

# AS CHUVAS DE RELEVO: UM LEVANTAMENTO BIBLIOMÉTRICO SOBRE O TEMA NO MUNDO E NO BRASIL

*The orogenetic rains: a bibliometric survey on the theme in the world and Brazil*

## **Bruno César dos Santos**

Doutor Ciências da Engenharia Ambiental, EESC/USP, São Carlos/SP, Brasil

[bruno-unifal@hotmail.com](mailto:bruno-unifal@hotmail.com)

## **Rafael Grecco Sanches**

Doutor Ciências da Engenharia Ambiental, EESC/USP, São Carlos/SP, Brasil

[rafagsanches@alumni.usp.br](mailto:rafagsanches@alumni.usp.br)

## **Rodrigo Martins Moreira**

Doutor Ciências da Engenharia Ambiental, UNIR, Ji-Paraná/RO, Brasil

[rodrigo.moreira@unir.br](mailto:rodrigo.moreira@unir.br)

## **Vandoir Bourscheidt**

Doutor Geofísica Espacial, UFSCar, São Carlos/SP, Brasil

[vandoir@ufscar.br](mailto:vandoir@ufscar.br)

## **Paulo Henrique de Souza**

Doutor Ciências da Engenharia Ambiental, UNIFAL-MG, Alfenas/MG, Brasil

[paulohenrique.souza@unifal-mg.edu.br](mailto:paulohenrique.souza@unifal-mg.edu.br)

Recebido: 01.06.2023

Aceito: 12.08.2023

## **Resumo**

A topoclimatologia é uma área de estudo que busca entender como as características topográficas de uma determinada região podem afetar o clima local. Por essa razão, muitas pesquisas científicas buscam compreender como a morfologia do relevo influencia a temperatura, a circulação dos ventos e a precipitação em uma determinada área. Este artigo tem como objetivo levantar o progresso da pesquisa sobre chuva orográfica no mundo e no Brasil. Os principais métodos de pesquisa para este estudo incluem análise bibliométrica consultando os termos “orographic” e “complex terrain” encontrados em trabalhos sobre essa temática para filtrar e obter um maior alcance no levantamento bibliográfico abrangendo o desempenho das publicações, características dos periódicos relacionados, países, instituições e autores. Os resultados mostraram que a palavra “orographic” é mais usada pela comunidade científica do que a palavra “complex terrain” nos estudos sobre chuva orográfica no mundo e no Brasil. Os países com maior quantidade de trabalhos na temática são os EUA e a China. No Brasil, a quantidade de trabalhos encontrados sobre esse tema pelo uso das palavras-chaves é pequena. A Universidade de São Paulo e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais são as instituições brasileiras que contém o maior número de trabalhos encontrados na plataforma da Scopus. Entende-se que a presente pesquisa tem o potencial de fornecer informações valiosas para a comunidade científica brasileira envolvida nesse campo, estimulando

parcerias acadêmicas para a geração de novos estudos e direcionando pesquisas futuras no país, que ainda apresenta uma produção limitada nessa temática.

**Palavras-chave:** Climatologia; Tipos de chuva; Orografia; Revisão bibliográfica; Scopus;

### **Abstract**

Topoclimatology is an area of study that seeks to understand how the topographic characteristics of a given region can affect the local climate. For this reason, many scientific studies seek to understand how the relief morphology influences the temperature, wind circulation and precipitation in a given area. This article aims to survey the progress of research on orographic rainfall in the world and Brazil. The main research methods for this study include bibliometric analysis by consulting the terms “orographic” and “complex terrain” found in works on this subject to filter and obtain a greater reach in the bibliographic survey covering the performance of publications, characteristics of related journals, countries, institutions and authors. The results showed that the scientific community uses the word “orographic” more than “complex terrain” in studies on orographic rainfall worldwide and in Brazil. The countries with the greatest work on the subject are the USA and China. In Brazil, the amount of work found on this topic using keywords is small. The University of São Paulo and the National Institute for Space Research are the Brazilian institutions with the largest number of works on the Scopus platform. It is understood that this research has the potential to provide valuable information to the Brazilian scientific community involved in this field, stimulating academic partnerships to generate new studies and directing future research in the country, which still has limited production in this area.

**Keywords:** Climatology; Types of rain; Orography; Literature review; Scopus.

---

## **1. INTRODUÇÃO**

As chuvas são um processo de precipitação da água que se manifesta pela transformação do seu estado físico-químico, recaindo sobre os solos em diferentes formas. Parte desse processo muitas vezes não origina precipitações, porque as gotículas e cristais de gelo que se formam nas nuvens na atmosfera não alcançam tamanho suficiente para suprir o impulso das correntes de ar ascendentes que as mantêm em suspensão ou na superfície (ROE, 2005). Portanto, as nuvens são, conseqüentemente, a principal fonte de chuvas na maior parte desse processo de transformação físico-química da água.

Algumas condições são necessárias para que ocorram nuvens precipitantes, como a ascensão do ar e seu resfriamento, a condensação do vapor d'água e a formação de nuvens, a grande concentração de umidade e, por último, o crescimento das gotas d'água na nuvem (VAREJÃO-SILVA, 2000).

Para a compreensão dos mecanismos responsáveis pela ocorrência da precipitação, é necessário entender a dinâmica entre o oceano, a atmosfera e a superfície na gênese

dos sistemas atmosféricos produtores de chuva ao longo do planeta. Dessa maneira, essa interação pode resultar em diferentes tipos de chuva, como as frontais ou frontogenéticas, a precipitação por convergência, a precipitação convectiva e a precipitação orográfica ou orogenética.

Os tipos de chuva reafirmam o processo dinâmico da atmosfera, juntamente com a determinação na variação pluviométrica expressada em médias anuais, mensais e diárias, e em períodos secos ou períodos úmidos, além de sua frequência, intensidade, tendências, entre outros fatores que provocam mudanças nas dinâmicas das chuvas (HALLAK; PEREIRA FILHO, 2011; LIU, 2004; ROE, 2005; SELUCHI *et al.*, 2016).

Entre os três tipos de chuva, vale ressaltar que existem apenas dois tipos (frontal e convectiva), pois são resultantes da dinâmica dos sistemas atmosféricos no processo de ocorrência dessas precipitações. Segundo Houze (2012), o termo "chuva orográfica" é enganoso, pois são os eventos climáticos que produzem precipitação e não a topografia da Terra a causa da precipitação atmosférica. Para o autor, a terminologia mais adequada para esse processo é "efeitos orográficos em nuvens precipitadas".

Portanto, a orografia pode influenciar as precipitações do tipo frontal e convectiva, uma vez que essa influência pode ser representada pela alteração na velocidade dos ventos, forçando-as a se elevar e se resfriar pela exposição de seus flancos, formando células convectivas em períodos de verão, devido à intervenção do relevo juntamente com a atuação das massas de ar úmido (BARROS; ARULRAJ, 2020; HOUZE, 2012; ROE, 2005).

Por meio dessas dinâmicas, as chuvas podem sofrer alterações ou reorganizações de um dos três principais tipos de tempestade (nuvens convectivas, sistemas frontais e ciclones tropicais) quando encontram características topográficas sobre o caminho de sua trajetória (CARVALHO *et al.*, 2004; HOUZE, 2012).

