ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E ESTATÍSTICA DE EVENTOS DE CHUVAS MÁXIMAS NO TERRITÓRIO BRASILEIRO COM BASE NOS ATLAS PLUVIOMÉTRICOS DO SGB

Emanuel Gomes Soares[1]; Daniel Conceição do Nascimento[2]; Cristiano das Neves Almeida[3]; Lucas Gomes Soares[4] & Maria Clara Ribeiro Vilaça[5].

RESUMO – As chuvas extremas figuram entre os principais agentes deflagradores de desastres hidrológicos e geotécnicos no Brasil. O conhecimento da distribuição espacial desses eventos é fundamental para estudos hidrológicos, definição de curvas Intensidade-Duração-Frequência (IDF), gestão de riscos e planejamento de infraestrutura. Neste trabalho, caracterizaram-se espacial e estatisticamente os eventos de chuvas máximas diárias registrados no Atlas Pluviométrico do Serviço Geológico do Brasil (SGB). Foram utilizados dados de estações pluviométricas nacionais, submetidos a filtragem, remoção de duplicidades, padronização e classificação regional. A base final resultou em 533 estações válidas. Observou-se predominância de estações no Sudeste (58,5%), seguidas do Sul (19,7%), Nordeste (12,8%), Norte (8,1%) e Centro-Oeste (0,9%). As maiores médias de precipitação máxima diária ocorreram no Norte (96,64 mm) e Sul (94,68 mm), enquanto o Nordeste apresentou média de 89,43 mm. Os resultados evidenciam a variabilidade espacial dos extremos pluviométricos e o potencial do Atlas como ferramenta para estudos hidrológicos em âmbito nacional.

ABSTRACT– Extreme rainfall events are among the main triggers of hydrological and geotechnical disasters in Brazil. Understanding their spatial distribution is essential for hydrological studies, Intensity-Duration-Frequency (IDF) curve derivation, risk management, and infrastructure planning. This study aims to characterize the spatial and statistical patterns of daily maximum rainfall records from the Brazilian Geological Survey (SGB) Pluviometric Atlas. Data from nationwide raingauge stations were filtered, checked for spatial duplicates, standardized, and regionally classified. The final dataset comprised 533 valid stations, with a predominance in the Southeast (58.5%), followed by the South (19.7%), Northeast (12.8%), North (8.1%), and Midwest (0.9%). The highest mean daily maximum rainfall values were found in the North (96.64 mm) and South (94.68 mm), while the Northeast averaged 89.43 mm. Results the high spatial variability of extreme rainfall in Brazil and demonstrate the Atlas's potential as a tool for country-wide hydrological studies.

Palavras-Chave – Chuvas extremas; Atlas pluviométrico; Distribuição espacial

1) Engenheiro Ambiental / Mestrando em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba - Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECAM), - Centro de Tecnologia - Campus I - Lot. Cidade Universitária, PB, 58051-900, emanuel.gomes@academico.ufpb.br
2) Graduando em Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba. Cidade Universitária, João Pessoa – PB, Brasil. CEP: 58051-900. Email: Daniel.conceicao@academico.ufpb.br
3) Docente, Universidade Federal da Paraíba: Campus I - Lot. Cidade Universitária, PB, 58051-900, almeida74br@yahoo.com.br
4) Engenheiro Ambiental, Email: lucas.gomes026@gmail.com
5) Engenheira Ambiental / Mestranda em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba - Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECAM), - Centro de Tecnologia – Campus I - Lot. Cidade Universitária, PB, 58051-900, mcrv@academico.ufpb.br

1. INTRODUÇÃO

As chuvas extremas figuram entre os principais agentes deflagradores de desastres hidrológicos e geotécnicos no Brasil, como enchentes, alagamentos, deslizamentos de terra e erosão acelerada (Pfafstetter, 1957; Naghettini & Pinto, 2007). O conhecimento da distribuição espacial desses eventos, bem como de suas propriedades estatísticas, constitui etapa fundamental para estudos hidrológicos, definição de curvas Intensidade-Duração-Frequência (IDF), gestão de riscos e planejamento de infraestruturas de drenagem e contenção.

