ser atribuídos às mudanças climáticas.

Para prevenir e diminuir os impactos dos desastres naturais é importante que seja realizado um monitoramento eficaz das áreas de risco, aliado com uma educação ambiental da população e políticas públicas e estaduais eficientes. Em termos de monitoramento de desastres naturais, a combinação dos registros das

defesas civis sobre ocorrência de desastres naturais com dados obtidos através de pluviômetros, satélites, radares, radiossondagem e modelos de previsão numérica do tempo tem-se mostrado uma estratégia fundamental (KOBAYAMA *et al.*, 2006). O pluviômetro é um instrumento utilizado para medir a precipitação, e no âmbito acadêmico, é utilizado em estudos hidrometeorológicos para inúmeras finalidades. Além disso, esses equipamentos podem ser automáticos ou convencionais, e sua principal vantagem é a medida da precipitação local com boa precisão (BLAINSKI *et al.*, 2012; FUKAO e HAMAZU, 2017 apud CASERI e ANGELIS, 2018)

Por outro lado, o radar meteorológico, instrumento que tem como princípio a emissão de uma onda eletromagnética, apesar de apresentar alguns erros, abrange uma área maior que a do pluviômetro, sendo uma vantagem importante. Além disso, é possível detectar granizo e obter o perfil horizontal do vento (SKOLNIK, 1990; RAMIREZ, 2018). Já através de satélite é possível obter imagens com diferentes resoluções, aplicadas a diferentes finalidades, como o estudo e monitoramento de inundações, queimadas, além da possibilidade de mapear recursos hídricos. Sendo assim, o satélite tem como vantagem a resolução temporal dos seus produtos e a grande área de abrangência (OLIVEIRA e FLORENZANO, 2006).

A combinação simultânea dos instrumentos meteorológicos citados anteriormente, é importante para a previsão e mitigação da ocorrência de desastres naturais. O gerenciamento de desastres tem como principal objetivo, entender os fenômenos naturais e preparar a população para enfrentar as consequências de tais fenômenos (AMARAL e GUTJAHR, 2011). Nesse contexto, é possível observar a importância de estudos sobre desastres naturais. Contudo, ainda existe lacunas no que se refere a distribuição de desastres naturais no Estado de Minas Gerais, através da utilização da combinação de diversas informações meteorológicas.

1.1. Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo geral avaliar a distribuição espacial e temporal dos desastres naturais que ocorreram no Estado de Minas Gerais entre 2016 e 2020, assim como caracterizar o desastre natural ocorrido entre os dias 23 e 25 de janeiro de 2020 na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Conceitos sobre desastres naturais

Os fenômenos naturais, tais como deslizamentos, terremotos, inundações e erupções vulcânicas são processos naturais que fazem parte da dinâmica terrestre e são essenciais para o equilíbrio do planeta. Contudo, quando estes fenômenos atingem áreas povoadas, trazendo prejuízos socioeconômicos profundos para o local, tornam-se desastres naturais (TOMINAGA *et al.*, 2009).

Esses fenômenos ocorrem independente das ações humanas. Contudo, as ações antrópicas aceleram e intensificam esses processos. Sendo assim, existem fatores, como por exemplo, a localização geográfica, condições socioeconômicas da população, a ocupação de encostas e áreas precárias que acabam contribuindo para ocorrência dos desastres naturais. Além disso, a falta de planejamento urbano e de políticas públicas de prevenção, intensificam os impactos dos desastres naturais (CARVALHO e GALVÃO, 2006).

Com o intuito de definir um limiar para que um evento seja denominado um desastre natural, o Relatório Estatístico Anual do *Emergency Disasters Database* (EM-DAT), definiu os seguintes critérios para um evento ser definido como desastre natural: i) dez ou mais óbitos, ii) cem ou mais pessoas afetadas, iii) declaração de estado de emergência, iv) pedido de auxílio internacional. Sendo assim, se um desses critérios forem atendidos, tal evento pode ser considerado um desastre natural (SCHEUREN *et al.*, 2008 apud TOMINAGA *et al.*, 2009).

Um conceito importante adicional para entender os desastres naturais é o risco. O risco pode ser entendido como a probabilidade de um perigo transformar-se num desastre. Como pode ser visto na Equação (I), o risco envolve outros conceitos. Entre eles o perigo, definido pela Organização das Nações Unidas (ONU) como fenômeno físico ou um processo natural potencialmente prejudicial, que pode causar sérios danos socioeconômicos às populações expostas, além de degradar o meio ambiente. A vulnerabilidade, pode ser entendida como, quanto a população está exposta aos desastres, ou seja, envolve fatores sociais, como por exemplo, o local e o tipo de moradia, além das condições financeiras. Por fim, a resposta está relacionada com as ações no pós-desastre. A resposta está associada, também, com a capacidade da população de resistir e se recuperar das consequências do desastre. Sendo assim, a intensidade da vulnerabilidade e

a frequência do perigo, podem aumentar o risco do perigo possuir proporções de desastres. Um ponto adicional que deve ser considerado é que o risco é um fator dinâmico, podendo mudar de acordo com as características sociais e os elementos naturais envolvidos (MARCELINO, 2008; ISDR, 2004; SAITO, 2011).

$$Risco = \frac{Perigo * Vulnerabilidade}{Resposta} \quad (1)$$

2.2. Classificação dos desastres naturais

Em termos de classificação os desastres naturais podem ser classificados em função da: i) origem, ii) intensidade, iii) tipologia e iv) características comportamentais. Sendo que a principal forma de distinguir os desastres, é através do fenômeno que iniciou o evento (MOURA e CALHEIROS, 1998).

No que se refere à origem, existem os desastres i) naturais, ii) antropogênicos e iii) mistos. Na categoria natural, o agente causador do desastre é um fenômeno natural, sem interferência humana. Neste caso, é importante entender se o fenômeno que deflagrou o desastre faz parte da dinâmica interna (terremotos, tsunamis, vulcanismo) ou externa (inundações, escorregamentos, tempestades, tornados) da Terra. Em contrapartida, na categoria antropogênico, a causa do desastre ocorre devido às ações humanas, como por exemplo, o rompimento de uma barragem. Quando as ações humanas intensificam ou agravam os desastres naturais, estes entram na categoria misto. Contudo, se considerado apenas esses critérios, muitos desastres conhecidos como naturais, seriam na verdade mistos (MOURA e CALHEIROS, 1998; MARCELINO, 2008; TOMINAGA *et al.*, 2009).

Com relação à intensidade, os desastres são classificados conforme os danos econômicos e a situação em que o município ou região afetada se encontra, como exemplificado na Tabela 1. Segundo a Secretaria Nacional de Defesa Civil (SEDEC), geralmente são os desastres súbitos que atingem os níveis III e IV, necessitando de ajuda estadual, federal e em alguns casos ajuda internacional. No caso dos desastres graduais, essa situação não é frequente, uma vez que acompanhando a evolução do evento, o município consegue se preparar melhor, diminuindo os danos e prejuízos. O registro oficial de desastres no Brasil é realizado através do formulário de Avaliação de Danos (AVADAN), preenchido pelo município que decreta o Estado de Calamidade Pública e junto com outros

documentos é enviado para a Defesa Civil Estadual que aceita ou não a situação decretada pelo município (KOBIYAMA *et al.*, 2006).

Uma forma adicional de classificar um desastre natural é através das suas características comportamentais. Essa classificação está relacionada com a frequência, duração, extensão, velocidade, dispersão e comportamento do fenômeno, como exemplificado na Figura 1, na qual foram utilizados dados da Região Sul do Brasil. Neste caso, as inundações são frequentes, possuem média duração e extensão. Em contrapartida, o tornado é raro, tem duração de minutos, além de ser concentrado, em termos espaciais (KOBIYAMA *et al.*, 2006; MARCELINO, 2008).

Tabela 1 - Classificação dos desastres naturais com relação à intensidade.

Nível	Intensidade	Situação
I	Desastre de pequeno porte, onde os impactos e os prejuízos são pequenos (Prejuízo $\leq$ 5% PIB municipal).	Facilmente superável com os recursos do município.
II	De média intensidade, onde os impactos são de alguma importância e os prejuízos são significativos ($5\% < \text{Prejuízo} \leq 10\%$ PIB).	Superável pelo município, desde que envolva uma mobilização e administração especial.
III	De grande intensidade, com danos importantes e prejuízos consideráveis ($10\% < \text{Prejuízo} \leq 30\%$ PIB).	A situação de normalidade pode ser restabelecida com recursos locais, porém necessita de ajuda estadual e federal (Situação de Emergência – SE).
IV	Com impactos muito significativos e prejuízos significativos (Prejuízos $> 30\%$ PIB).	Sem ajuda externa o município não consegue superar os danos.

Fonte: adaptada de Kobiyama *et al.* (2006).

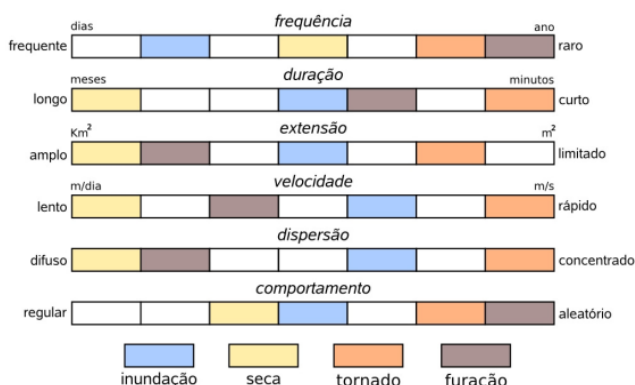


Figura 1 - Características comportamentais dos desastres naturais. Fonte: Marcelino, 2008.

No que se refere a tipologia dos desastres, tem-se a classificação em função do evento geofísico que deflagrou o desastre natural. Sendo assim, existem três tipos: i) meteorológicos, ii) hidrológicos e iii) geológicos. Cada categoria abrange determinado tipo de evento, como exemplificado na Tabela 2 (MARCELINO, 2008).

Dentre esses desastres naturais, os movimentos de massa são fenômenos naturais, importantes para a formação de relevos em regiões serranas. São definidos como movimento de solo, rochas e vegetação, devido a ação da gravidade, sendo que a presença de água é um fator que reduz a resistência dos materiais, facilitando a ocorrência desse fenômeno. Os movimentos de massa podem ser divididos em: i) escorregamentos, ii) rastejos, iii) corridas e iv) quedas. Além disso, o crescimento da população e a falta de planejamento urbano, fazem com que os cidadãos ocupem áreas desfavoráveis. Sendo assim, um evento de precipitação intensa de curta duração ou de precipitação contínua, nessas regiões em que falta planejamento urbano, podem desencadear movimentos de massa com potencial para desastres naturais (FILHO, 1992 apud TOMINAGA *et al.*, 2009; TOMINAGA, 2007; TOMINAGA *et al.*, 2009).

Comum em regiões serranas e montanhosas, os deslizamentos, também conhecidos como escorregamentos, atingem principalmente as regiões Sul, Sudeste e Nordeste do Brasil. Esse processo consiste no movimento rápido de massa, devido a ação da gravidade. Os escorregamentos podem ser subdivididos em três tipos: i) escorregamento translacional ou planar, ii) escorregamento rotacional ou circular e iii) escorregamento em cunha. O escorregamento translacional ou planar (Figura 2a) é o mais frequente entre os movimentos de

massa. Esse é um evento de curta duração e de velocidade elevada, geralmente ocorre após episódios de precipitação intensa e possui grande poder de destruição. Em contrapartida, o escorregamento do tipo rotacional ou circular, ocorre devido a construção de edifícios, estradas ou pela erosão fluvial no sopé da vertente, tal fenômeno é o mais recorrente no Sudeste brasileiro (Figura 2b). Por fim, o escorregamento em cunha é reduzido às regiões em que o relevo é fortemente controlado por estruturas geológicas (Figura 2c) (GUIDICINI e NIEBLE, 1984 apud TOMINAGA *et al.*, 2009; FERNANDES e AMARAL, 1996 apud TOMINAGA *et al.*, 2009; GUIDICINI e IWASA, 1976 apud KOBAYAMA *et al.*, 2006).

O rastejo baseia-se em movimentos lentos e contínuos e ocorre devido a ação da gravidade e as variações de temperatura e umidade. Em contrapartida, os movimentos de massa do tipo corridas, são caracterizadas por um escoamento rápido, com potencial para atingir grandes áreas. A queda de blocos é definida como uma ação de queda livre a partir de uma elevação, com a ausência de superfície de movimentação (GUIDICINI e NIEBLE, 1984 apud TOMINAGA *et al.*, 2009; FERNANDES e AMARAL, 1996 apud TOMINAGA *et al.*, 2009; TOMINAGA *et al.*, 2009).

Tabela 2 - Classificação dos desastres naturais quanto à tipologia.

Categoria	Tipo de desastres
Meteorológicos	Furacão
	Vendaval
	Granizo
	Tornado
	Nevasca
	Geadas
	Onda de frio
	Onda de calor
Hidrológicos	Inundações
	Seca / Estiagem
	Incêndio Florestal
Geológicos	Terremotos
	Vulcanismo
	Tsunami
	Escorregamentos
	Subsidência

Fonte: Marcelino (2008).

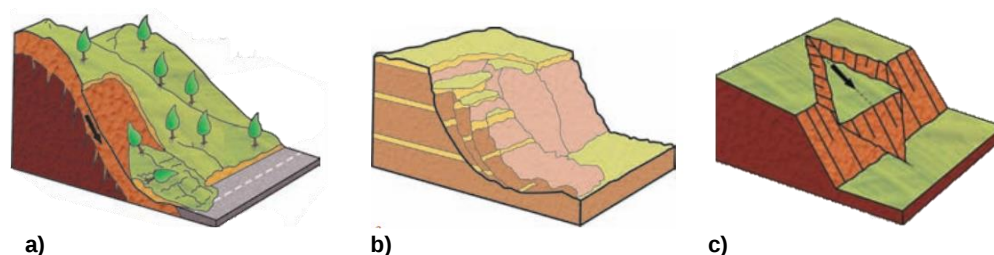


Figura 2 - Ilustração dos tipos de escorregamentos: (a) escorregamento translacional ou planar, (b) escorregamento rotacional ou circular e (c) escorregamento em cunha. Fonte: adaptado de Tominaga et al. (2009).

Assim como os deslizamentos, as inundações também possuem como agente deflagrador a precipitação. Além disso, existem outros fatores que influenciam a magnitude e a frequência deste fenômeno, como por exemplo a taxa de infiltração e o grau de saturação do solo e as características morfométricas e morfológicas da bacia de drenagem. Segundo o banco de dados internacional de desastres naturais, o Brasil é um dos países mais atingidos por esse tipo de desastre natural. Além disso, é o tipo de desastre que mais provoca perdas humanas no país. Importante ressaltar que as inundações são popularmente chamadas de enchentes, contudo a enchente ou cheia, ocorre quando o nível d'água atinge sua cota máxima, após o aumento da vazão. Quando o nível da água ultrapassa esse limite, o fenômeno recebe o nome de inundação, atingindo a área de várzea e as construções existentes. Em contrapartida, o alagamento ocorre em situações no qual existe uma carência no sistema de drenagem urbana, como bueiros entupidos ou a concentração de entulho e lixo nos cursos d'água, fazendo com que a água acumule em determinados locais. Por fim, a enxurrada é um forte escoamento superficial, que pode ou não estar relacionado com algum córrego ou rio (AMARAL e GUTJAHR, 2012; TOMINAGA *et al.*, 2009; KOBAYAMA *et al.*, 2006). A Figura 3 mostra de forma ilustrativa as diferenças entre a situação normal, enchente e inundação.