Chuvas orográficas intensas ocorrem em diversas partes do planeta Terra, como, por exemplo, na América do Norte, sobre as Montanhas Rochosas (KINGSMILL *et al.*, 2006; SMITH *et al.*, 2011); na América do Sul, sobre a Cordilheira dos Andes (SCHILDGEN *et al.*, 2022; ROSALES *et al.*, 2022); na Europa, sobre os Alpes (FURCOLO *et al.*, 2016; FORMETTA *et al.*, 2022; ABBATE *et al.*, 2022); na Ásia, sobre a Cordilheira do Himalaia (TAHIR *et al.*, 2015; MISHRA *et al.*, 2022; REGMI; BOOKHAGEN, 2022); nos Alpes localizados ao sul da Nova Zelândia (PURDY; AUSTIN, 2003; UMMENHOFER; ENGLAND, 2007; CALOIERO, 2014) e nas cadeias montanhosas da África (RAGHAVENDRA *et al.*, 2022; NAKULOPA *et al.*, 2022).

No Brasil, a orografia também exerce influência devido às suas características geomorfológicas capazes de influenciar na dinâmica da circulação atmosférica, como, por exemplo, dificultando o avanço das massas polares vindas do Sul sobre o continente ou desviando-as em direção ao Oceano Atlântico. Além disso, toda essa barreira natural de serras sofre influência dos ventos úmidos vindos do Oceano Atlântico para o continente, o que contribui para a formação de chuvas orográficas sobre a face desse relevo orientado para o Atlântico Sul.

Alguns trabalhos foram realizados com o objetivo de compreender os efeitos orográficos nas chuvas nas regiões Sul (RODRIGUES; YNOUE, 2016; FORGIARINI *et al.*, 2013; TERASSI *et al.*, 2022; NASCIMENTO *et al.*, 2021), Sudeste (PELLEGATTI; GALVANI, 2010; CÂNDIDO; NUNES, 2008; TAVARES *et al.*, 1985; TAVARES; FERREIRA, 2020; PEREIRA *et al.*, 2022; SANTOS *et al.*, 2020 e 2021) e Nordeste (UVO; BERNDTSSON, 1996; LYRA *et al.*, 2014) do território brasileiro.

Diante disso, todos esses estudos trazem contribuições significativas por meio de técnicas ou ferramentas geoestatística que possam contribuir para o entendimento da gênese das chuvas entre os sistemas atmosféricos e sua interação com o relevo.

Apesar da relevância de um campo tão importante, poucos artigos se propuseram a sintetizar o progresso da pesquisa nesse assunto, abordando de maneira abrangente os principais temas, métodos, autores e instituições envolvidos. Nesse contexto, torna-se relevante realizar uma revisão completa da literatura relacionada às chuvas de relevo, utilizando a metodologia de análise bibliométrica.

A fim de abordar essa questão, foi realizada uma análise bibliométrica que identificou os termos mais frequentemente empregados, seguida de uma avaliação da quantidade de estudos orográficos sobre as chuvas, tanto em escala global quanto nacional.

## **2. MÉTODOS**

Neste estudo, foi feito um levantamento bibliométrico para avaliar os resultados já disponíveis no campo da chuva orográfica, com base no banco de dados Scopus®. A análise abrange métricas bibliométricas, identificação dos principais colaboradores em pesquisas sobre o assunto e uma discussão dos trabalhos de pesquisa mais relevantes divulgados.

## 2.1. Levantamento bibliométrico sobre chuvas orográficas

Para realizar um levantamento qualitativo e quantitativo sobre chuvas orográficas, foi realizado um estudo bibliométrico consultando os principais termos e estudos realizados no mundo e no Brasil. Para isso, utilizou-se a plataforma Scopus®, que é uma plataforma consolidada de pesquisas científicas. Essa plataforma se integra diretamente à plataforma Periódicos Capes, permitindo acesso aberto a um amplo leque de periódicos para pesquisadores brasileiros. O sistema possui uma ampla gama de dados, mais do que outras fontes digitais como a Science® e a Science Direct®.

Dessa forma, foram utilizados os principais termos encontrados em trabalhos sobre essa temática para filtrar e obter um maior alcance no levantamento bibliográfico relacionado ao tema da pesquisa.

A pesquisa bibliográfica começou inserindo as seguintes palavras-chave no Scopus®:

- TITLE-ABS-KEY ("orographic" AND "rainfall" OR "precipitation") e ("complex terrain" AND "rainfall" OR "precipitation");
- LIMIT-TO AFFILCOUNTRY ("World" AND "Brazil");

Para verificar a constância de termos em títulos e resumos, a correlação entre autores e palavras chaves mais citadas dentro do estado da arte, utilizou-se o *software* VOSviewer versão 1.6.15 CWTS (2020). O *software* foi desenvolvido para criar parâmetros de relação entre os dados bibliográficos e de textos das publicações.

Para tanto, estabeleceu-se um critério por meio de recursos de busca, filtros, gráficos e tabelas disponíveis no software supracitado. Foi possível obter um panorama sobre o estado da literatura, quantificando o número de publicações por ano, a contribuição de cada país, os principais autores, as revistas que abordaram o tema, o tipo de publicação e os trabalhos mais citados sobre chuvas orográficas no mundo e no Brasil.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

No total, foram filtrados 5060 documentos sobre o assunto em questão até dezembro de 2022. Diante disso, as palavras-chave utilizadas para busca bibliométrica e a quantidade de documentos encontrados são mostradas na Tabela 1 a seguir.

**Tabela 1:** Palavras-chaves utilizadas para a busca bibliométrica.

<b>TITLE-ABS-KEY</b>	<b>LIMIT-TO AFFILCOUNTRY</b>	<b>TOTAL</b>
orographic AND rainfall OR precipitation	World	3.212
complex terrain AND rainfall OR precipitation		1.784
<b>TITLE-ABS-KEY</b>	<b>LIMIT-TO AFFILCOUNTRY</b>	<b>TOTAL</b>
orographic AND rainfall OR precipitation	Brazil	44
complex terrain AND rainfall OR precipitation		20

**Fonte:** Scopus (2022).

Nota-se que, entre as palavras-chave, o termo "orographic" possui uma quantidade de trabalhos superior à do termo "complex terrain", tanto em nível mundial quanto nacional. Além disso, a quantidade de trabalhos encontrados no Brasil apresenta um número reduzido de estudos sobre a temática da chuva orográfica realizados ao longo do território brasileiro. Dessa maneira, uma análise mais detalhada sobre os trabalhos no mundo e no Brasil é apresentada nas sessões a seguir.

### 3.1. Bibliometria dos principais trabalhos de chuva orográfica no mundo

As Figuras 1 e 2 resumem, separadamente, por meio de gráficos e tabelas, os resultados encontrados entre as palavras-chave "orographic" e "complex terrain" a nível global (Mundo), dividido por ano, periódico, país, autor, tipo de publicação e os trabalhos mais citados.