O Brasil apresenta uma enorme diversidade climática, que se reflete em regimes de precipitação extremamente distintos entre suas macrorregiões (Alvares *et al.*, 2013). Enquanto a Amazônia se caracteriza por chuvas convectivas frequentes e elevada umidade, o semiárido nordestino convive com longos períodos de estiagem intercalados por eventos de curta duração e alta intensidade (Molion & Bernardo, 2002). As regiões Sudeste e Sul, por sua vez, sofrem influência de sistemas frontais e relevo acidentado, condições que, associadas à disponibilidade de umidade, podem gerar extremos pluviométricos de grande magnitude (Reboita *et al.*, 2021; Grimm, 2011). Essa heterogeneidade impõe desafios à regionalização hidrológica e à adoção de parâmetros únicos em escala nacional.

Nesse cenário, o Atlas Pluviométrico do Brasil, desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB – CPRM), representa uma das mais importantes bases de dados hidrológicos do país. A ferramenta reúne informações consolidadas de milhares de estações pluviométricas, com séries históricas de precipitações máximas diárias, sendo amplamente utilizada para a geração de equações IDF e para estudos de frequência de eventos extremos (SGB, 2018). Apesar de sua relevância, ainda são raras as avaliações críticas que caracterizem, de forma abrangente, a distribuição espacial das estações disponíveis e as propriedades estatísticas dos registros de chuva extrema em todo o território nacional.

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo caracterizar espacial e estatisticamente os eventos de precipitação máxima diária registrados no Atlas Pluviométrico do Brasil, considerando as estações válidas distribuídas nas cinco macrorregiões brasileiras. Para isso, foram analisadas a distribuição espacial das estações, as estatísticas descritivas dos máximos anuais e os padrões regionais de variabilidade, buscando fornecer subsídios para estudos hidrológicos, regionalização de parâmetros e gestão de riscos associados a eventos extremos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

A área de estudo abrange todo o território brasileiro, contemplando as cinco macrorregiões oficiais: Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul. Essa abrangência nacional permite avaliar a variabilidade espacial dos eventos de precipitação extrema em diferentes contextos climáticos, fisiográficos e hidrológicos do país. O Brasil apresenta uma ampla gama de regimes pluviométricos, desde o equatorial úmido (Amazônia) até o semiárido (Nordeste) e o subtropical úmido (Sul), conforme classificação de Köppen (Alvares *et al.*, 2013).

2.2. Base de dados

Foram utilizados os dados disponibilizados pelo Atlas Pluviométrico do Serviço Geológico do Brasil (SGB – CPRM), que reúne informações consolidadas de estações pluviométricas distribuídas em todo o território nacional (SGB, 2018). O conjunto original é composto por 723 relatórios técnicos em formato PDF, cada um contendo séries históricas de precipitação máxima diária anual, coordenadas geográficas, identificação do posto e código da estação. Os dados foram extraídos manualmente para uma planilha eletrônica, organizando-se as seguintes variáveis por estação: código identificador, nome do posto, latitude e longitude (em graus decimais), série histórica de chuvas máximas diárias (mm), unidade federativa e macrorregião.

2.3. Processamento dos dados

O processamento dos dados foi realizado em ambiente Python 3.10, utilizando as bibliotecas *pandas*, *numpy*, *fiona* e *geopandas*. As etapas envolveram a integração dos dados extraídos do Atlas Pluviométrico do Brasil, padronização das variáveis, controle preliminar de qualidade com remoção de registros inconsistentes, eliminação de duplicidades espaciais, associação das estações às macrorregiões brasileiras por meio de operações espaciais utilizando a base cartográfica do IBGE e cálculo de estatísticas descritivas para a caracterização dos máximos anuais de precipitação.

2.4. Análise estatística

A análise estatística contemplou o cálculo de métricas descritivas fundamentais para a caracterização dos eventos de precipitação extrema, incluindo: média, mediana, desvio-padrão, valores mínimos e máximos, distribuição espacial das estações por região.

Essas estatísticas permitiram identificar padrões regionais e avaliar a variabilidade dos registros de chuva máxima diária no território brasileiro.