Figura 3 - Perfil esquemático do processo situação normal, enchente e inundação.
Fonte: Tominaga et al. (2009).

2.3. Distribuição dos desastres naturais no mundo e no Brasil

Embora os fenômenos naturais (tempestades severas, furacões e terremotos) que dão origem aos desastres naturais, acontecem em várias partes do globo, é nos países em desenvolvimento que se encontra a maior parte da população de risco. Isso acontece porque a maioria dos habitantes dos países em desenvolvimento possuem baixa renda, e consequentemente, as moradias tendem a ser mais precárias e estarem localizadas em terrenos suscetíveis à ocorrência de desastres naturais. Além disso, a densidade demográfica nesses locais tende a ser maior, o que pode aumentar o número de afetados. Dessa forma, o mesmo fenômeno, seja ele da dinâmica interna ou externa da terra pode ter proporções diferentes, dependendo de qual país ele atinge (ALCÁNTARA-AYALA, 2002 apud KOBIYAMA, 2009; MARCELINO, 2008).

Aproximadamente 66% dos desastres naturais que ocorrem no mundo, são deflagrados por instabilidades atmosféricas, esse termo engloba os furacões, tornados, vendavais e as inundações. Como mostrado na Figura 4 no período 1900-2006 o continente asiático liderou o ranking de desastres naturais, seguido pelo continente americano, já a Oceania ocupa o último lugar (KOBIYAMA, 2009).

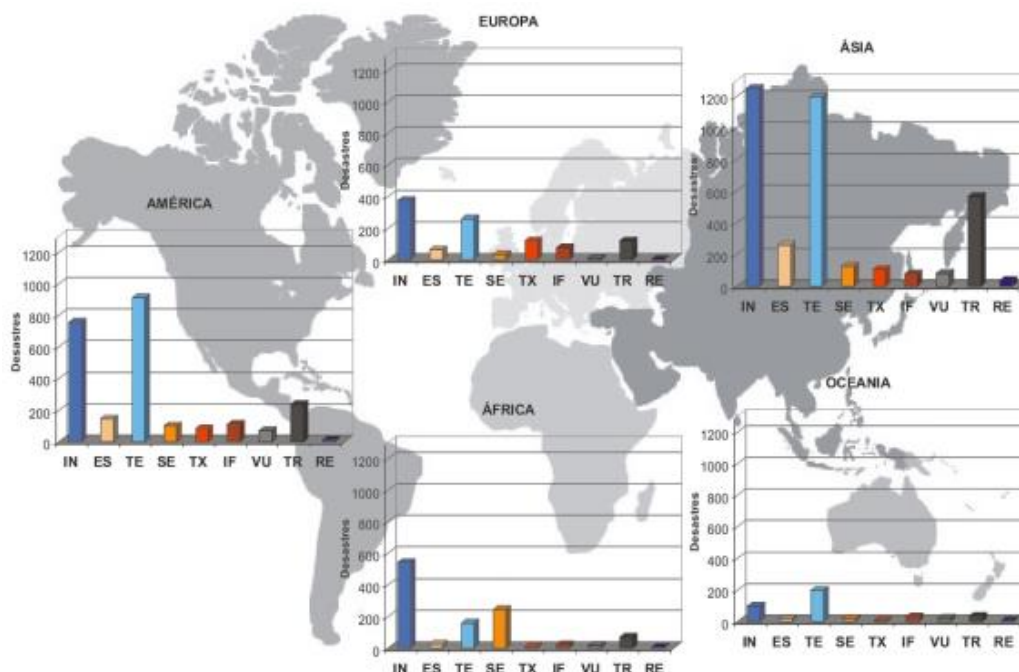


Figura 4 - Distribuição dos desastres naturais por continente no período de 1900-2006. IN – Inundação, ES – Escorregamento, TE - Tempestade, SE – Seca, TX – Temperatura Extrema, IF – Incêndio Florestal, VU – Vulcanismo, TR – Terremoto e RE – Ressaca. Fonte: Marcelino (2008).

Os desastres naturais em todo o globo têm aumentado nas últimas décadas, principalmente depois da segunda metade do século XX. Os fatores que proporcionaram esse aumento são o crescimento populacional, aliado ao aumento da vulnerabilidade e a exposição da população aos eventos extremos. Somado a esses fatores têm-se as mudanças climáticas e o avanço tecnológico das comunicações (MARCELINO *et al.*, 2006).

Os desastres naturais no Brasil, são em sua maioria decorrentes da dinâmica externa da Terra, tais como deslizamentos, inundações e tempestades. Relacionados com episódios de precipitação intensa, estes eventos possuem alto poder de destruição, uma vez que são súbitos e severos. Além disso, tem-se eventos de precipitação prolongada que dão origem a inundações graduais. Na Região Sul e Sudeste do Brasil, esses eventos são comuns no verão. Em contrapartida, na região Nordeste são mais frequentes no inverno. Apesar de já ter sido registrado terremoto de até 6,6° na escala Richter, em 1955 no Estado do Mato Grosso, esse fenômeno não é comum no Brasil. Além disso, quando ocorrem a magnitude costuma variar de 2° a 4° na escala Richter (HANSEN *et al.* apud TOMINAGA *et al.*, 2009; MARCELINO, 2008; TOMINAGA *et al.*, 2009).

As instabilidades atmosféricas severas, são deflagradoras de inundações, vendavais, tornados, granizos e escorregamentos. Esses fenômenos representam mais de 80% dos desastres naturais no país. No período de 1900 a 2006, com 59% das ocorrências, as inundações ocupam o primeiro lugar no ranking. Com pouco mais de 10%, os escorregamentos ocupam o segundo lugar. Já os terremotos, ocupam o último lugar e não chegam a 1% (Figura 5). Contudo, esses números podem ser ainda maiores, uma vez que só é contabilizado os desastres que são de grande severidade (MARCELINO, 2008).

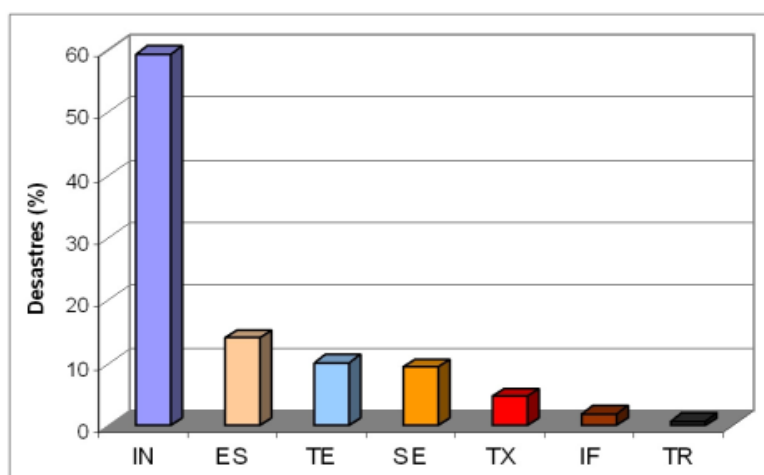


Figura 5 - Tipos de desastres naturais ocorridos no Brasil (1900-2006). IN – Inundação, ES - Escorregamento, TE – Tempestades, SE – Seca, TX – Temperatura Extrema, IF – Incêndio Florestal e TR – Terremoto. Fonte: Marcelino, 2008.

A região Sudeste, que compreende os Estados de Minas Gerais, São Paulo, Rio de Janeiro e Espírito Santo, tem como principal causador dos desastres naturais as precipitações intensas, que estão relacionadas com os sistemas atmosféricos atuantes na região (MALVESTIO, 2013; REIS, 2015).

Entre os sistemas atmosféricos que atuam na região sudeste, tem-se a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que consiste na organização de uma banda de nebulosidade que persiste por mais de 3 dias, no sentido noroeste-sudeste, ou seja, da Amazônia até o Oceano Atlântico Sul, podendo influenciar norte do Paraná e o centro-sul da Bahia (CARVALHO *et al.*, 2004; QUADRO, 1994 apud PEDRO *et al.*, 2020). Este sistema é formado a partir da interação entre sistemas frontais e tropicais, atuando durante a primavera e o verão. Constituindo assim um importante sistema meteorológico para alimentar os corpos hídricos,

que contribuem para a geração de energia e o abastecimento urbano. Por outro lado, pode colaborar para a deflagração de ocorrência de desastres naturais em diversos lugares da região sudeste, incluindo a Região Metropolitana de Belo Horizonte (REIS, 2015).

O regime de precipitação no Sudeste também é influenciado pela ocorrência de frentes frias que são sistemas de escala sinótica formados pelo encontro de duas massas de ar, uma quente (massa de ar pré-frontal) e outra fria (massa de ar pós frontal). A massa de ar fria, é mais densa e por esse motivo, adentra por baixo da massa de ar quente, que é menos densa (VAREJÃO, 2006; NUNES *et al.*, 2009). Dessa maneira, o ar quente e úmido sobe, formando uma banda de nuvens organizadas, podendo causar chuvas. A ocorrência de convecção local durante o verão também pode ser responsável pela ocorrência de precipitação intensa. A maior disponibilidade de radiação, nessa estação do ano, favorece o movimento ascendente, o que deixa a atmosfera instável e promove a formação de nuvens convectivas. Sendo assim, as chuvas decorrentes destes sistemas também podem deflagrar episódios de deslizamentos de massa, especialmente na Região Metropolitana de Belo Horizonte (PEDRO *et al.*, 2020).

Entre os estados brasileiros mais afetados pelos escorregamentos, está Minas Gerais. Sendo a ocupação desordenada em áreas suscetíveis, um dos motivos para a elevada frequência deste fenômeno. Nesse contexto, a RMBH representou 27% dos movimentos de massa registrados em todo o Estado, no período de 1991 a 2012. A cidade de Ibirité, localizada na RMBH foi a mais afetada por este fenômeno, com 10 registros no total (KOBAYAMA *et al.*, 2006; UFSC, 2013).

O Estado de MG se destaca também pela população que vive em áreas de risco. Aproximadamente 14,8% da população dos municípios de MG que são monitorados pelo Centro de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) estão vivendo em situação de risco. A capital do estado, Belo Horizonte e a cidade de Ribeirão das Neves, se destacam pela quantidade de habitantes que se encaixam nessa categoria, sendo 16,4% e 60,5% respectivamente, vivendo em situação de risco (IBGE, 2018).

Além dos movimentos de massa, as inundações e a estiagem/seca, são tipos de desastres que se destacam em Minas Gerais devido a sua frequência. Por exemplo, no período de 1991 a 2012 foram registrados 1052 e 2216, ocorrências de estiagem/seca e inundações, respectivamente, no Estado. Contudo, esses

desastres naturais possuem distribuição espacial distintas, enquanto as inundações são mais comuns na região central, leste e sul do estado, a estiagem ou seca são mais comuns na região norte (VIANA, 2015; UFSC, 2013).

3. DADOS E METODOLOGIA

3.1. Região de estudo

O Estado de Minas Gerais está localizado entre as latitudes 14°13'57" S e 22°55'47" S e longitudes 39°51'24" W e 51°02'56" W. A densidade demográfica do estado é de aproximadamente 33,41 habitantes por quilômetro quadrado e o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) é de 0,731 (IBGE, 2010). Ocupa a quinta posição geral no ranking de produção agrícola, destinando cerca de 44% do seu território para essa atividade (MONTEIRO e MARTINS, 2019; REBOITA *et al.*, 2015)

De acordo com a classificação Koppen – Geiger, o clima predominante em Minas Gerais é o Aw (tropical com inverno seco). Contudo, nas serras do Espinhaço e da Mantiqueira, são encontrados os climas Cwa (temperado úmido com inverno seco e verão quente) e Cwb (temperado úmido com inverno seco e verão moderadamente quente). Além dos climas semiáridos (BSh e BWh) no norte do estado (MARTINS *et al.*, 2018). Devido a atuação do Sistema de Monção Sul-Americana e da convecção local, os totais pluviométricos são maiores no verão. No que se refere às temperaturas, MG possui grande amplitude térmica. Essa variável meteorológica é influenciada pela latitude, altitude, continentalidade e pela atuação do Anticiclone do Atlântico Sul (ASAS) no inverno (REBOITA *et al.*, 2015).

3.2. Análise espacial e temporal dos desastres naturais no Estado de Minas Gerais

Foi analisada a distribuição espacial e temporal dos desastres naturais ocorridos no estado de MG entre 2016 e 2020. Vale ressaltar que neste trabalho foi utilizado o termo desastre natural com base no banco de dados do CEMADEN. Ou seja, apesar de nem sempre cumprir os requisitos definidos pelo EM-DAT, os danos deflagrados pelos eventos foram significativos.

A partir das ocorrências de desastres naturais para os 143 municípios monitorados (Figura 6) pelo CEMADEN entre 2016 e 2020 foi realizada a análise da distribuição espacial total dos eventos para o estado de MG. Em seguida, avaliou-se a frequência anual, mensal e por período (manhã, tarde e noite) do dia da ocorrência desses eventos.

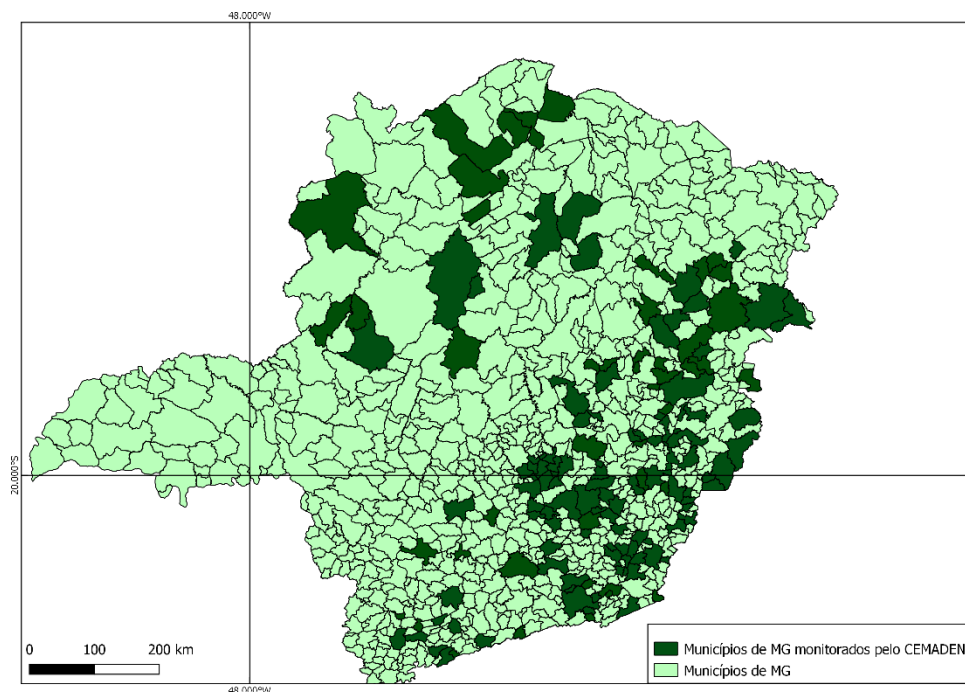


Figura 6 - Localização dos municípios de Minas Gerais monitorados pelo CEMADEN.