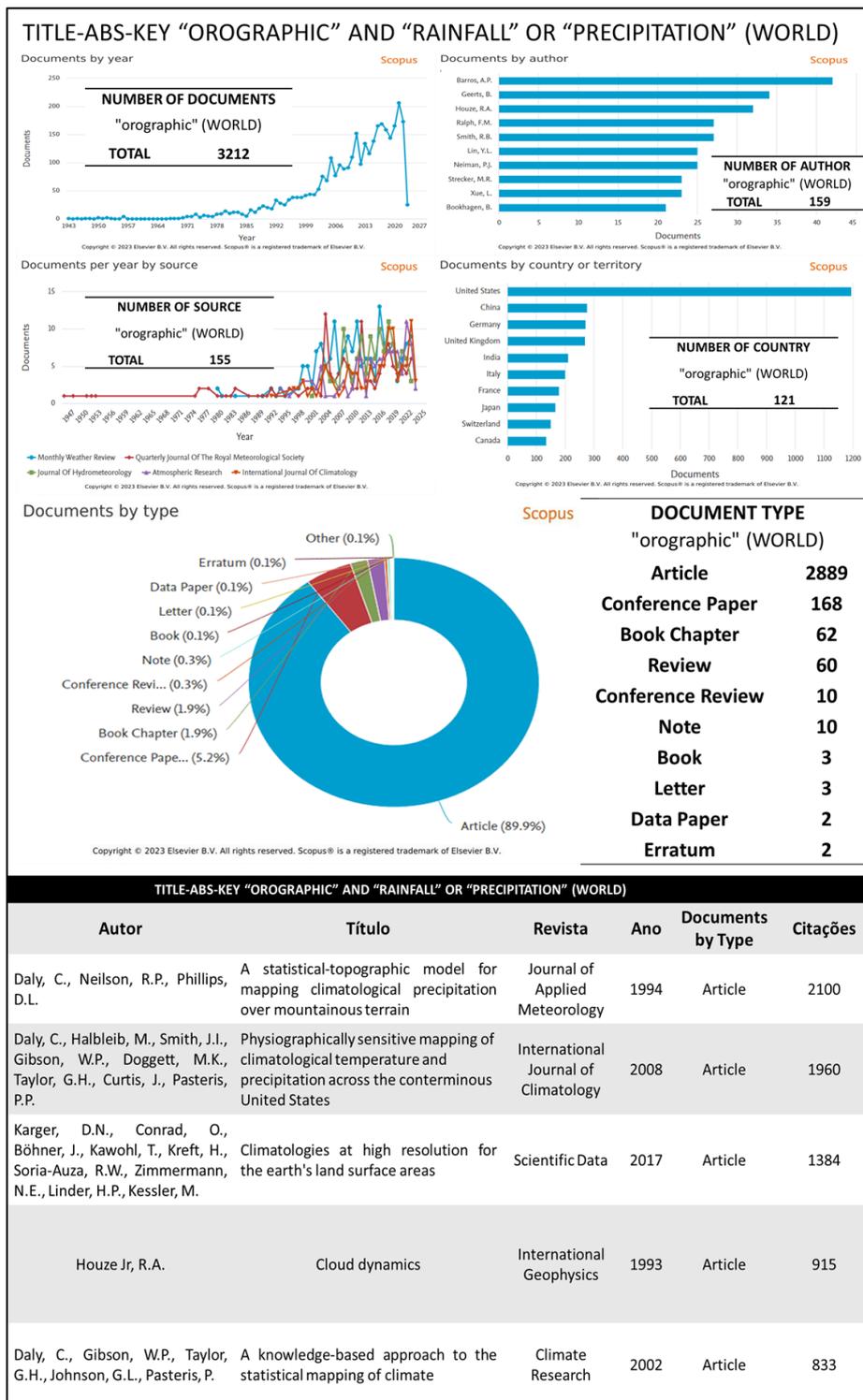
#### 3.1.1. Orographic

Em relação à evolução temporal do uso da palavra "orographic" por ano, o número de documentos teve um aumento exponencial a partir de 1985, chegando ao máximo de 200 trabalhos no ano de 2020, que utilizaram o termo "orographic" no meio científico.

Quanto aos periódicos do Top 5, a evolução temporal mostrou um aumento de trabalhos que utilizam o termo "orographic" a partir de 1998 para todos os periódicos. No entanto, o periódico "Monthly Weather Review", seguido do periódico "Quarterly Journal Of The Royal Meteorological Society" e do "Journal Of Hydrometeorology", foram os periódicos que mais tiveram o termo "orographic" utilizado em seus trabalhos publicados.

Entre os resultados do Top 10 dos autores que mais utilizaram o termo "orographic" em seus estudos, o primeiro lugar foi ocupado por "Barros, A. P." com mais de 40

trabalhos, seguido por "Geerts, B." em segundo lugar, e "Houze, R. A." em terceiro, ambos com mais de 30 trabalhos (Figura 1).



**Figura 1** - Gráficos bibliométricos utilizando a palavra-chave "orographic" no mundo. a) Evolução temporal do número de artigo publicados no período de 1943-2022. b) Evolução temporal do número de trabalhos publicados entre as cinco maiores revistas, no período de 1947-2022. c) Comparação do número de trabalhos publicados entre os dez maiores autores. d) Os dez países com maior número de trabalhos publicados. e) Tipo de documento mais publicado. f) Os cinco trabalhos mais citados. **Fonte:** Scopus (2022).

Para os países líderes em publicações, o que mais utilizou o termo "orographic" foram os Estados Unidos da América, com um total acima de 1100 documentos, seguidos pela Alemanha, Reino Unido e China, com um total acima de 200 documentos cada. Dos 3212 trabalhos encontrados na base da Scopus, aproximadamente 90% estão publicados na forma de artigo científico (2889), enquanto os outros 10% estão distribuídos em forma de conference paper, book chapter, review, conference review, note, book, letter, data paper e erratum. Por fim, a tabela na parte inferior da Figura 1 mostra os cinco trabalhos mais citados pela comunidade científica internacional, com mais de 833 citações.