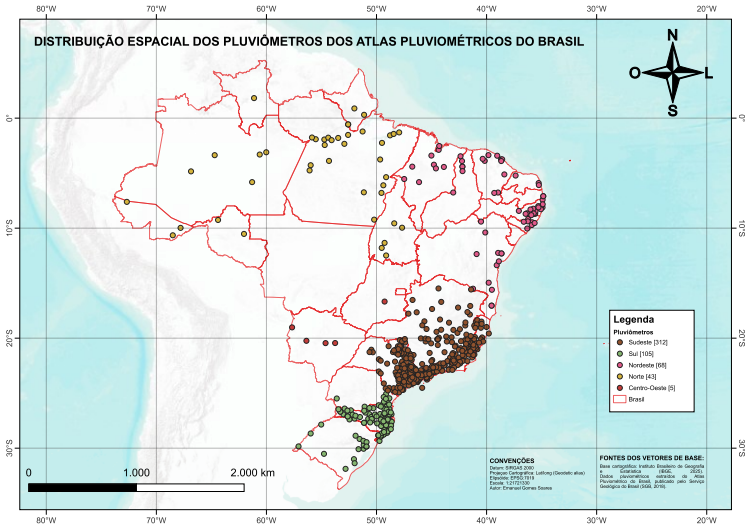
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Distribuição espacial das estações

Inicialmente, foram identificados 693 relatórios de estações pluviométricas disponibilizados pelo Atlas Pluviométrico do Brasil. Após a aplicação dos procedimentos de controle de qualidade, filtragem de registros inconsistentes e remoção de duplicidades, obteve-se um conjunto final composto por 533 relatórios válidos, os quais constituíram a base de dados utilizada neste estudo.

A Figura 1 apresenta a distribuição espacial das estações pluviométricas analisadas. Observa-se que as estações se encontram distribuídas em todas as regiões do território brasileiro, porém de forma heterogênea. Essa distribuição reflete, em grande medida, o processo histórico de implantação e expansão da rede hidrometeorológica nacional, bem como a disponibilidade de séries utilizadas na elaboração dos relatórios de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) do Atlas Pluviométrico.

Figura 1 - Distribuição espacial dos pluviômetros dos Atlas Pluviométricos do Brasil



Fonte: elaboração própria com dados do SGB (2018).

A distribuição regional das estações é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Distribuição das estações pluviométricas por região brasileira

Região	Estações	Participação (%)
Norte	43	8,1 %
Nordeste	68	12,8 %
Centro-Oeste	5	0,9 %
Sudeste	312	58,5 %
Sul	105	19,7 %
Total	533	100 %

Fonte: elaboração própria com dados do SGB (2018).

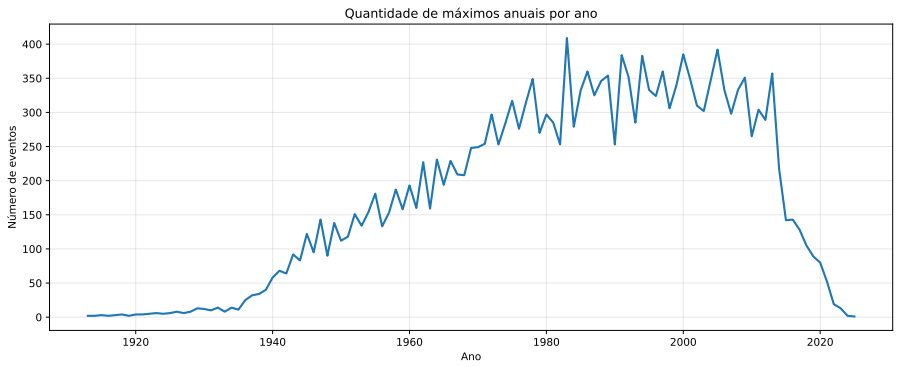
Os resultados evidenciam uma expressiva assimetria espacial da base de dados, com predominância de estações localizadas nas regiões Sudeste e Sul. Essa concentração resulta em maior densidade amostral nessas regiões e, consequentemente, maior capacidade de identificação e caracterização de eventos extremos de precipitação. Em contrapartida, a reduzida representatividade observada no Centro-Oeste e em parte da Região Norte constitui uma limitação importante da base analisada, podendo influenciar a identificação dos eventos mais raros e a comparação regional dos extremos pluviométricos.

Apesar dessas diferenças, o conjunto de dados apresenta abrangência nacional e contempla registros provenientes de todas as regiões brasileiras, permitindo a realização de análises comparativas sobre a distribuição espacial e a magnitude dos eventos extremos de precipitação diária no país.