Entre as informações disponíveis no banco de desastres naturais do CEMADEN as utilizadas foram: tipos de ocorrências (enxurrada, inundação, alagamento e deslizamento), data, hora, município em que ocorreu o evento, bairro e rua. Ressalta-se que esse banco de dados é composto por informações cedidas pela Defesa Civil (DC), além de informações provenientes de redes sociais e notícias da mídia por fontes verificadas.

3.3. Análise de um evento de desastre natural ocorrido na Região Metropolitana de Belo Horizonte

O objetivo desta etapa foi avaliar com maior detalhamento o desastre natural ocorrido entre os dias 23 e 25 de janeiro de 2020 em algumas cidades da RMBH. A escolha deste desastre deve-se tanto a expressividade do evento, que teve espaço na mídia nacional devido a quantidade de pessoas afetadas, quanto a

importância da RMBH, que é uma região populosa de importância vital para a economia do estado.

Sendo assim, na primeira análise dessa etapa foi realizada uma descrição do evento baseado nos relatos das mídias e informativos fornecidos pelo CEMADEN. Em seguida foi realizada a avaliação das condições meteorológicas associada a ocorrência do evento. Para tanto foram utilizados dados de precipitação, nuvens e dados de relâmpagos provenientes de diferentes bases de dados, assim descritos:

- (a) Precipitação fornecida por pluviômetros: com o intuito de entender a intensidade da precipitação que deflagrou o desastre natural em janeiro de 2020 na RMBH, foram utilizados dados da rede de pluviômetros automáticos do CEMADEN localizados a uma distância menor ou igual a 5 km de alguma das ocorrências. A resolução temporal destes dados é de 10 min e estão disponíveis em: <http://www2.cemaden.gov.br/mapainterativo/#>. Para a análise foi utilizada a precipitação diária acumulada para o mês de janeiro de 2020 e acumulado horário para o dia 24/01/2020 para cada pluviômetro. Vale ressaltar que essa rede não segue todos os padrões definidos pela Organização Meteorológica Mundial (OMM).
- (b) Precipitação por satélite: para complementar os dados de precipitação, foi utilizado os dados do MERGE que consiste na estimativa de precipitação realizado pelos satélites polares que compõem o *Global Precipitation Measuring* (GPM) Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM (IMERG) que possui resolução temporal de 30 min e resolução horizontal de 0.1°, combinado com medidas de precipitação fornecidas por pluviômetros (mais informações em Rozante *et al.*, 2010). Apesar do MERGE ser executado em duas etapas, os dados armazenados são referentes a segunda etapa, pois possui qualidade superior a primeira. O produto MERGE é disponibilizado pelo CPTEC/INPE (<http://ftp.cptec.inpe.br/modelos/tempo/MERGE/GPM/DAILY/>), com resolução temporal diária e espacial horizontal de 0,1°. Neste estudo foi utilizado o acumulado diário de precipitação.

- (c) Informação sobre nuvens: para analisar as características espaciais das nuvens que deflagaram o desastre foram utilizadas imagens do satélite *Geostationary Operational Environmental – 16* (GOES-16), disponibilizadas pelo Centro de Previsão do Tempo e do Clima (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (<http://ftp.cptec.inpe.br/goes/goes16/retangular/ch13/>). Para tanto foram utilizadas as imagens do canal infravermelho (Ch13) de 10,3 μm do sensor *Advanced Baseline Imager* (ABI), com resolução espacial de 2 km e temporal de 10 min. Foram escolhidos o sensor ABI e o canal do infravermelho devido a sua importância para o imageamento de nuvens e para a avaliação das características do topo das nuvens como tamanho e temperatura.
- (d) Dados sinóticos: foi utilizado os dados do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), especificamente a quinta geração de reanálise atmosféricas deste centro (do inglês, ECMWF Reanalysis v5 - ERA5). A reanálise consiste na combinação de observação históricas e estimativas globais. Os dados em questão possuem resolução espacial de 25 km e frequência horária. As variáveis obtidas em níveis de pressão (950, 850, 700, 600, 550, 500, 300, 250 e 200 hPa) foram: componente horizontal do vento, divergência de massa, temperatura do ar, umidade específica, velocidade vertical. Além da água precipitável, pressão ao nível médio do mar (PNMM) e Convective Available Potential Energy (CAPE) para os dias 23, 24 e 25 de janeiro de 2020 (<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-pressure-levels?tab=form>). Através dos dados supracitados foram produzidos os seguintes campos sinóticos: jatos 250hPa + espessura 500-1000hPa + divergência 250hPa + PNMM; água precipitável + escoamento 850hPa; convergência de umidade 850 hPa + vetores do vento 850hPa + ômega negativo 500 hPa; CAPE e cisalhamento do vento (6 - 0 km).
- (e) Relâmpagos: a fim de identificar a ocorrência de relâmpagos na RMBH nos dias 23, 24 e 25 de janeiro de 2020, foram utilizados dados da Rede *Earth Networks Total Lightning Network* (ENTLN) da

empresa *Earth Networks*. Esta rede possui aproximadamente 70 sensores que envolvem as Regiões Sul e Sudeste, e partes das Regiões Centro-Oeste e Nordeste do Brasil. Os dados utilizados se referem aos *strokes* (descarga de retorno) e compreendem as informações de data e horário de ocorrência, vale ressaltar que ao longo do texto foi utilizada a palavra relâmpago para se referir aos *strokes*. Sendo assim, mapas de densidade dos relâmpagos totais (intra-nuvem + nuvem-solo) foram produzidos para os dias 23, 24 e 25 de janeiro de 2020. Os dados foram fornecidos pela empresa CLIMATEMPO.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Características gerais dos desastres naturais registrados no Estado de Minas Gerais

Durante o período de estudo (2016-2020), e considerando os municípios monitorados pelo CEMADEN, MG apresentou 874 ocorrências de desastres naturais. A distribuição espacial dos eventos para esses 5 anos pode ser observada na Figura 7. Os municípios representados na cor verde escura são aqueles monitorados pelo CEMADEN e em verde claro, os demais municípios de Minas Gerais. Os desastres concentram-se na RMBH e a Zona da Mata. Esse comportamento encontrado na distribuição espacial pode estar relacionado com o relevo das duas regiões, visto que ambas regiões possuem as serras Curral e Caparaó, respectivamente. Além disso, as duas regiões são banhadas por importantes bacias hidrográficas, como a do Rio São Francisco e do Rio Paraíba do Sul, e consequentemente, são áreas para potenciais inundações.

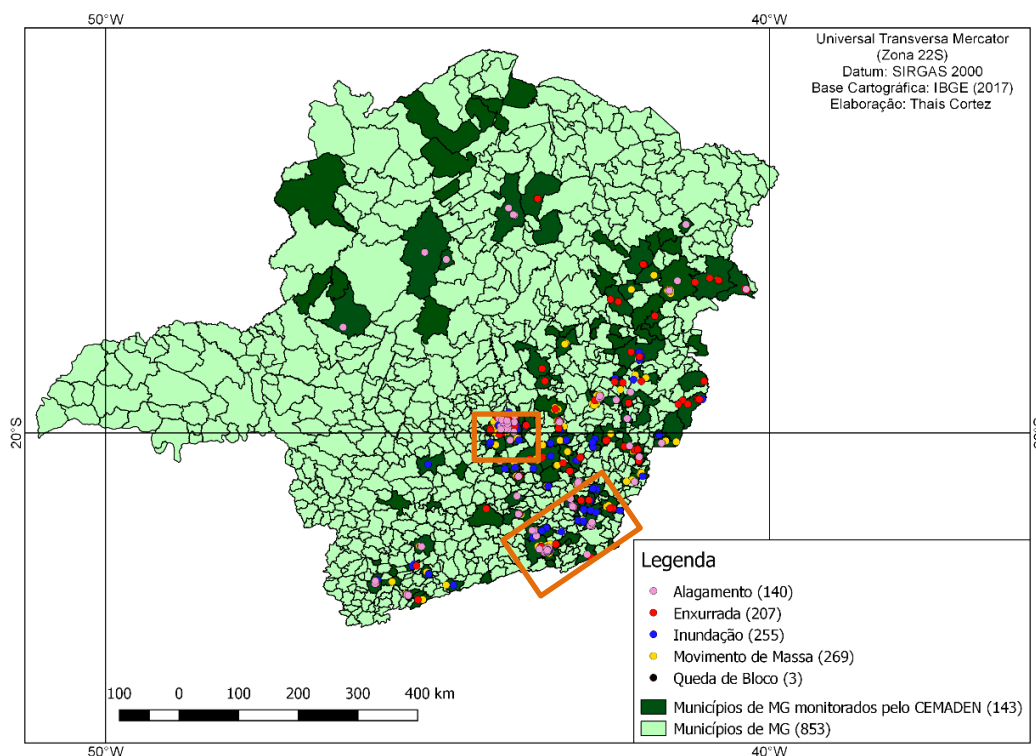


Figura 7 - Distribuição espacial de desastres naturais em Minas Gerais entre 2016 e 2020 para os 143 municípios monitorados pelo CEMADEN no estado.

A Figura 8 mostra a distribuição de ocorrências por tipo desastre (queda de bloco, alagamento, enxurrada, inundação, movimento de massa). O movimento de massa é o tipo de evento mais frequente em MG, com 269 ocorrências, seguido por inundações (com 255 ocorrências e uma frequência relativa de 29,2%). A maior ocorrência de movimentos de massa, pode estar associada a topografia do estado, que possui múltiplas serras como a Mantiqueira, Curral, Espinhaço. Além disso, a ocupação desordenada em áreas suscetíveis, como foi discutido por Kobiyama *et al.* (2006) corrobora com a frequência de ocorrência maior dos desastres por fluxo de massa. As características do solo também influenciam a magnitude e a frequência desses desastres, como discutido por Calderano *et al.* (2014) e Marin *et al.* (2012), os tipos Argissolo, Neossolo e Luvisolo são suscetíveis a erosão. No que se refere as classes presentes nas duas regiões mais afetadas, Zona da mata e RMBH, tem-se predominantemente os tipos Argissolo, Nitossolo e Latossolo (Zona da Mata) e Espodossolo, Luvisolo, Planossolo, Cambissolo, Plintossolo, Gleissolo, Vertissolo, Neossolo (RMBH) (EMBRAPA, 2004). Com relação às inundações, a elevada frequência (29,2%), possivelmente está relacionado com o índice pluviométrico do estado, somado às

características morfométricas e morfológicas das bacias de drenagem, além da taxa de infiltração e grau de saturação do solo, uma vez que estes são parâmetros que influenciam na frequência desse tipo de fenômeno. Em contrapartida, a ocorrência de queda de bloco, são esporádicos e raros, visto que não ultrapassa 3 ocorrências durante todo o período de estudo com frequência relativa menor que 1%.

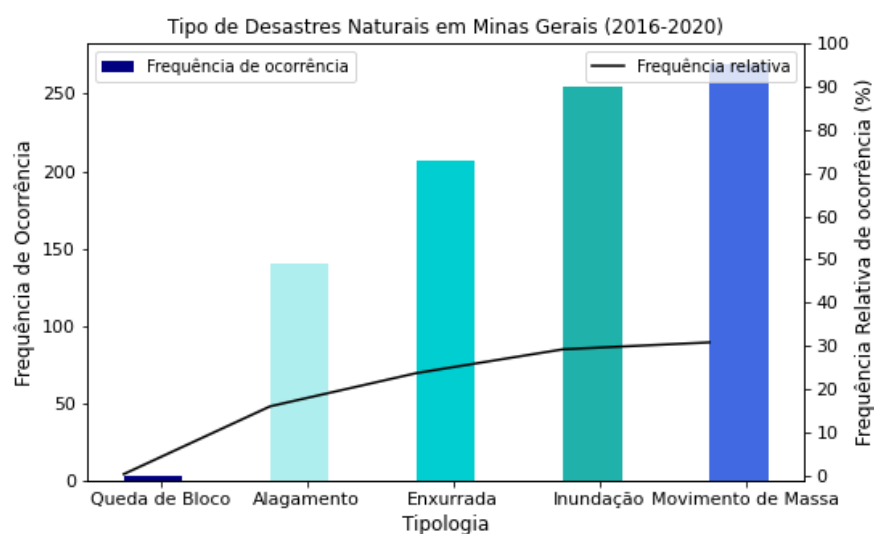


Figura 8 - Distribuição dos tipos de desastres naturais no Estado de Minas Gerais entre 2016 e 2020 para os municípios monitorados pelo CEMADEN.

A Figura 9 mostra a distribuição anual dos desastres naturais (a) total e (b) por tipologia. Nota-se que em 2019 houve o menor número dentre os anos de estudo com 57 ocorrências (6,5%). Em contrapartida, no ano de 2020 houve o maior número de ocorrências, totalizando 280 (32%). Novamente, o movimento de massa liderou o ranking, seguido pela inundação, o mesmo padrão observado na distribuição total de ocorrências. Essa discrepância na quantidade de ocorrências entre os anos de 2019 e 2020 pode estar relacionada com a Defesa Civil (DC) local estar mais ativa em 2020, e assim reportar mais ocorrências. Vale ressaltar que 2019 foi um ano pós eleição, e conseqüentemente, pode ter ocorrido alguma mudança na forma da DC registrar uma ocorrência e existe também a possibilidade de ter acontecido corte de verbas, influenciando a ida à campo dos agentes. Em adição, essas observações podem ser devido a uma maior quantidade de informações disponíveis através de redes sociais. Além disso, não pode ser descartada a hipótese do elevado número de ocorrências estarem

relacionadas com a frequência e magnitude de sistemas meteorológicos atuantes no estado. Quando analisado o acumulado anual de precipitação para a RMBH (Figura 10), uma das mais atingidas pelos desastres entre os anos de estudo, observa-se uma pequena diferença entre o acumulado anual de 2019 e 2020. Contudo, essa diferença não é expressiva como a observada nas ocorrências. Nesse contexto, pode-se dizer que os fatores externos à meteorologia tiveram maior influência na distribuição anual de desastres.