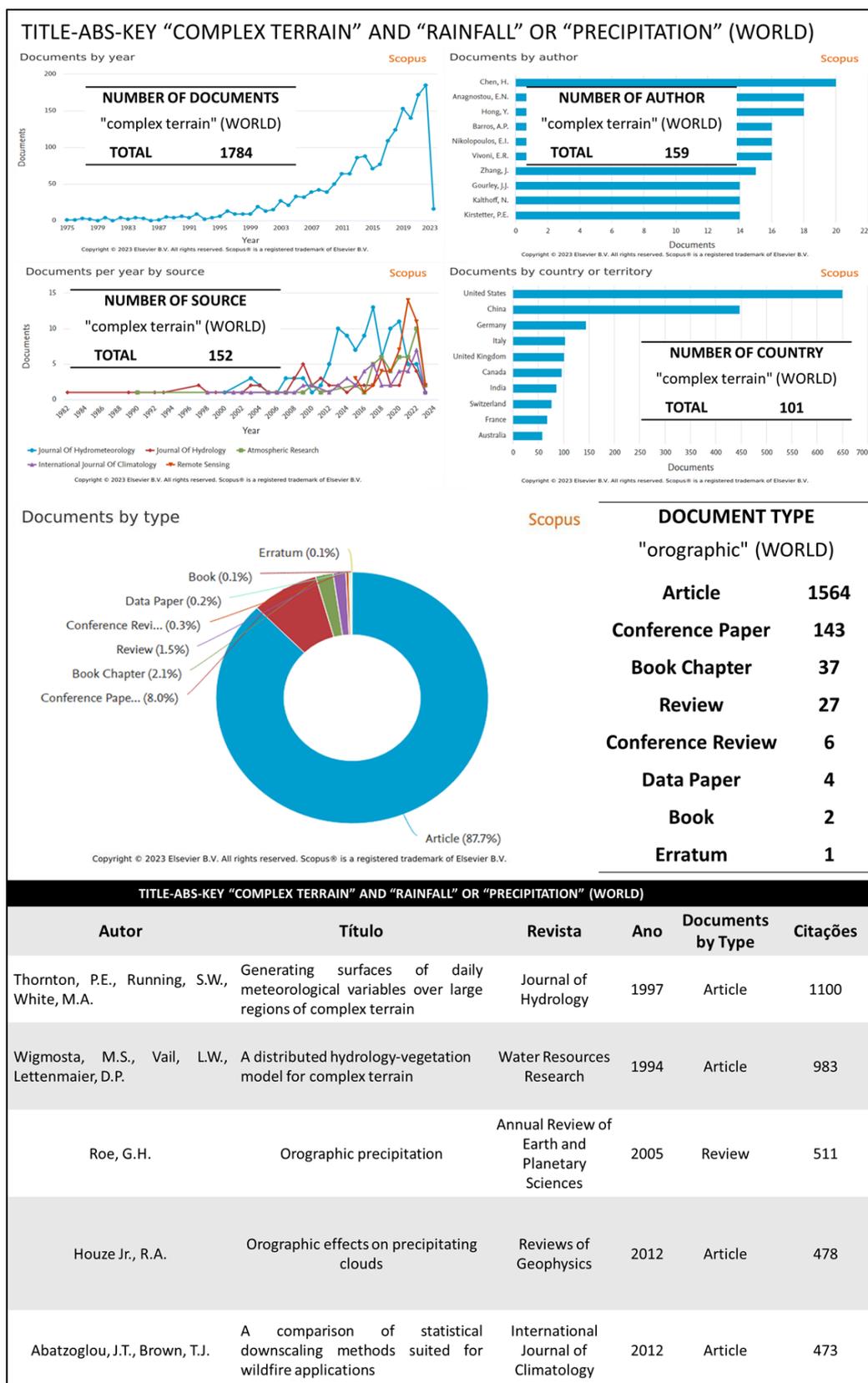
### 3.1.2. Complex terrain

Já para a evolução temporal do uso da expressão "complex terrain" por ano, o número de documentos teve um aumento exponencial a partir de 1995, chegando a um total máximo de 125 trabalhos no ano de 2022, que utilizaram o termo "complex terrain" no meio científico.

No caso dos periódicos do Top 5, a evolução temporal mostrou que a partir de 2010, o periódico "Journal Of Hydrometeorology" foi o que mais apresentou o termo "complex terrain" em seus trabalhos publicados, especialmente no ano de 2017 (com mais de 10 trabalhos). Em seguida, vieram os periódicos "Journal of Hydrology", "International Journal of Climatology", "Journal of Applied Meteorology and Climatology" e, por último, o "Journal Of Geophysical Research Atmospheres", com trabalhos (abaixo de 5) que utilizaram o termo "complex terrain".

Entre os resultados dos top 10 autores que mais utilizaram a expressão "complex terrain" em seus estudos, destacam-se "Anagnostou, E. N." seguido de "Hong, Y.", com um total de 17 trabalhos. Para os países que mais utilizaram a expressão "complex terrain", destacam-se novamente os Estados Unidos da América, com um total superior a 450 documentos, seguidos pela China, com mais de 200 documentos, e depois a Alemanha, com aproximadamente 100 documentos.

Dos 1784 trabalhos encontrados na base da Socups, cerca de 88% estão publicados na forma de artigo científico (1564), enquanto os outros 12% estão distribuídos entre conference paper, book chapter, review, conference review, data paper, book e erratum. Por fim, a tabela na parte inferior da Figura 2 mostra os cinco trabalhos mais citados pela comunidade científica internacional, com mais de 473 citações.



**Figura 2** - Gráficos bibliométricos utilizando a palavra-chave “complex terrain” no mundo. a) Evolução temporal do número de artigo publicados no período de 1975-2022. b) Evolução temporal do número de trabalhos publicados entre as cinco maiores revistas, no período de 1990-2022. c) Comparação do número de trabalhos publicados entre os dez maiores autores. d) Os dez países com maior número de trabalhos publicados. e) Tipo de documento mais publicado. f) Os cinco trabalhos mais citados. **Fonte:** Scopus (2022).

Em suma, o termo "orographic" é o mais utilizado em trabalhos publicados no mundo, comparado com o termo "complex terrain", mas ambos apresentaram os EUA como líder das publicações que usam ambos termos. Em 2022, aproximadamente 200 trabalhos utilizaram o termo "orographic" e 125 usaram "complex terrain". O autor Barros, A. P. foi o que mais utilizou o termo "orographic", enquanto os autores Anagnostou, E. N. e Hong, Y. foram os que mais utilizaram o termo "complex terrain".

Entre os periódicos, o que mais citou o termo "orographic" em seus trabalhos publicados foi o periódico "Monthly Weather Review", e para o termo "complex terrain", foi o periódico "Journal Of Hydrometeorology". O tipo de publicação mais comum que utilizou os termos "orographic" e "complex terrain" foram artigos científicos. Por fim, o trabalho mais citado no mundo que utilizou o termo "orographic" foi "A statistical-topographic model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain", e o mais citado que utilizou "complex terrain" foi "Generating surfaces of daily meteorological variables over large regions of complex terrain".

### **3.2. Bibliometria dos principais trabalhos de chuva no Brasil**

As Figuras 3 e 4 resumem separadamente, por meio de gráficos e tabelas, os resultados encontrados entre as palavras-chaves "orographic" e "complex terrain" a nível nacional (Brasil), divididos por ano, periódico, país, autor, tipo de publicação e os trabalhos mais citados.