3.1.1. Distribuição temporal dos registros

A Figura 2 apresenta a distribuição temporal dos máximos anuais disponíveis na base analisada. Observa-se aumento progressivo do número de registros ao longo do século XX, associado à expansão da rede pluviométrica nacional e à maior disponibilidade de séries históricas. O período compreendido entre as décadas de 1980 e 2010 concentrou a maior quantidade de registros, superando 300 eventos anuais em diversos anos. Por outro lado, os anos mais recentes apresentam redução do número de observações disponíveis, refletindo limitações de cobertura temporal da base utilizada. Esse comportamento deve ser considerado na interpretação dos resultados, uma vez que diferenças na densidade amostral podem influenciar a representatividade estatística dos eventos extremos identificados.

Figura 2 - Quantidade de máximos anuais disponíveis por ano na base de dados



Fonte: elaboração própria com dados do SGB (2018).

3.2. Caracterização estatística dos máximos anuais

A Tabela 2 apresenta as principais estatísticas descritivas dos máximos anuais de precipitação diária agrupados por região brasileira. Foram analisados 19.804 eventos extraídos das séries históricas disponíveis no Atlas Pluviométrico do Brasil, permitindo uma caracterização abrangente da variabilidade espacial das chuvas extremas no território nacional.

Tabela 2 - Estatísticas descritivas dos máximos anuais de precipitação diária por região brasileira

Região	N (eventos)	Média (mm)	Mediana (mm)	DP (mm)	CV (%)	Máx. (mm)
Centro-Oeste	144	86,67	80,90	26,32	30,37	194,5
Nordeste	2.130	87,99	82,40	35,08	39,86	250,6
Norte	1.250	95,20	92,00	26,51	27,85	228,6
Sudeste	12.429	81,86	76,50	28,06	34,28	390,4
Sul	3.851	88,76	83,40	28,95	32,61	321,2

Fonte: elaboração própria com dados do SGB (2018).

Os resultados evidenciam diferenças regionais na magnitude e variabilidade das precipitações máximas diárias. A Região Norte apresentou os maiores valores de média (95,20 mm) e mediana (92,00 mm), indicando maior frequência de eventos intensos. Em contraste, o Sudeste registrou a menor média regional (81,86 mm), embora tenha apresentado o maior valor máximo observado na base de dados (390,4 mm).

A dispersão dos dados também variou entre as regiões. O Nordeste apresentou o maior coeficiente de variação (39,86%), indicando maior heterogeneidade dos eventos extremos, enquanto a Região Norte apresentou a menor variabilidade relativa (27,85%), sugerindo comportamento mais homogêneo das precipitações máximas.

De modo geral, os resultados indicam que, embora as regiões Norte e Nordeste apresentem maiores valores típicos de precipitação extrema, os eventos de maior magnitude absoluta concentram-se principalmente nas regiões Sudeste e Sul, onde foram registrados os maiores acumulados diários da série analisada.

3.3. Análise dos percentis regionais

A Tabela 3 apresenta os percentis P25, P50, P75, P90 e P95 das precipitações máximas diárias anuais para as cinco regiões brasileiras. Esses indicadores permitem avaliar não apenas a tendência central dos dados, mas também a distribuição dos eventos mais intensos, contribuindo para a compreensão da variabilidade regional das chuvas extremas.

Tabela 3 – Percentis dos máximos anuais de precipitação diária por região brasileira

Região	P25 (mm)	P50 (mm)	P75 (mm)	P90 (mm)	P95 (mm)
Centro-Oeste	67,40	80,90	99,62	128,15	139,44
Nordeste	63,00	82,40	107,00	137,61	152,60
Norte	76,43	92,00	110,00	130,42	145,10
Sudeste	63,60	76,50	93,90	115,00	132,76
Sul	68,70	83,40	102,50	125,90	143,20

Fonte: elaboração própria com dados do SGB (2018).

Os percentis evidenciam diferenças significativas na distribuição das precipitações máximas entre as regiões brasileiras. A Região Norte apresentou os maiores valores de P25, P50 e P75, indicando que, de forma geral, seus máximos anuais tendem a ocorrer em patamares mais elevados do que os observados nas demais regiões. Esse resultado reforça a influência do clima equatorial úmido e da elevada disponibilidade de umidade atmosférica sobre o regime pluviométrico da região.