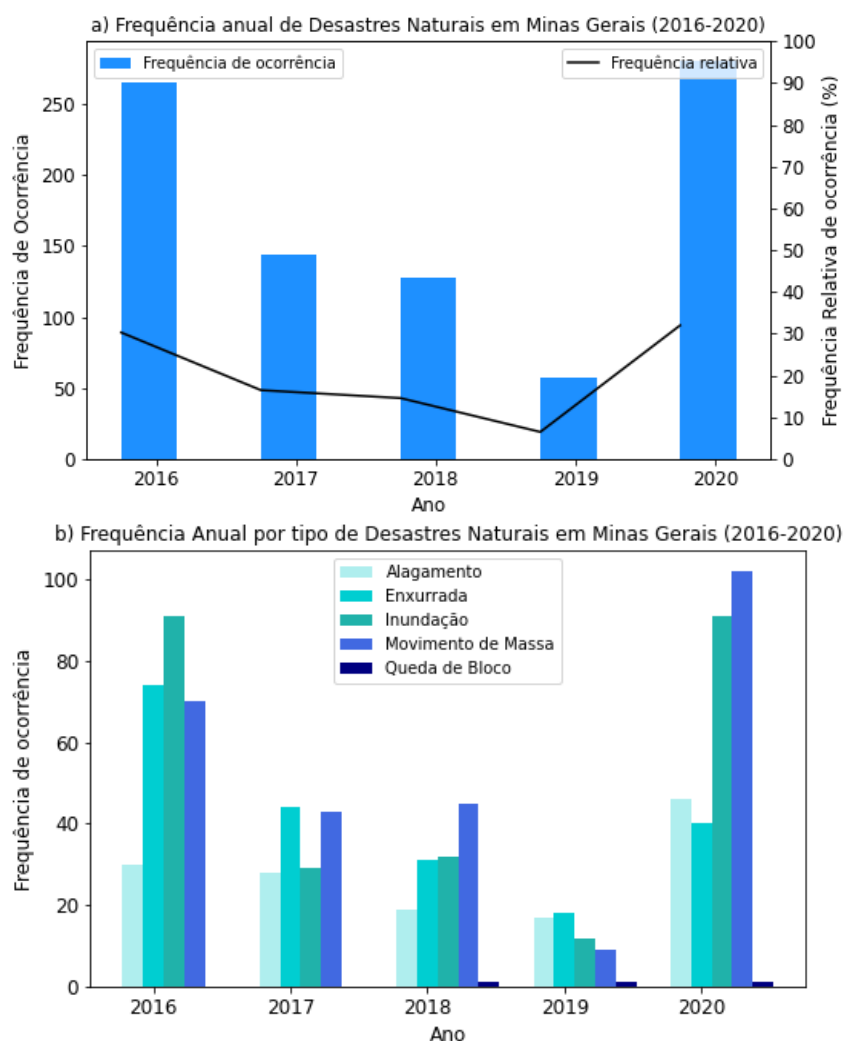


Figura 9 - Distribuição anual (a) total e por (b) tipologia dos desastres naturais em Minas Gerais entre 2016 e 2020.

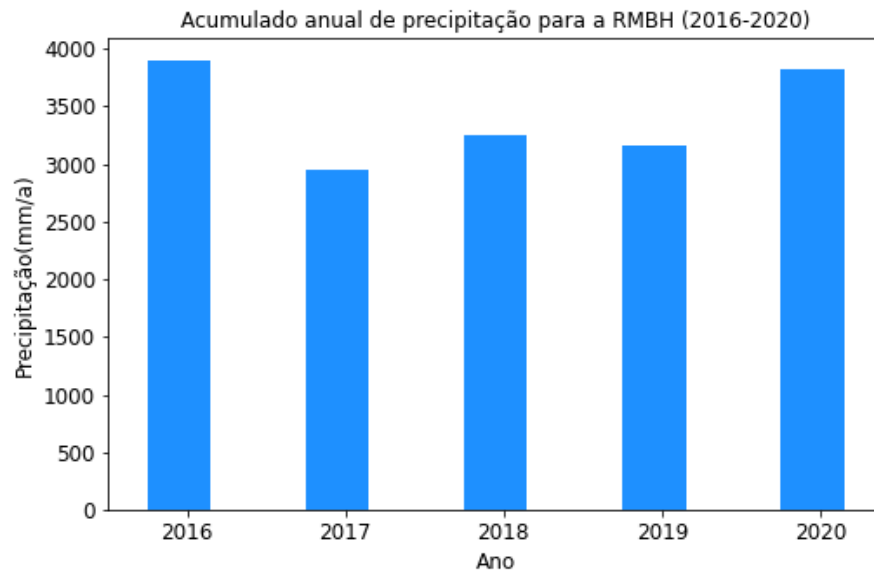


Figura 10 - Acumulado anual de precipitação do produto MERGE para a RMBH (2016-2020)

A distribuição mensal geral pode ser observada na Figura 11 (a) e a distribuição mensal com base na tipologia é mostrada na Figura 11 (b). Existe uma sazonalidade nas ocorrências dos desastres naturais, onde nos meses de novembro a março há maior frequência de ocorrência, que correspondem a estação chuvosa, e nos meses de abril a agosto há menor frequência de ocorrência, coincidindo com a estação seca. Além disso, os movimentos de massa são mais frequentes no verão. Pode-se indicar dois fatores para esse padrão encontrado, o primeiro é o fato do verão ser a estação na qual é comum chuvas intensas e persistentes e o segundo são as chuvas antecedente da primavera que contribuem para deixar o solo úmido e propenso a movimentos de massa. Wilson e Wieczorek (1995) apud Kobiyama *et al.*, (2006), relacionam chuva e deslizamento e mostram que tanto a chuva antecedente quanto a intensidade da chuva, influenciam na ocorrência desse tipo de desastre.

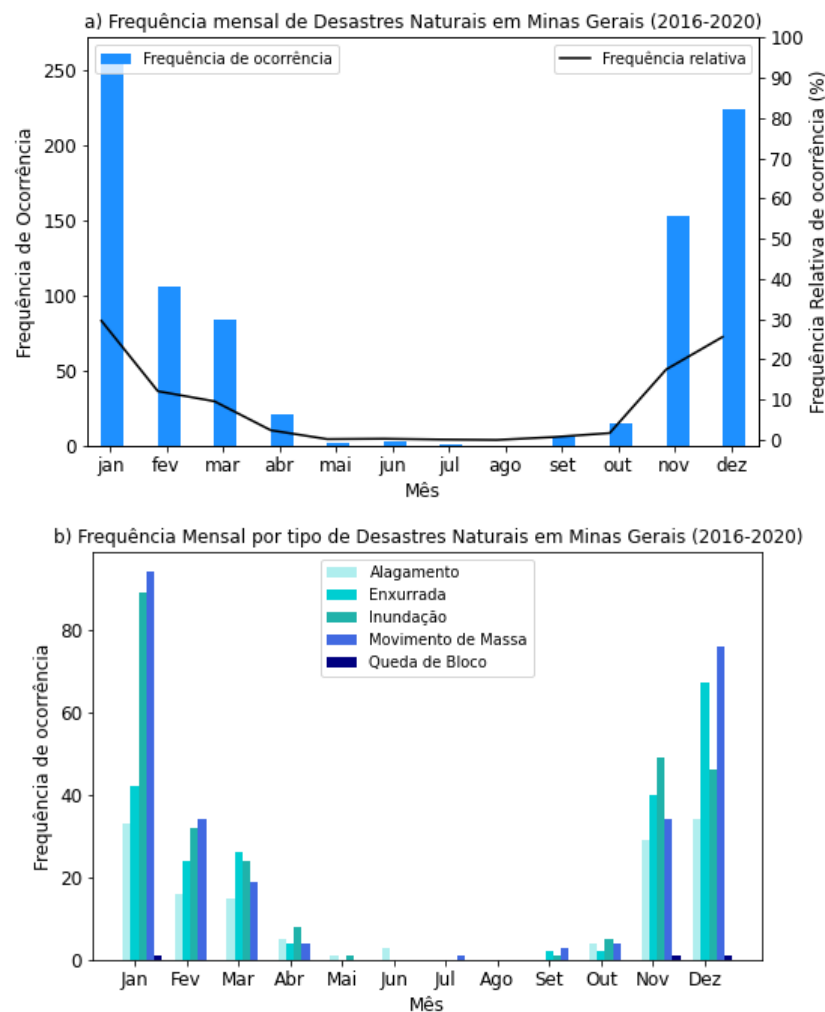


Figura 11 - Distribuição mensal (a) total e por (b) tipologia dos desastres naturais em Minas Gerais entre 2016 e 2020.

A Figura 12 a e b mostram a distribuição dos desastres naturais por período do dia em MG. Importante salientar que a amostragem de dados empregada nessa análise é menor em relação a amostragem das análises anuais e mensais (821 versus 874 registros). Isso ocorre pois, nem sempre é possível obter a hora exata em que o evento ocorreu. Nota-se que os desastres são mais frequentes no período da noite, em que a inundação é o tipo de desastre mais frequente. Esse comportamento pode estar relacionado com a ocorrência das chuvas de verão que são maiores ao fim da tarde, uma vez que o aquecimento diurno na camada superficial faz com que a massa de ar se aqueça e ascenda na atmosfera, favorecendo a formação de nuvens. Além disso, por ser uma estação chuvosa, os rios podem estar próximos às cotas máximas necessitando apenas de uma chuva adicional no final da tarde para que ele atinja a área de várzea. Essa hipótese é reforçada pelo fato de que a inundação é o segundo tipo de desastre mais

recorrente em janeiro e fevereiro (verão) (Figura 11 b). Em contrapartida, o período da manhã é o que possui menor número de registros, sendo o movimento de massa o tipo mais comum nesse período do dia. Esse comportamento pode estar relacionado com as chuvas que ocorrem durante a tarde e noite anterior, elevam o grau de saturação do solo e a ocorrência do evento pode acabar acontecendo durante o período da manhã. Outro fator que influencia esse resultado está relacionado com o horário em que o agente da DC vai a campo realizar a vistoria, isso porque nem sempre é o mesmo horário que o evento de fato ocorreu.

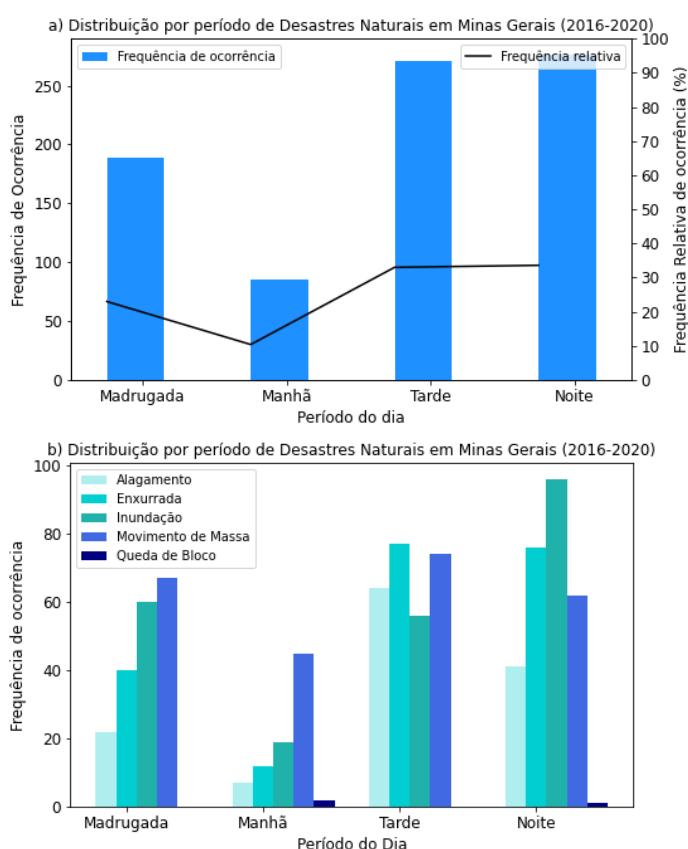


Figura 12 - Distribuição dos desastres naturais em Minas Gerais (a) total e (b) por tipologia separados por período do dia em: i) madrugada (00:00 – 06:00 hora local), ii) manhã (06:00 – 12:00 hora local), iii) tarde (12:00 – 18:00 hora local), e iv) noite (18:00 – 00:00 hora local).

4.2. Estudo de caso de um desastre na Região Metropolitana de Belo Horizonte

4.2.1. Descrição do evento

O evento ocorrido entre os dias 23 e 25 de janeiro de 2020 atingiu diversas cidades da Região Metropolitana de Belo Horizonte (Figura 13). Nota-se que a RMBH apresentou 32 ocorrências. Contudo, é possível observar que em alguns

locais foram registrados mais de um tipo de ocorrência. Além disso, segundo este banco de dados, o número de afetados na RMBH ultrapassou 100 mil pessoas. Algumas ocorrências foram registradas pela imprensa, como mostra a Figura 14.