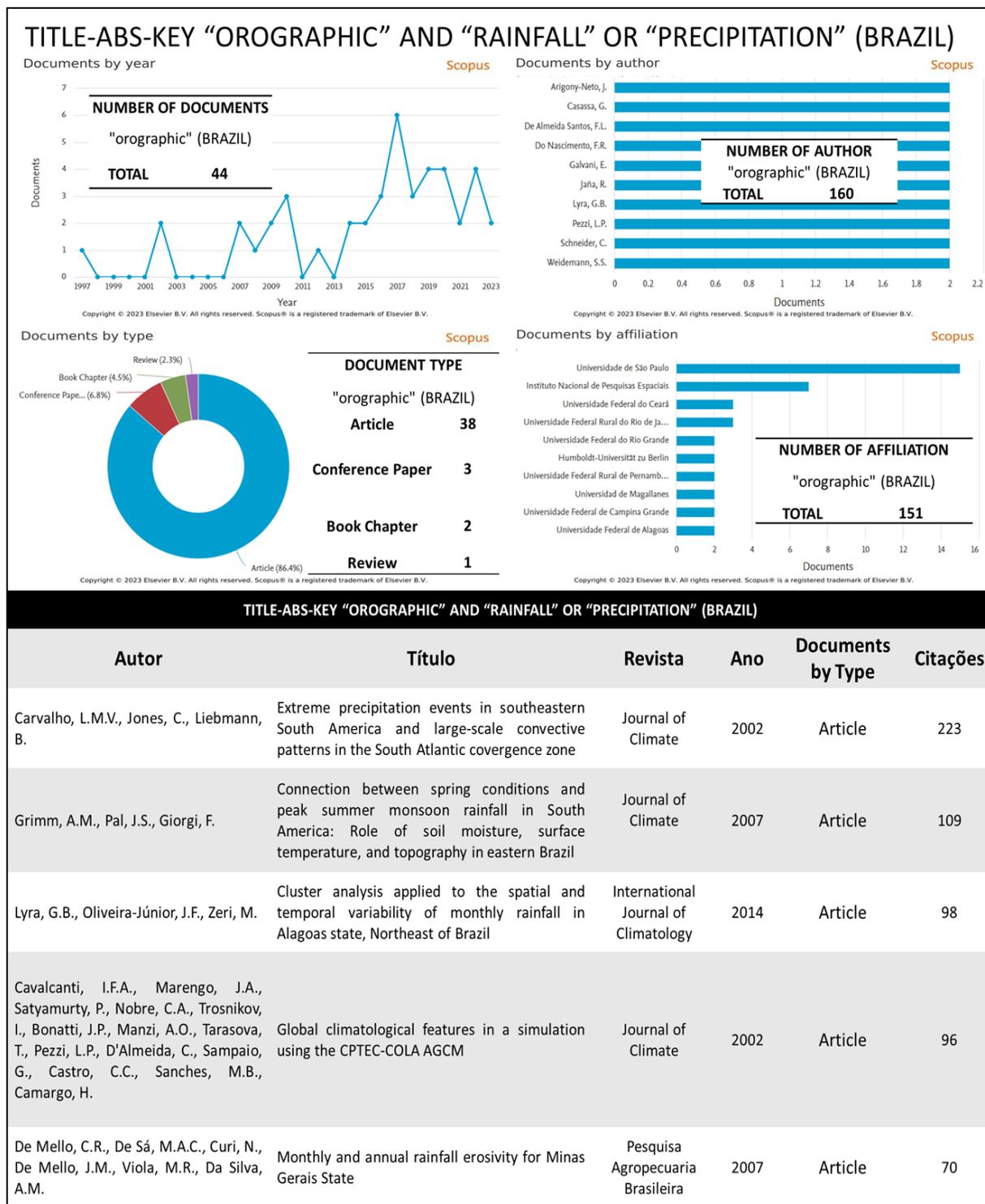
#### **3.2.1. Orographic**

Entre a evolução temporal do uso da palavra "orographic" por ano, observou-se, no período de 1997 até 2023, um total de 44 trabalhos que utilizaram o termo "orographic" no meio científico.

O ano de 2017 apresentou a maior quantidade de trabalhos ao longo de 22 anos. No que diz respeito aos resultados dos dez principais autores que mais utilizaram o termo "orographic" em seus estudos, destacam-se "Arigony-Neto, J.", seguido por "Casassa, G.", "De Almeida Santos, F. L.", "Do Nascimento, F. R.", "Jaña, R.", "Schneider, C." e "Weidmann, S. S.", todos com um total de 2 trabalhos.

A instituição brasileira com maior número de trabalhos que utilizaram o termo "orographic" foi a Universidade de São Paulo (USP), com mais de 14 trabalhos. Dos 44 trabalhos encontrados na base da Socups, aproximadamente 87% estão publicados em

forma de artigo científico (38), enquanto os outros 13% estão distribuídos em forma de comunicações em conferências, capítulos de livros e revisões. Por fim, a tabela na parte inferior da Figura 3 apresenta os cinco trabalhos brasileiros mais citados pela comunidade científica.



**Figura 3** - Gráficos bibliométricos utilizando a palavra-chave "orographic" no Brasil. a) Evolução temporal do número de artigo publicados no período de 1997-2022. b) Comparação do número de trabalhos publicados entre os dez maiores autores. c) As dez instituições com maior número de trabalhos publicados. d) Tipo de documento mais publicado. e) Os cinco trabalhos mais citados. **Fonte:** Scopus (2022).