Nos percentis superiores (P95), que representam os 5% eventos mais intensos, a Região Nordeste se destaca com o maior valor (152,60 mm), seguida pelas regiões Norte (145,10 mm) e Sul (143,20 mm). Esse padrão indica maior propensão a chuvas excepcionalmente severas no Nordeste e Sul, enquanto no Norte os eventos intensos, embora frequentes, apresentam magnitude máxima ligeiramente inferior.

Por outro lado, o Sudeste apresentou os menores valores para os percentis superiores, com P90 igual a 115,00 mm e P95 igual a 132,76 mm. Apesar disso, a região concentra os maiores extremos absolutos observados na base de dados, incluindo o maior de 390,4 mm registrado em Mongaguá (SP). Esse comportamento sugere uma distribuição mais heterogênea, caracterizada pela ocorrência de poucos eventos excepcionalmente intensos que se destacam em relação ao restante da série.

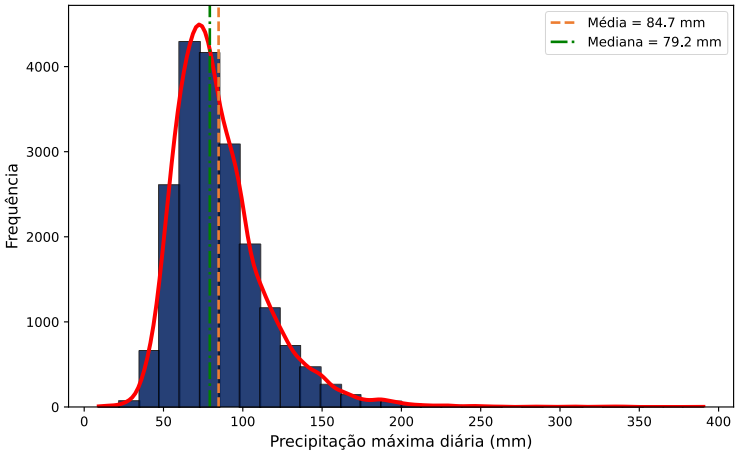
De modo geral, os resultados indicam que os eventos extremos de precipitação apresentam comportamentos distintos entre as regiões brasileiras. Enquanto Norte e Nordeste apresentam valores elevados ao longo de toda a distribuição, refletindo maior frequência de chuvas intensas, o Sudeste se destaca pela ocorrência de extremos absolutos mais severos, associados principalmente a condições atmosféricas favoráveis e aos efeitos orográficos presentes nas áreas litorâneas e serranas da região.

3.4. Distribuição das precipitações máximas anuais

A Figura 3 apresenta o histograma nacional dos máximos anuais de precipitação diária obtidos a partir das séries históricas analisadas. Observa-se uma distribuição assimétrica positiva, característica típica de variáveis hidrológicas extremas. A maior concentração dos eventos encontra-

se entre aproximadamente 60 mm e 110 mm, enquanto precipitações superiores a 200 mm representam uma parcela reduzida da amostra.

Figura 3 – Histograma dos máximos anuais de precipitação diária do conjunto de dados analisado



Fonte: elaboração própria com dados do SGB (2018).

A presença de uma longa cauda à direita evidencia a ocorrência de eventos raros de elevada magnitude, responsáveis pelos maiores valores observados na base de dados. Esse comportamento é compatível com a natureza das chuvas extremas, nas quais poucos eventos excepcionais exercem forte influência sobre a distribuição estatística.

3.5. Eventos extremos de precipitação

A Tabela 4 apresenta os maiores eventos de precipitação máxima diária identificados em cada região brasileira. Esses registros representam os valores extremos observados nas séries históricas analisadas e permitem identificar áreas com maior suscetibilidade à ocorrência de chuvas excepcionais.

Tabela 4 - Maiores eventos de precipitação máxima diária identificados em cada região brasileira

Região	Município	UF	Data	Precipitação (mm)
Centro-Oeste	Miranda	MS	21/05/1994	194,5
Nordeste	Xexéu	PE	03/05/2011	250,6
Norte	Castanhal	PA	12/06/2001	228,6
Sudeste	Mongaguá	SP	20/02/1980	390,4
Sul	Morretes	PR	12/03/2011	321,2

Fonte: elaboração própria com dados do SGB (2018).