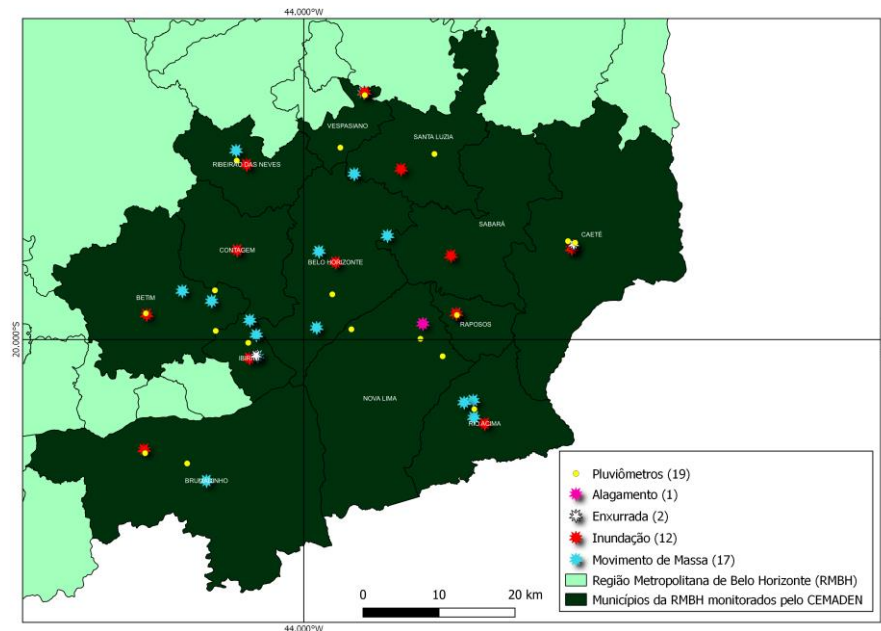


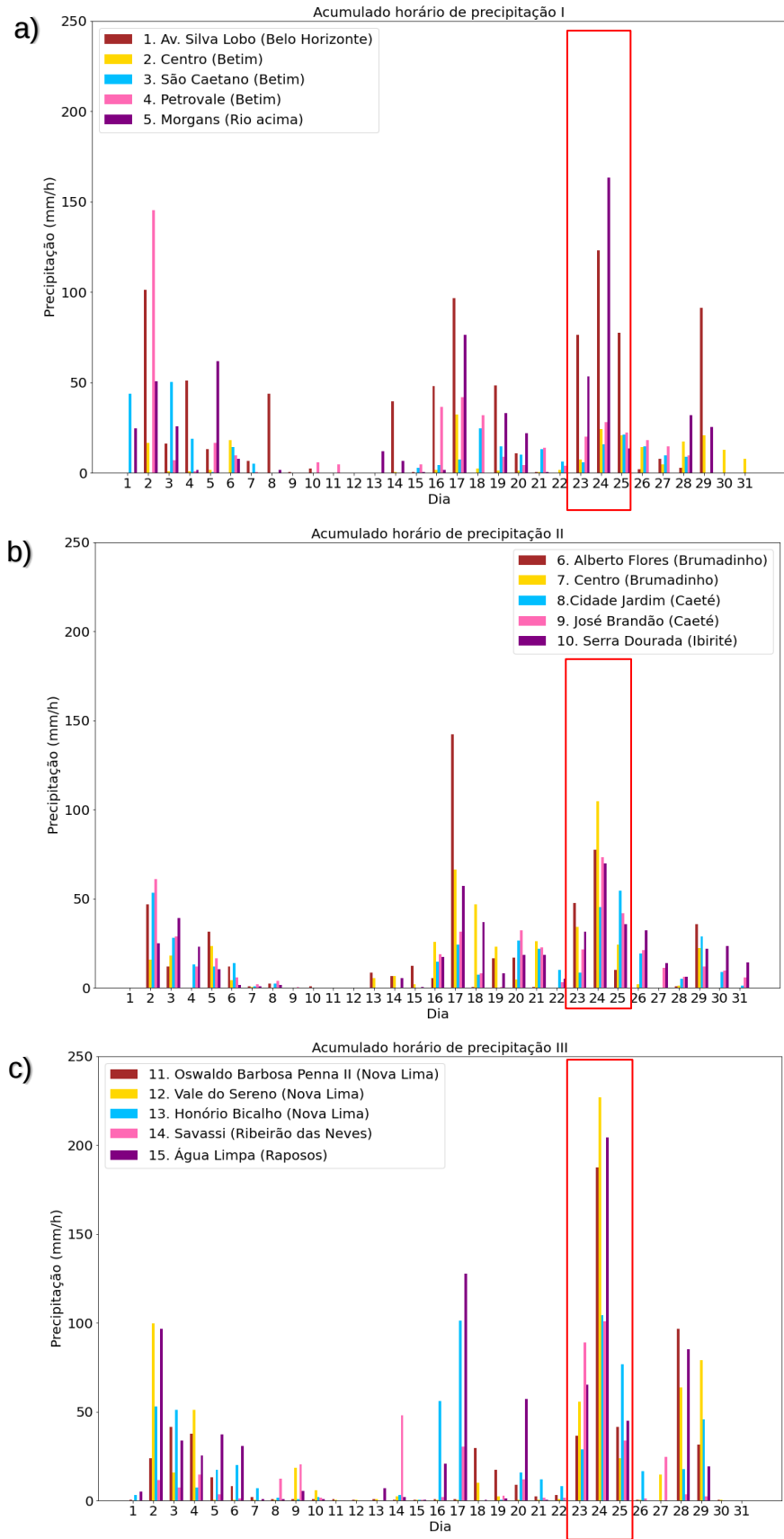
Figura 13- Distribuição espacial dos desastres naturais e da localização dos pluviômetros para o evento ocorrido entre os dias 23 e 25 de janeiro de 2020 na RMBH. Os desastres são representados por estrelas em cores variadas: rosa-Alagamento, branca-Enxurrada, vermelha-Inundação e azul-Movimento de Massa. Os pluviômetros são representados por círculos na cor amarela. A região destacada na cor verde escuro representam os municípios monitorados pelo CEMADEN e em verde claro os municípios compreendidos pela RMBH.



Figura 14 – Fotografia dos registros de ocorrências em Belo Horizonte no dia 24/01/2020. (a) por volta das 7h, (b) 7h 40min, (c) 7h 52min e (d) Madrugada. Fonte: G1 – Fotos: Reprodução/TV Globo (<https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2020/01/24/chuva-forte-provoca-alagamento-na-pampulha-em-belo-horizonte.ghtml>).

A Figura 15 mostra a precipitação mensal acumulada em janeiro de 2020 dos pluviômetros localizados na RMBH. Janeiro começa com chuva intensa em diversas cidades da RMBH, em alguns municípios como por exemplo, Belo Horizonte e Raposos (Figura 15 a e c), o volume pluviométrico chegou próximo aos 100 mm. Além disso, nota-se que em algumas cidades há precipitação intensa no dia 17 de janeiro (superior a 100 mm em Brumadinho) (Figura 15 a, b e c), nos dias seguintes, mesmo que com menor intensidade a chuva permanece constante em algumas cidades, como é o caso de Caeté e Nova Lima. Em contrapartida, no dia 23 de janeiro a chuva abrange todas as cidades e na maioria delas com elevado índice pluviométrico (superior a 50 mm). Contudo, no dia 24 de janeiro ocorre o pico de precipitação, com destaque para Nova Lima com volume superior a 200 mm. Em Belo Horizonte o volume pluviométrico registrado foi de 122,98 mm, correspondendo a 37,4% do volume esperado para todo o mês de janeiro. É nesse dia em que são observados a maior quantidade de ocorrências de movimento de massa na RMBH.

A Figura 16 mostra a distribuição espacial da precipitação acumulada diária proveniente do produto MERGE. O emprego da informação proveniente de satélite é uma componente adicional ao pluviômetro, sendo importante para um melhor entendimento da distribuição espacial de precipitação nessa região. Nota-se que no dia 24 de janeiro (Figura 16 b), a chuva é melhor distribuída em todo o estado. Contudo, na RMBH ocorre maior intensidade de precipitação (~170 mm dia⁻¹). Apesar de existir algumas diferenças entre os valores registrados e os valores do MERGE, esse produto precipitação complementa as informações obtidas através dos pluviômetros.



(continua)

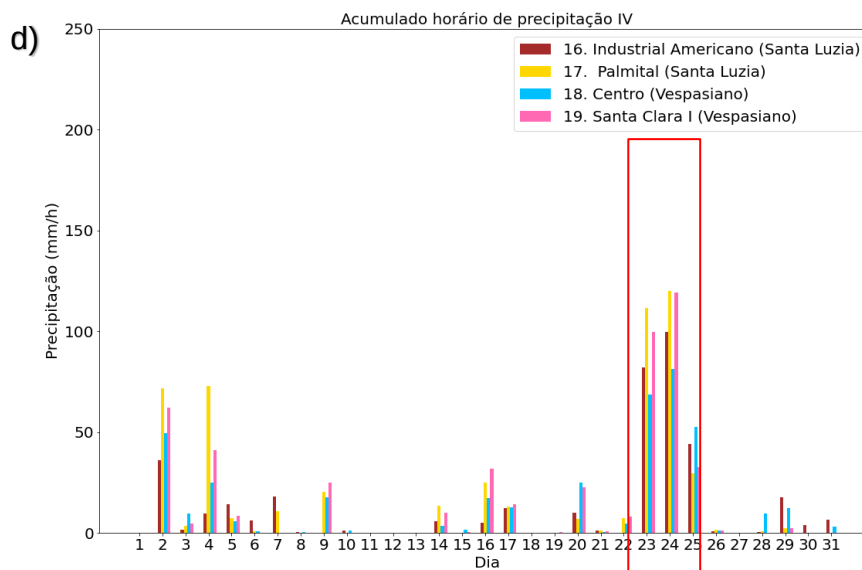


Figura 15 - Acumulado diário de precipitação (mm/dia) na RMBH em janeiro de 2020 com dados de estações meteorológicas fornecidas pelo CEMADEN, das cidades: (a) Belo Horizonte, Betim, Rio Acima; (b) Brumadinho, Caeté, Ibirité; (c) Nova Lima, Ribeirão das Neves, Raposos; (d) Santa Luzia, Vespasiano.

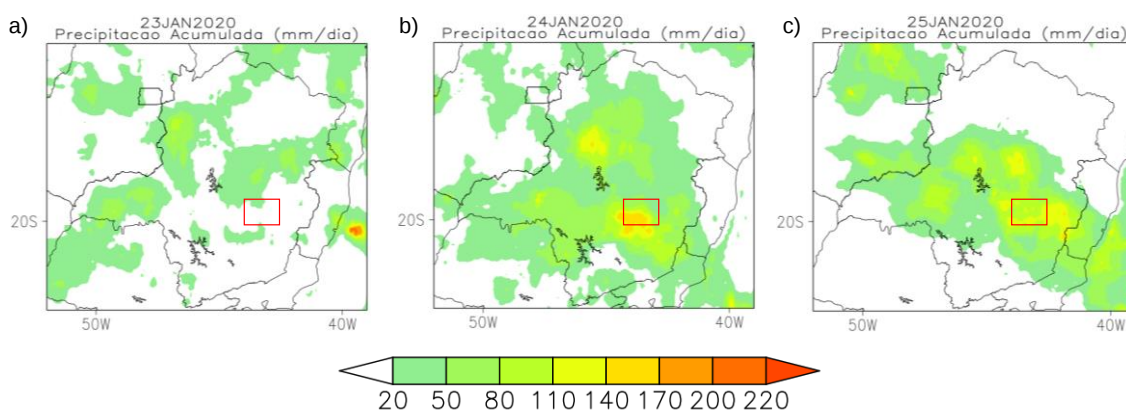
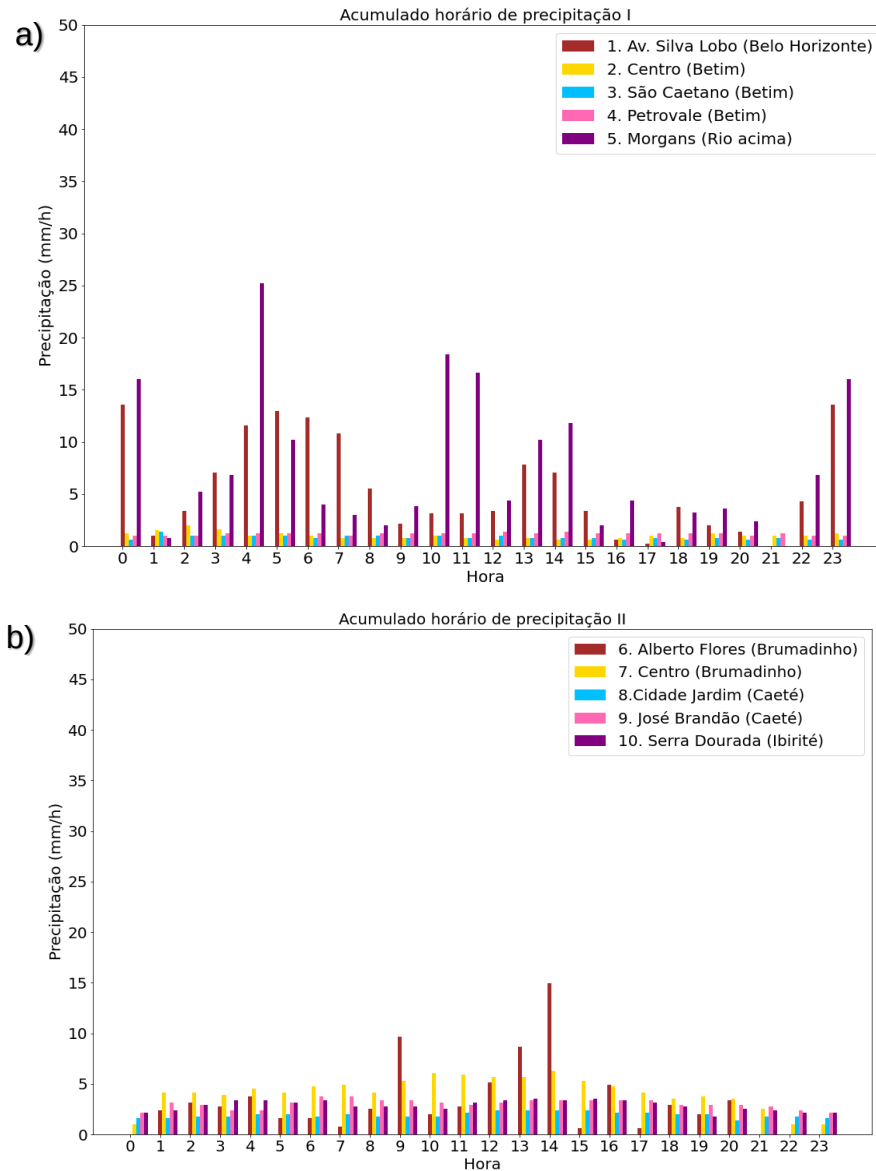


Figura 16 - Acumulado diário de precipitação (mm/dia) proveniente do produto MERGE para os dias: a) 23, b) 24 e c) 25 de janeiro de 2020. O quadrado vermelho indica aproximadamente a localização da RMBH.

No que se refere ao acumulado horário de precipitação para o dia 24 de janeiro de 2020 (Figura 17), pode-se observar que durante todo o dia houve registro de precipitação. Em algumas cidades a chuva ocorreu de forma constante, como é o caso de Ibirité e Caeté (Figura 17 b). Por outro lado, nota-se que em Belo Horizonte (Figura 17 a), a chuva de maior volume se concentrou na madrugada e início da manhã, totalizando mais de 40 mm em 5 horas. Essa observação está em consonância com o horário das ocorrências registradas pelo G1 (Figura 14). Além disso, é possível observar um pico de precipitação logo no início do dia às

00 horas local em diversas cidades, sendo que em algumas cidades, a precipitação foi superior à 40 mm, como é o caso de Nova Lima (Figura 17 c).



(continua)

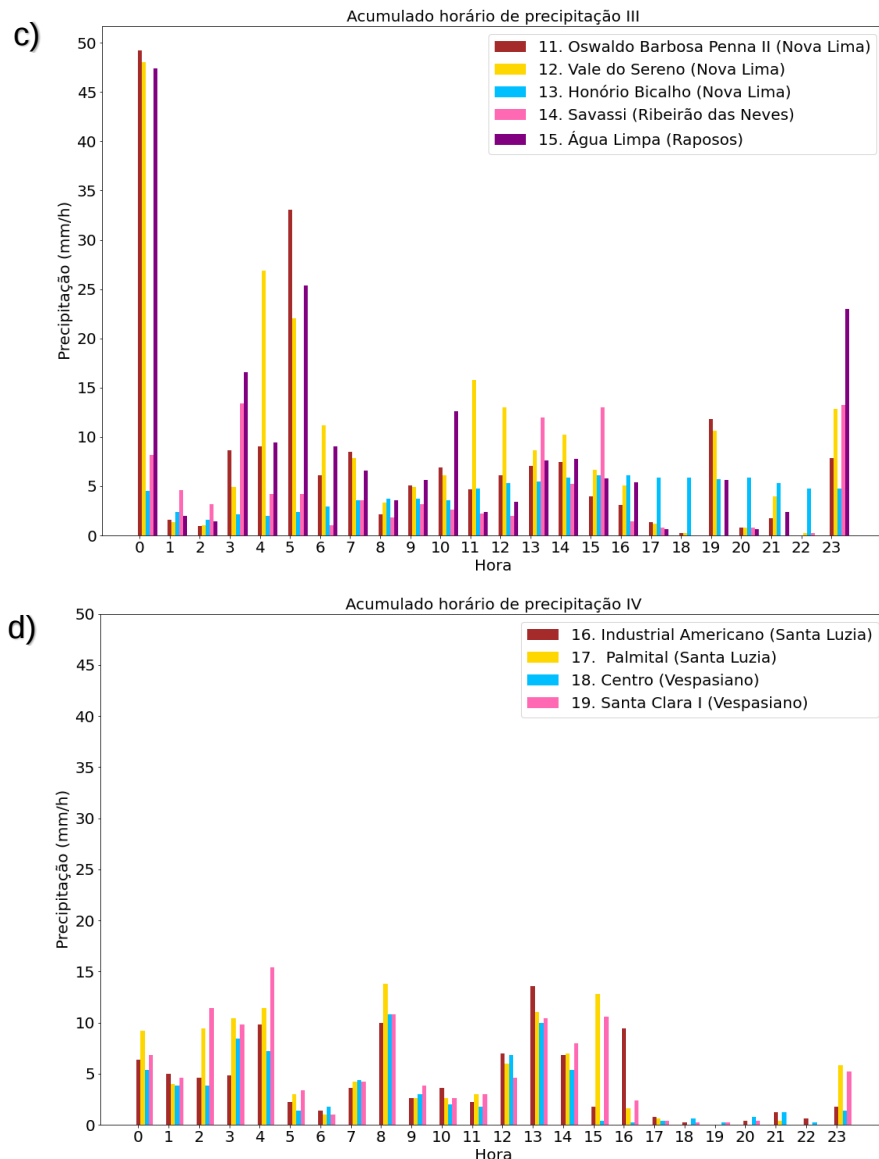


Figura 17 - Acumulado horário de precipitação (mm/hora) na RMBH no dia 24/01/2020 das cidades: (a) Belo Horizonte, Betim, Rio Acima; (b) Brumadinho, Caeté, Ibirité; (c) Nova Lima, Ribeirão das Neves, Raposos; (d) Santa Luzia, Vespasiano.