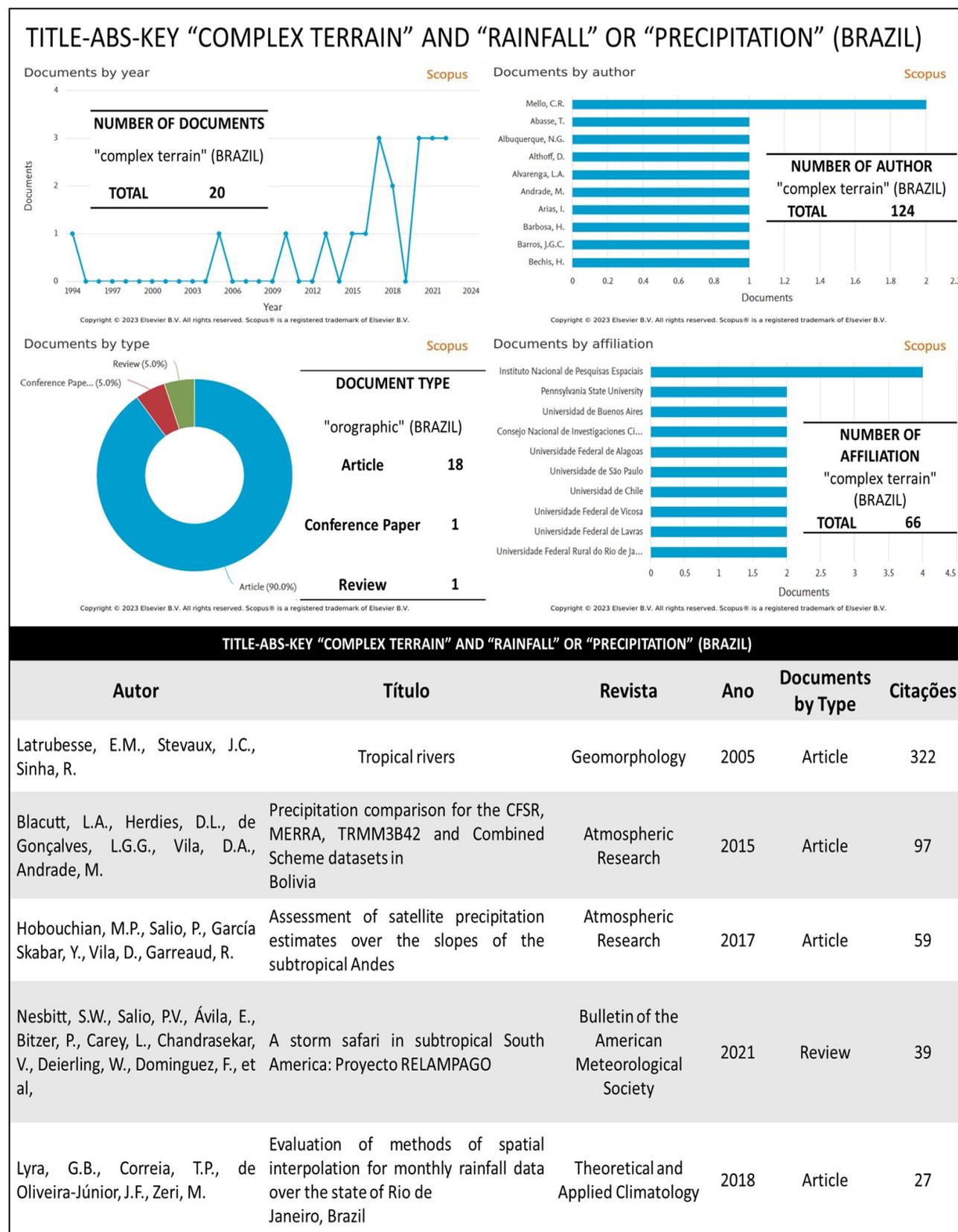
### 3.2.2. Complex terrain

Entre a evolução temporal do uso da expressão "complex terrain", ocorreram, de 2013 a 2022, apenas 13 trabalhos que fizeram uso desse termo no meio científico nacional. Já nos anos de 2021 e 2022, foram os períodos que apresentaram a maior quantidade de trabalhos ao longo de 9 anos.

Dentre os resultados do top 10 dos autores que mais utilizaram a expressão "complex terrain" em seus estudos, destaca-se "Mello, C. R." com um total de 2 trabalhos. Por último, a instituição brasileira com o maior número de trabalhos que utilizaram a expressão "complex terrain" foi o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), com um total de mais de 4 trabalhos. Dos 20 trabalhos encontrados na base da Socups, aproximadamente 90% foram publicados em forma de artigo científico (18), enquanto os outros 10% estão distribuídos entre conference papers e revisões. Por fim, a tabela localizada na parte inferior da figura apresenta os cinco trabalhos mais citados pela comunidade científica.

Em suma, o termo "orographic" também é o mais utilizado em trabalhos publicados no Brasil, comparado com o termo "complex terrain". Em 2023, a quantidade de trabalhos usando o termo "complex terrain" foi superior àqueles que utilizaram "orographic" como termo. O autor "Arigony-Neto, J" foi o que mais utilizou o termo "orographic", enquanto o autor "Mello, C. R." foi o que mais utilizou o termo "complex terrain".

Entre as instituições, a USP apresenta a maior quantidade de trabalhos que utilizaram o termo "orográfico", enquanto o INPE é a instituição com mais trabalhos que usaram "complex terrain" como termo. O tipo de publicação mais encontrado ao utilizar os termos "orographic" e "complex terrain" são artigos científicos. Por fim, o trabalho mais citado no Brasil utilizando o termo "orographic" foi " Extreme precipitation events in southeastern South America and large-scale convective patterns in the South Atlantic covergence zone", enquanto o mais citado utilizando "complex terrain" foi " Tropical rivers".



**Figura 4** - Gráficos bibliométricos utilizando a palavra-chave “complex terrain” no Brasil. a) Evolução temporal do número de artigo publicados no período de 2013-2022. b) Comparação do número de trabalhos publicados entre os dez maiores autores. c) As dez instituições com maior número de trabalhos publicados. d) Tipo de documento mais publicado. e) Os cinco trabalhos mais citados.

Fonte: Scopus (2022).

## 4. OS ESTUDOS DE CHUVA OROGRÁFICA MAIS CITADOS REALIZADOS NO BRASIL

Buscando trazer uma análise mais detalhada dos trabalhos desenvolvidos no Brasil, foi realizada uma seleção dos cinco trabalhos (autores, título, revista e ano de publicação) mais citados ( $n^\circ$ ) encontrados na base do Scopus (64 trabalhos), que utilizaram as palavra-chave “orographic” (44 trabalhos) ou “complex terrain” (20 trabalhos) em seus estudos realizados no Brasil. A partir desses trabalhos, foram realçados os principais pontos no texto que analisaram a influência da orografia nas chuvas em seus estudos.

### 4.1. Os cinco estudos mais citados utilizando o termo orographic

#### 4.1.1. Extreme precipitation events in southeastern south America and large-scale convective patterns in the south Atlantic convergence zone

O primeiro trabalho mais citado (citado 223 vezes) investigou a relação entre eventos extremos de precipitação em São Paulo e a convecção profunda da ZCAS no Oceano Atlântico, além de examinar o papel das feições orográficas de acordo com a variação das altitudes (“Litoral e Serra do Mar, Mantiqueira, Planalto, Baixo Planalto e Vale do Paraná”), na distribuição e variação regional da precipitação média anual, que apresenta um decréscimo desde o litoral ( $>2.000$  mm) até o vale do Paraná ( $<1.000$  mm).

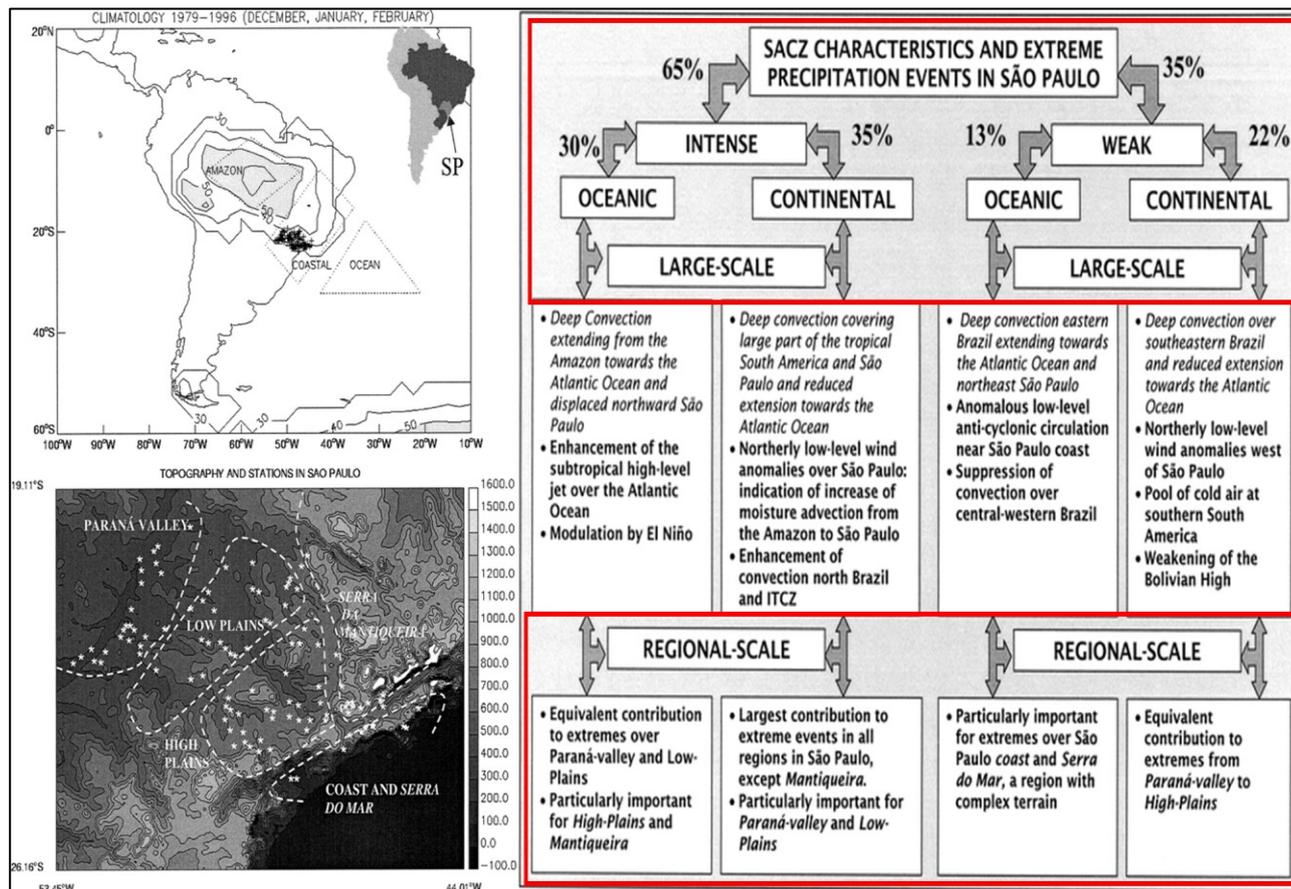
Na Figura 5, os autores categorizaram dois eventos da ZCAS (intenso e fraco) mostrando suas características dinâmicas (atmosfera-oceano-continente) em larga escala e os respectivos impactos na ocorrência regional dos eventos extremos de precipitação sobre as feições orográficas do estado de São Paulo.