Os resultados evidenciam forte concentração dos extremos absolutos nas regiões Sudeste e Sul. O maior registro de toda a base foi observado em Mongaguá (SP), onde foram registrados 390,4 mm em 20 de fevereiro de 1980. Outros eventos de elevada magnitude também foram identificados no litoral paulista, incluindo os municípios de Cananeia, Ilhabela, Ilha Comprida e Registro, todos com acumulados superiores a 300 mm.

Na Região Sul, destaca-se o evento registrado em Morretes (PR), que atingiu 321,2 mm em março de 2011. Já na Região Nordeste, os maiores acumulados ocorreram em áreas costeiras, com destaque para os municípios pernambucanos de Xexéu e Joaquim Nabuco, ambos associados ao episódio extremo de maio de 2011.

Na Região Norte, os maiores registros concentraram-se principalmente no estado do Pará, enquanto no Centro-Oeste os eventos mais intensos foram observados predominantemente no município de Miranda (MS).

Os resultados demonstram que os eventos extremos mais severos do Brasil tendem a ocorrer em áreas influenciadas pela elevada disponibilidade de umidade atmosférica, atuação de sistemas meteorológicos intensos e efeitos orográficos. Esse padrão é particularmente evidente ao longo da Serra do Mar e das áreas litorâneas das regiões Sudeste e Sul, onde a interação desses fatores favorece a ocorrência de precipitações excepcionais frequentemente associadas a enchentes, inundações bruscas e movimentos de massa.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise de 19.804 eventos de precipitação máxima diária provenientes de 533 estações do Atlas Pluviométrico do Brasil permitiu caracterizar a distribuição espacial e estatística das chuvas extremas nas cinco regiões brasileiras. Os resultados evidenciaram forte concentração da base de dados nas regiões Sudeste e Sul, enquanto Norte, Nordeste e especialmente Centro-Oeste apresentaram menor representatividade amostral.

Foram observadas diferenças regionais expressivas nos máximos anuais de precipitação. A Região Norte apresentou os maiores valores de tendência central, enquanto o Nordeste registrou os maiores percentis superiores e a maior variabilidade relativa. Por sua vez, os maiores extremos absolutos ocorreram nas regiões Sudeste e Sul, destacando-se o evento de 390,4 mm registrado em Mongaguá (SP).

Os resultados reforçam a necessidade de abordagens regionalizadas para a caracterização de chuvas extremas no Brasil e demonstram o potencial do Atlas Pluviométrico como ferramenta de

apoio a estudos hidrológicos, elaboração de curvas IDF, planejamento de infraestrutura e gestão de riscos associados a eventos hidrometeorológicos extremos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental (LARHENA–UFPB) pela ajuda no desenvolvimento deste artigo; à PROPESQ–UFPB pelo financiamento da pesquisa por meio de bolsa PIBIC (Edital 2025–2026) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental – PPGECAM-UFPB pelo incentivo à produção científica.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

GRIMM, A. M. Interannual climate variability in South America: impacts on seasonal precipitation, extreme events, and possible effects of climate change. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 25, p. 537-554, 2011. DOI: https://doi.org/10.1007/s00477-010-0420-1.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Divisão Regional do Brasil em Regiões Geográficas Imediatas e Intermediárias 2025*. Rio de Janeiro: IBGE, 2025.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 17, n. 1, p. 1-10, 2002.

NAGHETTINI, M.; PINTO, É. J. de A. *Hidrologia Estatística*. Belo Horizonte: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2007. 552 p.

PFAFSTETTER, O. *Chuvas intensas no Brasil*. Rio de Janeiro: DNOS – Departamento Nacional de Obras de Saneamento, 1957. 426 p.

Reboita, M. S., Rodrigues, M., Silva, L. F., & Alves, M. A. (2021). ASPECTOS CLIMÁTICOS DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Revista Brasileira De Climatologia, 17. https://doi.org/10.5380/abclima.v17i0.41493.

SGB – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. *Atlas Pluviométrico e Estudos de Chuvas Intensas*. Brasília: SGB, 2018. Disponível em: https://www.sgb.gov.br/atlas-pluviometrico-e-estudos-de-chuvas-intensas. Acesso em: 02 de fevereiro de 2026.