No que se refere à distribuição por tipo de desastres naturais na RMBH, os resultados mostram maior frequência de ocorrência para os movimentos de massa, seguido pela inundação (Figura 18), mesmo padrão encontrado para a distribuição total entre 2016 e 2020. Chuvas intensas como a registrada entre os dias 23 e 25 de janeiro, podem estar relacionadas com movimentos de massa, conforme discutido por Parizzi et al. (2010). Isso explicaria as ocorrências em cidades em que a precipitação nos dias anteriores foi menor que 50 mm, como é o caso de Santa Luzia e Vespasiano (Figura 15 (d)). Além da topografia do local

e da precipitação, outro fator que influencia a frequência e a magnitude desses eventos é a ocupação em áreas de risco.

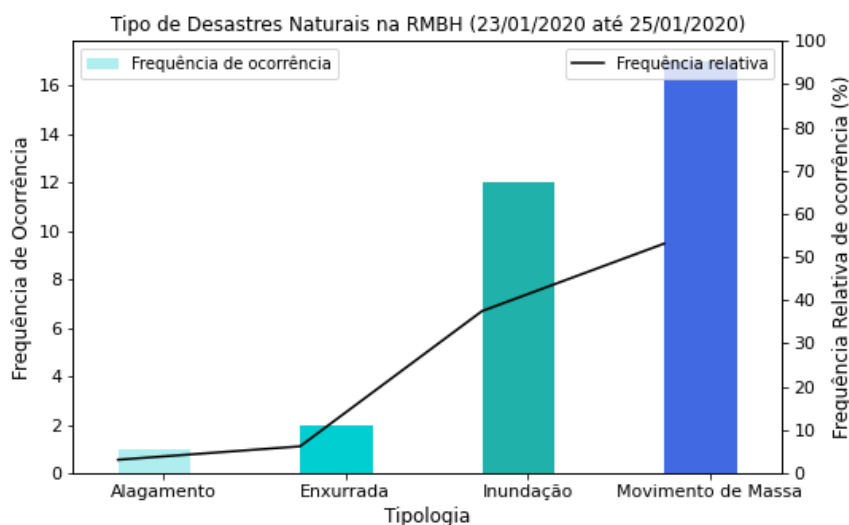


Figura 18 - Distribuição dos tipos (alagamento, enxurrada, inundação e movimento de massa) de desastres naturais na RMBH entre os dias 23, 24 e 25 de janeiro de 2020 para os municípios monitorados pelo CEMADEN.

4.2.2. Condições sinóticas e termodinâmicas

Na Figura 19 é possível observar o comportamento das condições atmosféricas em nível de superfície, médios níveis e altitude durante os três dias do evento. Em altitude, nota-se a presença da atuação do sistema Alta da Bolívia em sua posição climatológica, favorecendo a divergência em altos níveis, e consequentemente, a convergência em superfície que proporciona o movimento ascendente. Enquanto isso, no Oceano Atlântico e próximo ao litoral nordestino, observa-se um escoamento que indica a presença do Vórtice Ciclônico de Altos Níveis, padrão típico do verão (Figura 19 a, b, c). Por outro lado, em médios níveis é possível observar que nos dias 23 e 24 (Figura 19 d, e), há uma crista sobre o Chile que se estende até o Oceano Atlântico e um intenso cavado que se estende do Oceano Atlântico para o continente em direção ao Centro-Oeste brasileiro. Este cenário, associado ao descrito em altitude, são indicativos de um episódio de ZCAS. Esse cenário é confirmado na carta de superfície (Figura 19 g, h i). Além disso, entre os dias 23 e 24 de janeiro um sistema de baixa pressão em superfície, evoluiu para uma depressão subtropical e em seguida para tempestade subtropical e recebeu o nome de Kurumi (Figuras não mostradas). Enquanto no dia 25/01

(Figura 19 i), esse sistema já adquiriu características de sistema frontal, o qual continua dando suporte para a manutenção da ZCAS.

Dessa maneira, o sistema de baixa pressão desde a superfície até médios níveis, favoreceu uma forte intensificação dos ventos de quadrante norte, contribuindo para aumentar a advecção de ar quente e úmido desde a região amazônica em direção ao Sudeste (e Minas Gerais) e Centro-Oeste.

As características sinóticas do evento são analisadas em maior profundidade na Figura 20. Para facilitar a visualização, a localização da RMBH será indicada com um quadrado vermelho. Nota-se que no dia 23 a atmosfera já possui características instáveis, isso porque há um escoamento em 850 hPa no sentido noroeste-sudeste (Figura 20 d) que transporta calor e umidade da Região Amazônica para Minas Gerais, além da umidade proveniente do Oceano Atlântico devido a atuação da baixa pressão na costa brasileira. Essa umidade pode ser notada através da água precipitável e da convergência de umidade (Figura 20 g). Além disso, a presença de divergência em 250 hPa (Figura 20 a) e de ômega negativo (Figura 20 g), indicam movimento ascendente na RMBH. No que se refere as características termodinâmicas o CAPE (energia disponível para formação de nuvens) e o cisalhamento do vento (variação do vento com a altura) indicam cenários diferentes. Enquanto o CAPE é favorável à formação de nuvens de forma isolada (valores de CAPE variam de 200 a 500 JKg⁻¹ na RMBH), que indicam chuvas fracas (Ferreira e Reboita, 2020) o cisalhamento do vento indica ambiente instável (valores de cisalhamento do vento variam de 12 a 16 ms⁻¹ na RMBH), pois as correntes ascendentes e descendentes de ar não se cancelam e por esse motivo contribuem para a manutenção das nuvens de chuva (OLIVEIRA *et al.*, 2016). Dessa maneira, mesmo que no dia 23/01 o CAPE não tenha atingido valores elevados e superiores a 2500 JKg⁻¹, as características sinóticas, aliado ao cisalhamento do vento foram predominantes e favoreceram a formação de nuvens de chuva. Já no dia 24/01 tanto as características sinóticas quanto termodinâmicas são intensificadas, com destaque para o movimento vertical (Figura 20 h) e para o CAPE (Figura 21 b), com valor superior a 700 JKg⁻¹.

No dia 25 de janeiro (Figura 20 c) o jato em altos níveis se comporta de forma zonal sobre o sul de MG. Este sistema dá o suporte para a atuação da frente fria, indicada na Figura 19 (i). Além disso, as características sinóticas descritas anteriormente se deslocam à norte do Estado, enquanto as características

termodinâmicas ainda permanecem de forma mais suave sobre a RMBH, o que favorece a formação de nuvens de chuva

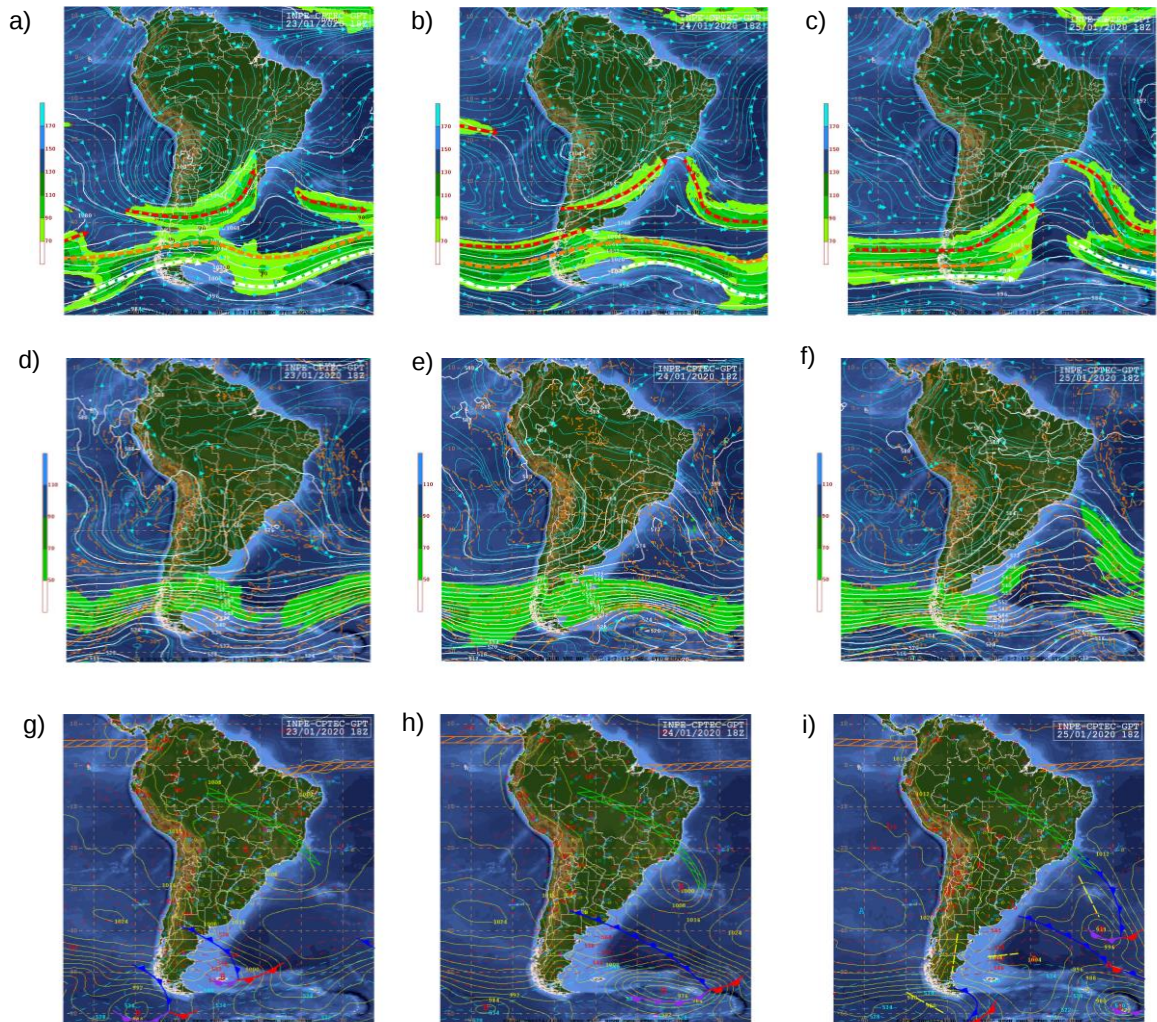


Figura 19 - Cartas sinóticas de (a, b, c) Altitude (205hPa), (d, e, f) Médios níveis (500hPa) e (g, h, i) Superfície para os dias 23, 24 e 25 de janeiro de 2020 às 18Z. Fonte: CPTEC/INPE.

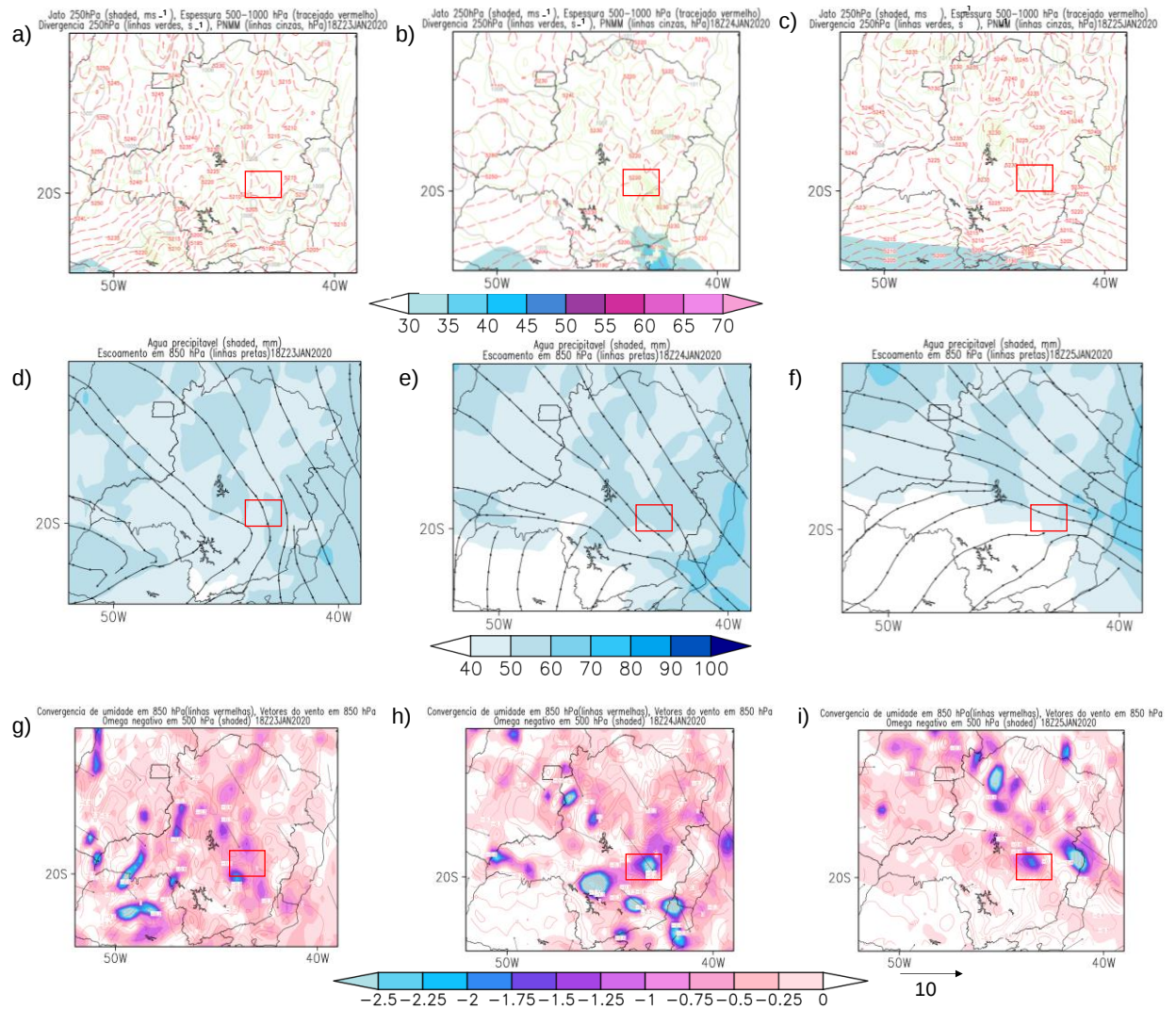


Figura 20 - Análise sinótica: (a, b, c) Jatos 250hPa, Espessura 500-1000hPa, Divergência 250hPa e Pressão ao nível médio do mar; (d, e, f) Água precipitável e Escoamento 850hPa; Convergência de umidade 850hPa, Vetores do vento 850hPa e Ômega negativo 500hPa para os dias 23, 24 e 25 de janeiro de 2020 às 18Z. O quadrado vermelho indica aproximadamente a localização da RMBH.