Em resumo (Figura 5), os autores categorizaram dois eventos de ZCAS (intenso e fraco) da seguinte forma:

#### SACZ intenso

- **Oceânico:** A distribuição regional dos dias com eventos extremos associados ao padrão oceânico intenso indica uma contribuição relativamente uniforme no vale do Paraná e nas baixadas, representando 27% das ocorrências em ambas as regiões. A contribuição aumenta nas planícies altas, chegando a 38%, mas diminui em direção à costa, com apenas 21% das ocorrências. Essas características podem ser resultado de anomalias de vento de oeste de baixo nível sobre São Paulo, o que aumenta a

advecção de umidade da bacia amazônica. É importante destacar o notável aumento do número de dias com precipitação extrema na região da Mantiqueira.



**Figura 5** – (A esquerda) Climatologia de frequência da radiação de onda longa (OLR) para 1979–96 (DJF). As linhas pontilhadas especificam as regiões onde há atividade convectiva tropical associada à ZCAS sobre a topografia do estado de São Paulo. Linhas tracejadas e legendas indicam as principais feições orográficas de São Paulo. (A direita) Resumo das características da ZCAS em grande escala e regional junto com a ocorrência de eventos extremos de precipitação em São Paulo.

**Fonte:** Adaptado Carvalho *et al.*, (2002).

- Continental:** Esta categoria é caracterizada pela predominância de atividade convectiva profunda sobre São Paulo, o que contribui de forma uniforme para o número de eventos extremos em todas as regiões, exceto nas áreas da Mantiqueira, onde nenhum evento extremo foi registrado nesse padrão. É importante ressaltar o aumento do número de eventos na região do vale do Paraná em comparação com outras categorias. A presença da anomalia ciclônica de baixo nível na América do Sul central pode ser um fator relevante para o aumento da precipitação intensa no oeste de São Paulo.

## SACZ fraco

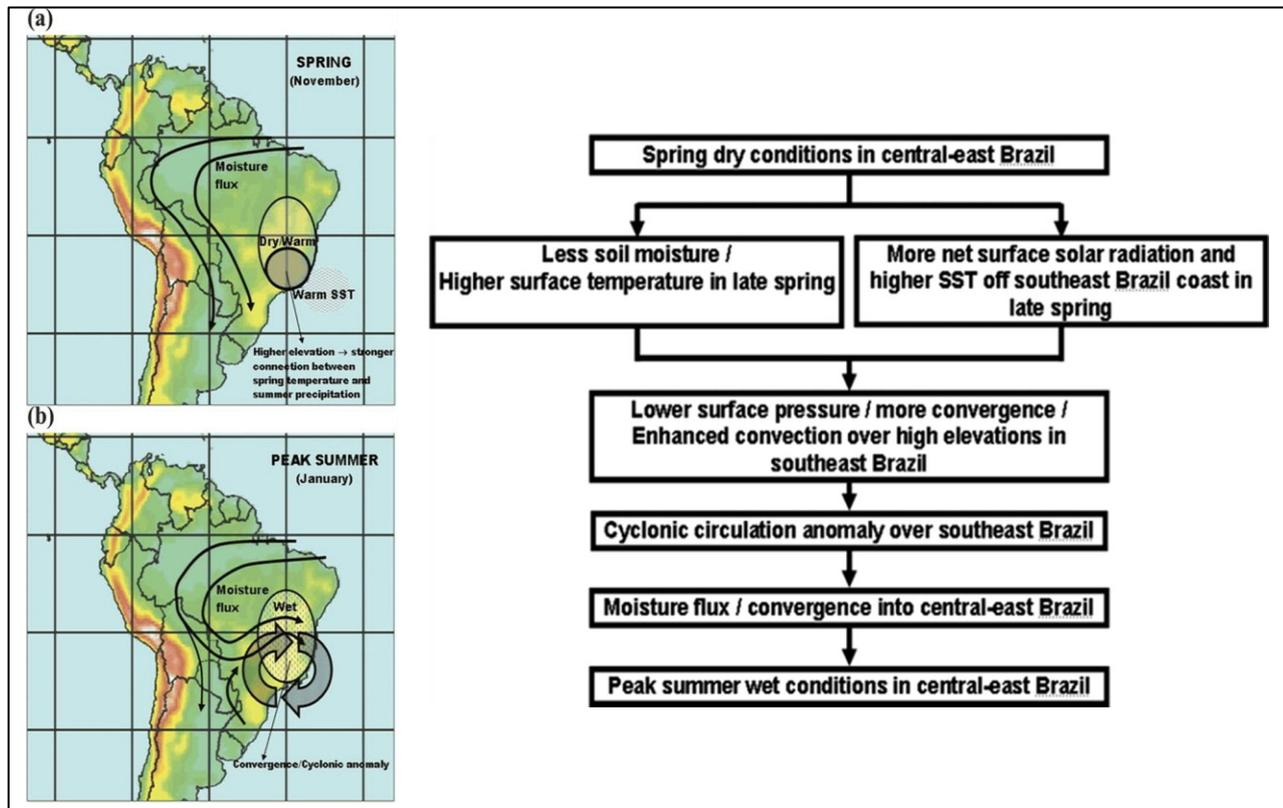
- **Oceânico:** Nesta categoria, é registrado um aumento no número de eventos climáticos extremos na região que abrange o oeste de São Paulo, o litoral e a Serra do Mar. Embora a atividade convectiva na Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) seja fraca e restrita em grande parte da América do Sul, ela apresenta um aumento significativo na costa leste de São Paulo. Essa configuração é coerente com o aumento da ocorrência de eventos climáticos extremos de precipitação nessa região.
- **Continental:** Esta categoria mostra que a contribuição do vale do Paraná é quase tão importante para as planícies altas em São Paulo quanto o padrão oceânico intenso é para o vale do Paraná e planícies baixas. O aumento dos ventos de baixo nível do norte dos Andes orientais, e o transporte de umidade da Amazônia para o nordeste do Paraguai (a região conhecida como baixo do Chaco), são aspectos cruciais para o desenvolvimento de complexos convectivos de mesoescala (MCC) na América do Sul. Quando as condições são favoráveis, algumas trajetórias do MCC podem chegar a São Paulo e potencialmente causar eventos extremos de precipitação, especialmente do vale do Paraná ao planalto.