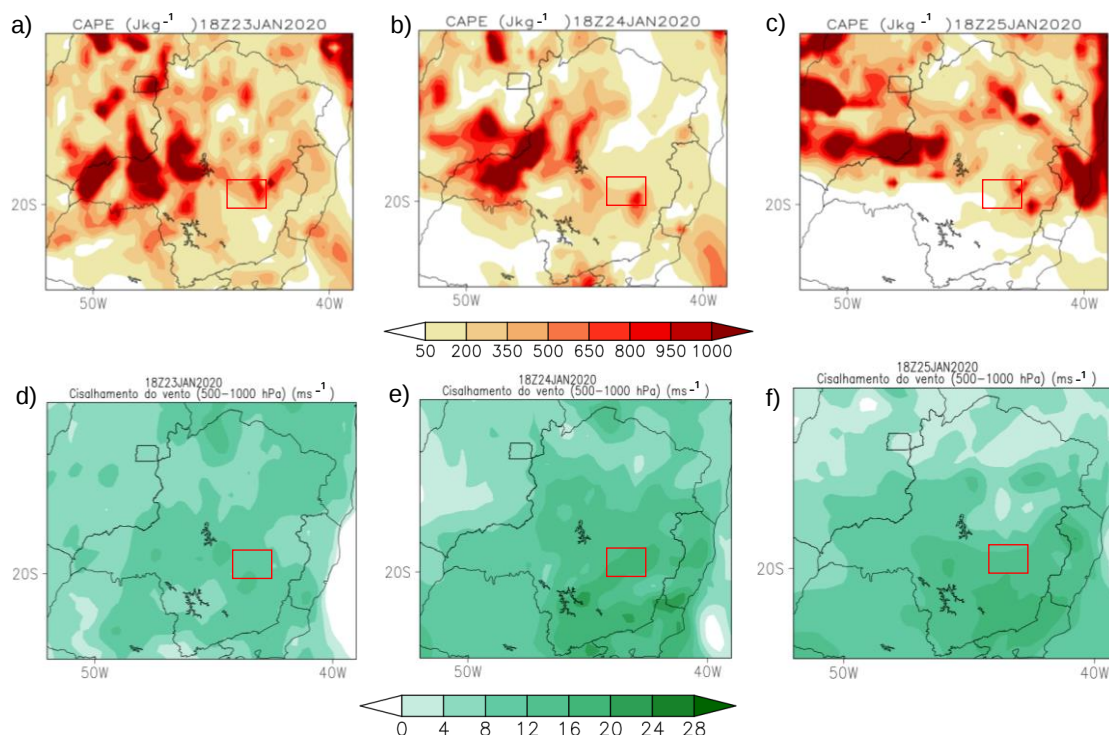
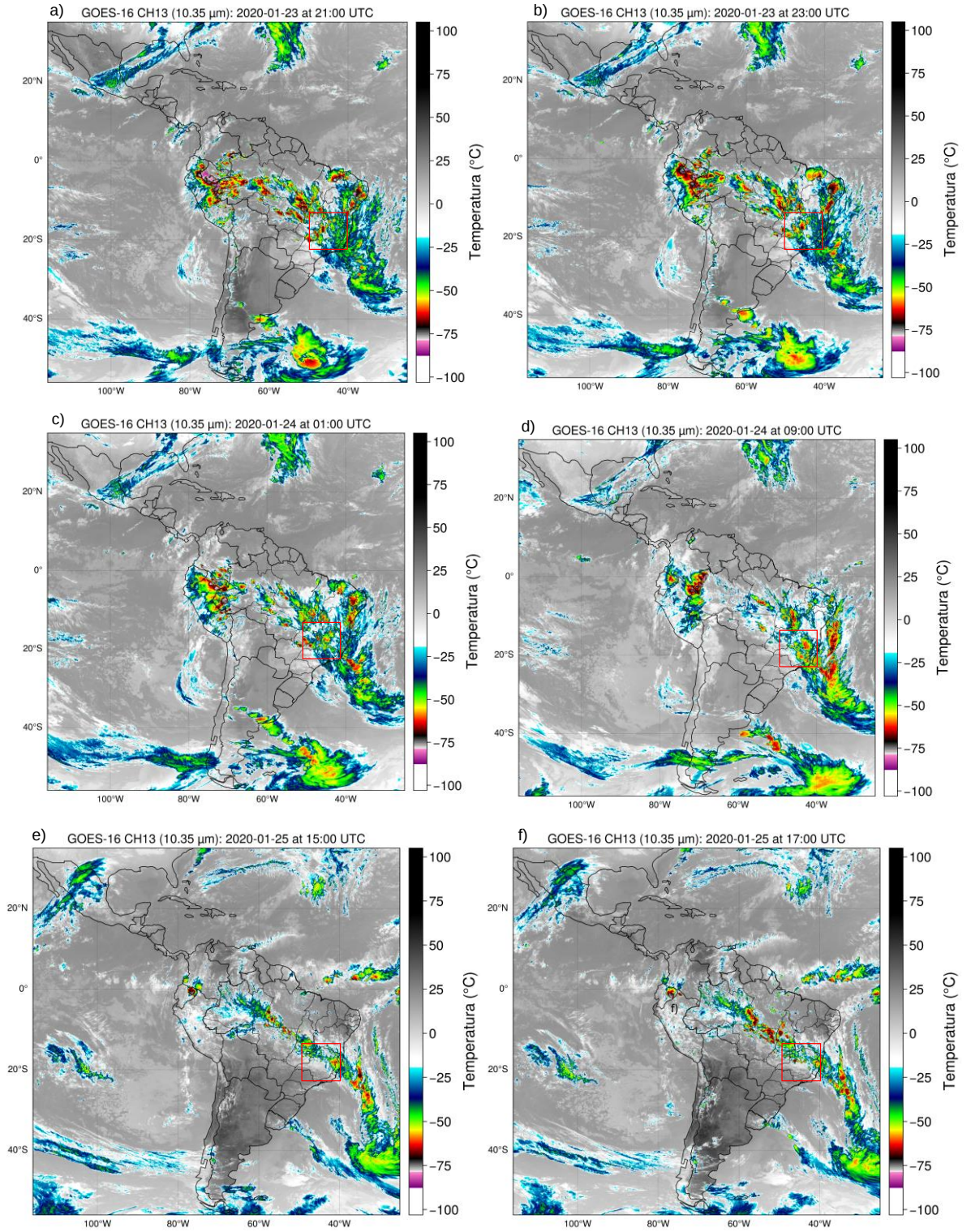


Figura 21 - Análise termodinâmica: (a, b, c) CAPE e (d, e, f) Cisalhamento do vento para os dias 23, 24 e 25 de janeiro de 2020 às 18Z. O quadrado vermelho indica aproximadamente a localização da RMBH.

4.2.3. Características físicas da tempestade

No que se refere às características físicas da tempestade, as imagens do infravermelho mostram a profundidade de uma nuvem. Através da temperatura realçada é possível identificar a temperatura no topo da nuvem e quanto mais negativa a temperatura, mais alta é essa nuvem. Sabendo disso, pode-se observar uma banda de nuvens profundas no sentido noroeste-sudeste. Além disso, percebe-se que da madrugada até o 09:00 UTC do dia 24/01 (Figura 22 a - d), há um aglomerado de nuvens em todo o estado de Minas Gerais, como mostrado pelo quadrado vermelho. Já nas Figura 22 (e, f), a banda de nuvens reduz a sua área de alcance e passam a atuar mais ao norte do estado mineiro. Contudo, no final da noite do dia 25/01 (Figura 22 g), a banda de nuvens volta a atuar em mais locais, além de ganhar mais intensidade. Além disso, a organização das nuvens reforça a ideia da presença da ZCAS.



(continua)

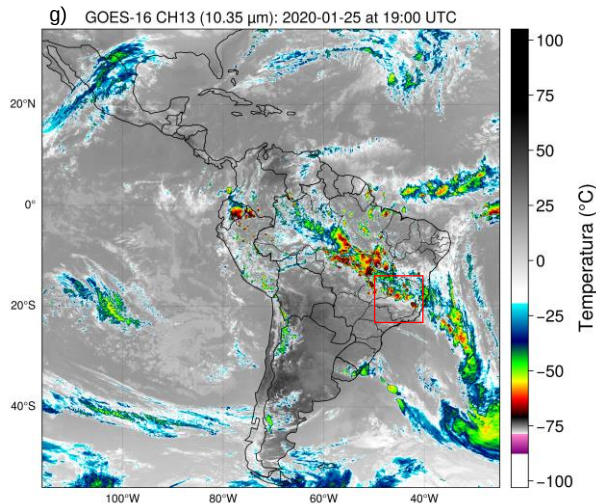


Figura 22 - Imagens de satélite (GOES-16, CH13 – 10,3 μm) para os horários: (a) 23/01/2020 21:00 UTC, (b) 23/01/2020 23:00 UTC, (c) 24/01/2020 01:00 UTC, (d) 24/01/2020 09:00 UTC, (e) 25/01/2020 15:00 UTC, (f) 25/01/2020 17:00 UTC, (g) 25/01/2020 19:00 UTC. O quadrado vermelho indica aproximadamente a localização de Minas Gerais.

Na Figura 22 é possível observar a altura da nuvem através da temperatura de brilho, ou seja, nota-se a existência de nuvens com grande extensão vertical. Quanto maior a profundidade de uma nuvem, menor sua temperatura, e o potencial de possuir grande quantidade de partículas de gelo. Como a formação dos relâmpagos depende da ocorrência de gelo na nuvem (REYNOLDS *et al.*, 1957), consequentemente, é maior a chance de relâmpagos. Portanto, comparando as Figura 23 com a Figura 22 é evidente essa relação uma vez que os locais em que há maior incidência de relâmpagos são os mesmos locais onde as nuvens estão mais profundas. Além disso, no dia 24/01 há mais registros de relâmpagos (Figura 23 b), justamente o dia em que as nuvens convectivas estão cobrindo todo o estado (Figura 22 a - d).

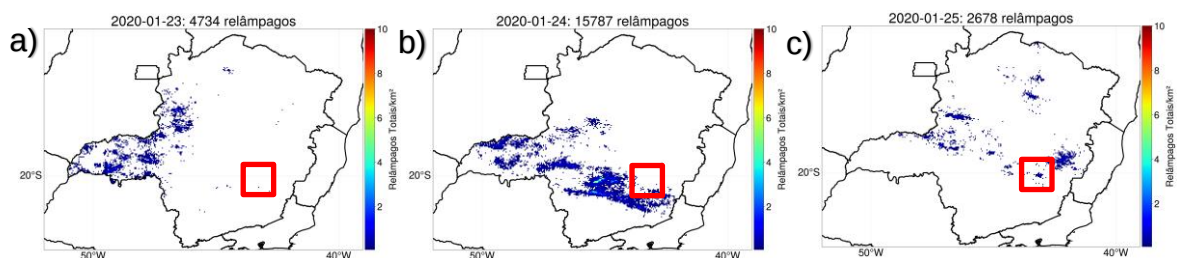


Figura 23 – Densidade de relâmpagos (nuvem-solo + intra-nuvem) da rede *Earth Networks Total Lightning Network* calculada numa grade 4x4Km: (a) 23/01/2020, (b) 24/01/2020 e (c) 25/01/2020. O quadrado vermelho indica aproximadamente a localização da RMBH.

Na Figura 24 tem-se a densidade de relâmpagos por hora no dia 24/01, nota-se que o pico de ocorrência ocorre no final da tarde às 21 UTC (18h horário local). Esse período do dia é favorável ao nascimento de tempestades devido ao resfriamento gradativo noturno, o qual promove processos de condensação e formação de nuvens de tempestades. Além disso, é possível notar um ciclo bem definido de ocorrências no período da tarde e noite, resultado esperado para o verão, conforme Santos (2014).

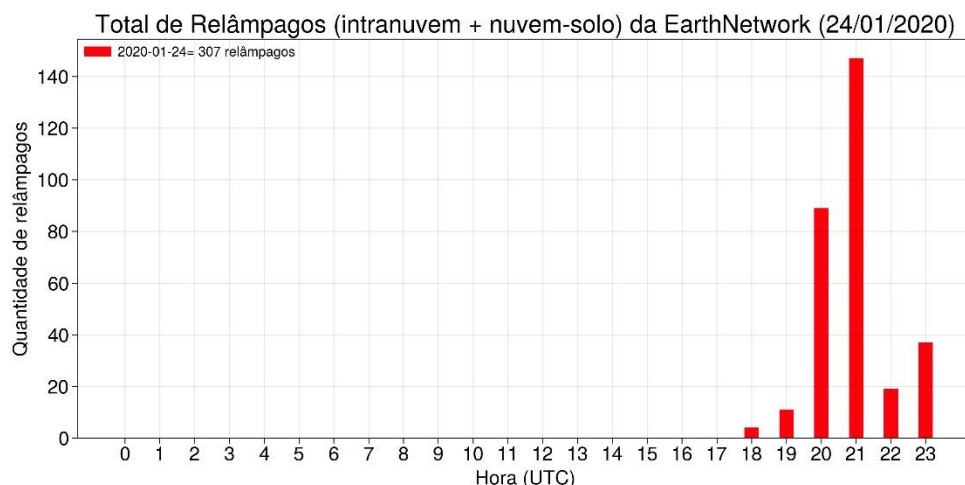


Figura 24 - Total de relâmpagos (intranuvem + nuvem-solo) da rede *Earth Networks Total Lightning Network* (24/01/2020)

5. CONCLUSÕES

No que se refere aos desastres naturais ocorridos em Minas Gerais durante o período de 2016 a 2020, houve maior frequência nos meses do verão (589 registros), sendo 204 ocorrências de movimentos de massa. A distribuição dos desastres é maior no início da tarde e noite, seguido pela madrugada. Destaca-se que em cada período do dia, tem-se um tipo de ocorrência mais comum, o que está relacionado com as causas que levam a deflagração desses eventos. A enxurrada, por exemplo, é mais comum no período da tarde, pois é nesse período do dia em que se tem chuvas intensas, provocadas pelo aquecimento diurno da superfície somado a umidade presente no ar. Por outro lado, os movimentos de massa são comuns durante a madrugada, por se tratar de um desastre que ocorre de forma lenta e que na maioria das vezes necessita de chuvas antecedentes, muitas vezes a precipitação que ocorreu no dia anterior é que vai deflagrar o movimento de massa durante a madrugada.

Com relação ao evento ocorrido nos dias 23, 24 e 25 de janeiro de 2020 na RMBH, o sistema meteorológico ZCAS e a baixa pressão na costa sudeste propiciaram que as inundações, os movimentos de massa, as enxurradas e o alagamento fossem deflagrados. Contudo, há outros fatores relevantes para a ocorrência desses eventos que não estão ligados com os fenômenos meteorológicos, como os tipos de solo presente na região, a ocupação em áreas de risco e a vulnerabilidade, fatores determinantes para a ocorrências de desastres naturais no Brasil.

Nesse contexto, o presente trabalho pode servir como base para trabalhos futuros nessa temática e para o planejamento de políticas públicas que visam a mitigação dos efeitos adversos de inundações e movimentos de massa.

Para trabalhos futuros sugere-se que seja estudado com maior detalhamento a geometria das bacias hidrográficas e as características do solo da região de estudo. No que se refere a parâmetros meteorológicos sugere-se o emprego de informações provenientes de radares meteorológicos. Além disso, torna-se relevante o estudo das áreas de risco e de uma avaliação conjunta dos impactos socioeconômicos provocados por esses desastres naturais.

6. REFERÊNCIAS

ALVALÁ, R. S. C.; BARBIERI, A. Desastres Naturais. *In*: NOBRE, C. A.; MARENGO, J. A. (Orgs). **Mudanças Climáticas em Rede: Um Olhar Interdisciplinar**. Bauru: Canal6, 2017. p. 203-230.

AMARAL, R.; GUTJAHR, M. R. **Cadernos de Educação Ambiental: Desastres Naturais**. 8 Ed. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, Instituto Geológico, 2012.

BLAINSKI, E.; GARBOSSA, L. H. P.; ANTUNES, E. N. **Estações hidrometeorológicas automáticas: Recomendações técnicas para instalação**.

1 Ed. Florianópolis: Epagri, 2012. 43p. ISSN 0100-8986. Disponível em: [http://meteoro-eau.wdfiles.com/local--](http://meteoro-eau.wdfiles.com/local--files/start/recomendacoes_tecnicas_para_instalacao_de_estacoes.pdf)

[files/start/recomendacoes_tecnicas_para_instalacao_de_estacoes.pdf](http://meteoro-eau.wdfiles.com/local--files/start/recomendacoes_tecnicas_para_instalacao_de_estacoes.pdf). Acesso em: 21 jul. 2021.

CALBETE, N. O.; CALBETE, S. R.; ROZANTE, J. R.; LEMOS, C. F. Precipitações intensas ocorridas no período de 1986 a 1996 no Brasil. **CPTEC/INPE**. Acesso em 11 de junho de 2021. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/11.html>.

CALDERANO FILHO, B.; CARVALHO JÚNIOR, W. CALDERANO, S. B.; GUERRA, A. J. T. Suscetibilidade dos solos à erosão na área de entorno do reservatório da usina hidrelétrica de Tombos (MG). **Revista Geonorte**, v. 10, n. 10, p. 476-481, 2014.

CARVALHO, C. S.; GALVÃO, T. 2006. Ação de Apoio à Prevenção e Erradicação de Riscos em Assentamentos Precários. In: CARVALHO, C. S.; GALVÃO, T. (orgs.). **Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais**. Brasília: Ministério das Cidades; Cities Alliance, 2006, p. 10-17.

CARVALHO, L. M. V.; 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, p. 88–108, 2004.

CASERI, A. N.; ANGELIS, C. F. Combinação de informações fornecidas por pluviômetros e radares meteorológicos. In: Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional, n. 38, 2018, Campinas, **Proceeding...** Campinas: Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics, 2018, p. 1-6. Disponível em: DOI: 10.5540/03.2018.006.02.0430. Acesso em: 21 jul. 2021.

MOURA, A. Z. B.; CALHEIROS, L. B. **Glossário de Defesa Civil Estudos de Riscos e Medicina de Desastre**. 2 Ed. Brasília: MPO, 1998.

DALAGNOL, R.; GRAMCIANINOV, C. B.; CRESPO, N. M.; LUIZ, R.; CHIQUETTO, J. B.; MARQUES, M. T. A.; NETO, G. D.; ABREU, R. C.; LI, S.; LOTT, F. C.; ANDERSON, L. O.; SPARROW, S. Extreme rainfall and its impacts in the Brazilian Minas Gerais state in January 2020: Can we blame climate change? **Climate Resilience and Sustainability**. p. 1-15, 2021. DOI: 10.1002/cli2.15.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Mapeamento de Solos e Aptidão Agrícola das Terras do Estado de Minas Gerais**, 2004. citation on computers documents. Disponível em: <<file:///C:/Users/USURIO~2/AppData/Local/Temp/bpd63-2004-mapeamento-mg 1.pdf>>. Acesso em: 30 de novembro de 2021.

FERREIRA, C.; REBOITA, M. S. **Índices de instabilidade: O que são e para que servem?**. 1 Ed. Itajubá: dos autores, 2020. Acesso em 16 de outubro de 2021. Disponível em: https://meteorologia.unifei.edu.br/produtos/skewt/src/Ferreira&Reboita_Indices_Instabilidade_28_08_2020.pdf.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg.html>>. Acesso em: 29 de Mar. De 2021.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **População em áreas de risco no Brasil, 2018**. citation on computers documents. Disponível em: <<http://portalods.com.br/wp-content/uploads/2018/07/liv101589.pdf>> Acesso em: 16 de julho de 2021.

International Strategy for Disaster Reduction. *Living with risk: a global review of disaster reduction initiatives*. 1 Ed. Geneva: UN/ISDR, 2004.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D. A.; MARCELINO, I. P. V. O.; MARCELINO, E. V.; GONÇALVES, E. F.; BRAZETTI, L. L. P.; GOERL, R. F.; MOLLERI, G. S. F.; RUDORFF, F. M. **Prevenção de Desastres Naturais Conceitos Básicos**. 1 Ed. Curitiba: Organic Trading, 2006.

MALVESTIO, L. M. **Variabilidade da precipitação pluviométrica da região Sudeste do Brasil no período chuvoso e suas consequências ambientais**. 2013. 155 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

MARCELINO, E. V. **Desastres Naturais e Geotecnologias: Conceitos Básicos**. 1 Ed. Santa Maria: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Jan. 2008.

MARCELINO, E. V.; NUNES, L. H.; KOBIYAMA, M. Banco de dados de desastres naturais: análise de dados globais e regionais. **Caminhos de Geografia**, v.6, n.19, p. 130-149, 2006.

MARIN, A. M. P.; CAVALCANTE, A. M. B.; MEDEIROS, S. S.; TINÔCO, L. B. M.; SALCEDO, I. H. Núcleos de desertificação no semiárido brasileiro: ocorrência natural ou antrópica? **Parceria estratégicas**, v. 17, n. 34, p. 87-106, 2012.

MARTINS, F. B.; GONZAGA, G.; SANTOS, D. F.; REBOITA, M. S. Classificação climática de Koppen e de Thornthwaite para Minas Gerais: Cenário atual e projeções futuras. **Revista Brasileira de Climatologia**, edição especial, ano 14, p. 129-156, 2018

MELLO, C. R.; VIOLA, M. R. Mapeamento de chuvas intensas no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 1, p. 37-44, 2013.

MONTEIRO, A. F. M.; MARTINS, F. B. Global Solar Radiation Models in Minas Gerais, Southeastern Brazil. **Advances in Meteorology**, v. 2019, p. 1-17, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/9515430>

NUNES, L. H.; VICENTE, A. K.; CANDIDO, D. H. Clima da Região Sudeste do Brasil. In: Cavalcanti, I. F. A.; Ferreira, N. J., da Silva M. G. A. J.; Dias, M. A. F. S. (Orgs.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos. p. 468, 2009.

OLIVEIRA, G. B.; ALCÂNTARA, C. R.; SOUZA, E. P. Caracterização de perfis de vento no ambiente de formação das linhas de instabilidade amazônicas. **Ciência e Natura**, v. 38, n. 1, p. 393 – 403, 2016. DOI:10.5902/2179-460X18337.

OLIVEIRA, G. S.; FLORENZANO, T. G. **Satélite e meio ambiente**. 2006. Disponível em: http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m12@80/2006/08.04.16.53/doc/Boletim_Da_Terra_ao_Espaco_20-03-2006_PGM_4.pdf. Acesso em: 21 jul. 2021.

PARIZZI, M. G.; SEBASTIÃO, C. S.; VIANA, C. S.; PFLUEGER, M. C.; CAMPOS, L. C.; CAJAZEIRO J. M. D.; TOMICH, R. S.; GUIMARÃES, R. N.; ABREU, M. L.; SOBREIRA, F. G.; REIS, R. Correlação entre chuvas e movimentos de massa no município de Belo Horizontes, MG. **Revista Geografias**. DOI:10.35699/2237-549X.13296. Acesso em: 14 out. 2021.

PEDRO, D. F. P.; FREITAS, A. C. V.; BELOTTI, F. M. Influência da zona de convergência do Atlântico Sul (ZCAS) na ocorrência de deslizamentos de massa em Belo Horizonte e cidades vizinhas. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 27, n. 16, p. 635-659, 2020.

RAMIREZ, Y. M. B. **Inferência de hidrometeoros a partir de um radar meteorológico de dupla polarização banda X**. Orientador: Dr. Carlos Augusto Morales Rodriguez. 2019. 111 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

REBOITA, M. S.; RODRIGUES, M.; SILVA, L. F.; ALVES, M. A. Aspectos climáticos do estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 17, n. 11, p. 206-226, 2015.

REIS, R. V. **Desastres naturais na região sudeste, associados a eventos climáticos extremos**. Orientador: Dr. Jonas Teixeira Nery. 2015. 77 f. TCC (Graduação em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Ourinhos, 2015.

REYNOLDS, S. E.; BROOK, M.; GOURLEY, M. F. Thunderstorm charge separation. **Journal of Meteorology**. v. 14, p. 426-436, 1957.

ROZANTE, J. R.; MOREIRA, D. S.; GONCALVES, L. G. G.; VILA, D. A. Combining TRMM and Surface Observations of Precipitation: Technique and Validation Over South America. **Weather and Forecasting**, v. 25, p. 885-894, 2010.

SAITO, S. M. Desastres Naturais e Geotecnologias: Vulnerabilidade. 6 Ed. Santa Maria: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2011.

SANTOS, M. O. **Estimativa de Descargas Elétricas através de Simulações Numéricas com o WRF**. Dissertação (Mestrado em Ciências Atmosféricas) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

SIQUEIRA, B. **Dinâmicas das chuvas e suas diferentes escalas no estado de São Paulo**. Orientador: Dr. Jonas Teixeira Nery. 2014. 73f. TCC (Graduação em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Ourinhos, 2014.

SKOLNIK, M. I. (org.) **Radar Handbook**. 2 Ed. Boston: Mc Graw Hill, 1990. Disponível em: https://helitavia.com/skolnik/Skolnik_preface_contents.pdf. Acesso em: 21 jul. 2021.

TOMINAGA, L. K. **Avaliação de metodologias de análise de risco a escorregamentos: Aplicação de um ensaio em SP**. Tese (Doutorado em Ciências - Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências humanas, Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 240. 2007.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. 1 ed. São Paulo: Instituto Geológico, 2009.

UFSC - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais – 1991 a 2012**: Minas Gerais. 2º Ed. Florianópolis: CEPED/UFSC, 2013. 166 p.

VAREJÃO, M. A. S. **Meteorologia e Climatologia**. Recife, 2006. 463 p.

VIANA, R. M. **A Remoção dos Desastres e os Desastres da Remoção: risco, vulnerabilidade e deslocamento forçado em Belo Horizonte**. Tese (Doutorado em Demografia) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p. 260. 2015.

ANEXOS

Tabela 3 - Municípios do Estado de Minas Gerais monitorados pelo CEMADEN.

Água Boa
Aimorés
Alto Jequiitibá
Alvinópolis
Além Paraíba
Astolfo Dutra
Barbacena
Barra Longa
Belo Horizonte
Belo Oriente
Belo Vale
Betim
Boa Esperança
Brumadinho
Buritizeiro
Caeté
Campanário
Cantagalo
Capelinha
Caputira
Carandaí
Carangola
Caratinga
Caraí
Careaçu
Carlos Chagas
Carmo de Minas
Carmópolis de Minas
Cataguases
Chalé
Chapada do Norte
Chácara
Conceição do Mato Dentro
Congonhas
Conselheiro Lafaiete
Contagem
Coroaci
Coronel Fabriciano
Delfim Moreira
Diogo de Vasconcelos
Divinésia
Dom Cavati

Dom Joaquim
Dona Eusébia
Engenheiro Caldas
Ervália
Espera Feliz
Ewbank da Câmara
Fernandes Tourinho
Francisco Sá
Frei Inocência
Governador Valadares
Guaraciaba
Guidoval
Guiricema
Iapu
Ibirité
Inhapim
Ipatinga
Itabira
Itacarambi
Itajubá
Itambacuri
Itamonte
Itanhomi
Itapeçerica
Jampruca
Januária
Jeceaba
João Monlevade
Juiz de Fora
Ladainha
Lagoa Grande
Lajinha
Lambari
Malacacheta
Manhuaçu
Manhumirim
Mantena
Mariana
Marmelópolis
Materlândia
Matias Barbosa
Matias Cardoso
Miraí
Monte Formoso
Montes Claros
Morro do Pilar
Muriaé
Mutum

Nanuque
Naque
Nova Belém
Nova Lima
Novo Cruzeiro
Ouro Petro
Padre Paraíso
Passa - Vinte
Patrocínio de Muriaé
Perdões
Periquito
Piau
Piranga
Pirapetinga
Pirapora
Ponte Nova
Pouso Alegre
Presidente Olegário
Raposos
Raul Soares
Reduto
Resplendor
Ribeirão das Neves
Rio Acima
Rio Casca
Rio Piracicaba
Rochedo de Minas
Sabará
Sabinópolis
Santa Luzia
Santa Rita do Sapucaí
Santo Antônio do Itambé
Santos Dumont
Sardoá
Senhora de Oliveira
Simão Pereira
São Francisco
São João da Mata
São João del Rei
São João Nepomuceno
São Pedro do Suaçuí
São Pedro dos Ferros
Teófilo Otoni
Timóteo
Três Corações
Três Marias
Ubá
Unaí

Vazante
Vespasiano
Virgolândia
Visconde do Rio Branco
Viçosa

Tabela 4 - Municípios da Região Metropolitana de Belo Horizonte monitorados pelo CEMADEN.

Belo Horizonte
Betim
Brumadinho
Caeté
Contagem
Ibirité
Nova Lima
Raposos
Ribeirão das Neves
Rio Acima
Sabará
Santa Luzia
Vespasiano