Diante disso, devido à sua influência em uma ampla área geográfica, a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) desempenha um papel crucial no aumento das chuvas extremas que ocorreram em áreas montanhosas da Serra da Mantiqueira e do Planalto Paulista.

### 4.1.2. Connection between spring conditions and peak summer monsoon rainfall in south America: role of soil moisture, surface temperature, and topography in eastern Brazil

O estudo com a segunda maior quantidade de citações (109) investigou a relação entre as condições meteorológicas da primavera e o pico das chuvas de monções de verão na América do Sul, concentrando-se na umidade do solo, temperatura da superfície e topografia na região leste do Brasil. Os autores evidenciaram uma relação inversa entre a precipitação e a temperatura da superfície durante a primavera no centro-leste do Brasil, e uma correlação positiva entre a temperatura da superfície no sudeste do Brasil durante a primavera com o pico da precipitação das monções no verão no centro-leste do Brasil. A análise também mostra que apenas a temperatura na parte sudeste está

significativamente relacionada com o excesso de chuva na região em janeiro, ressaltando o efeito topográfico na produção de anomalias de circulação que levam às anomalias de precipitação (Figura 6).



**Figura 6** – (A esquerda) Evolução esquemática de (a) condições de seca na primavera para (b) condições de pico de chuva no verão no centro-leste do Brasil, através da diminuição da pressão de baixo nível, convergência e uma anomalia ciclônica sobre o sudeste do Brasil. (A direita) Diagrama do caminho através do qual condições anômalas de seca na primavera podem levar a subseqüentes condições de pico de chuva no verão no centro-leste do Brasil. O diagrama acima também é válido para anomalias opostas, a partir de condições úmidas de primavera no centro-leste do Brasil.

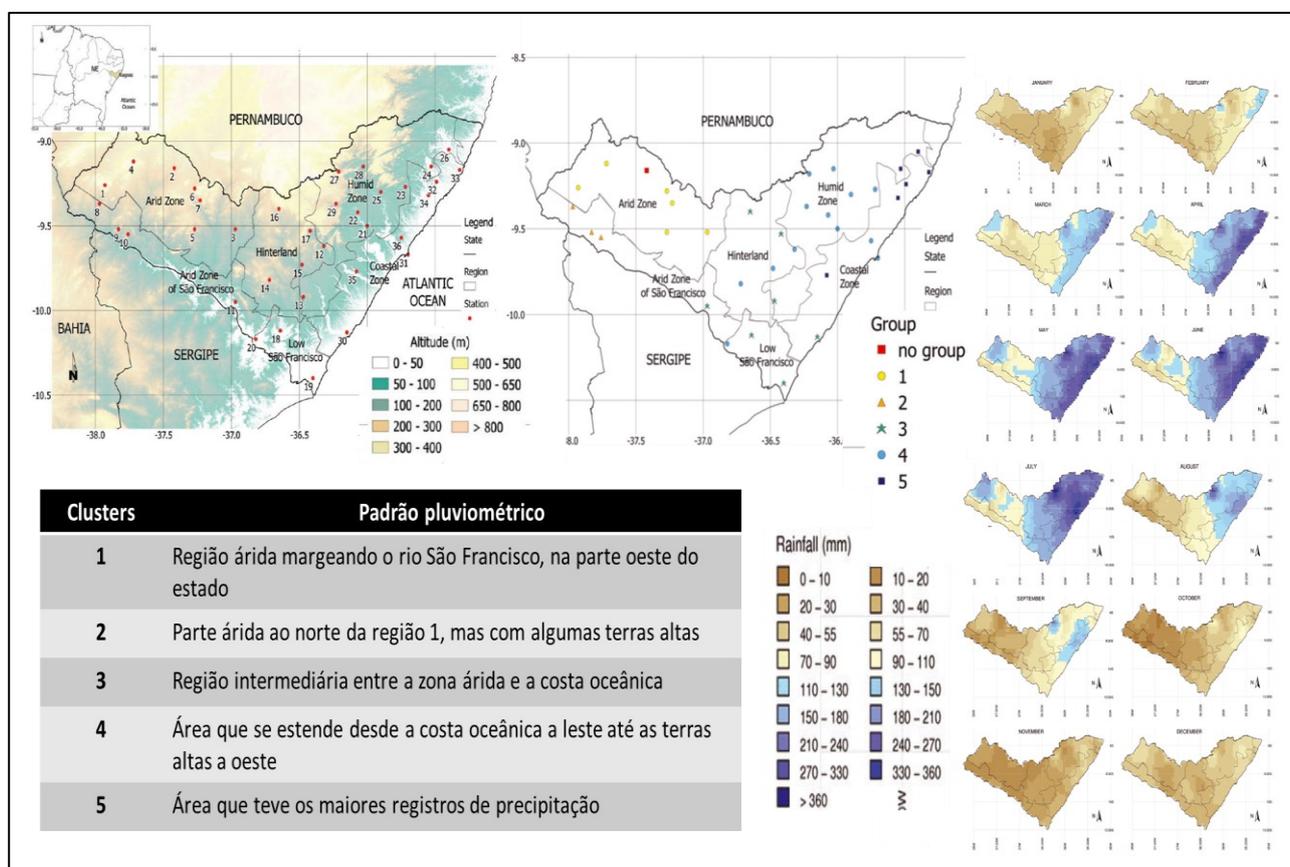
**Fonte:** Adaptado Grimm *et al.*, (2007).

Diante disso, a topografia exerce um papel crucial na anomalia de circulação ciclônica nas regiões que possuem uma cadeia de montanhas acima de 1000m e uma circulação anticiclônica quando as montanhas são removidas em experimentos com topografia plana. O estudo também observa que a diferença na circulação ciclônica tem um impacto diferente (aumento ou diminuição) na precipitação da região. Portanto, as montanhas localizadas no sudeste do Brasil desempenham um papel crucial na fixação dos padrões de variabilidade intrasazonal e podem explicar o padrão geograficamente fixo de precipitação em modo "tipo dipolo" observado na América do Sul. Além disso, parece que essas montanhas têm uma função importante na manutenção da posição climatológica da ZCAS, como demonstrado pelo experimento que reduziu a topografia e

resultou em um aumento significativo da precipitação nas planícies subtropicais. Este aumento foi muito mais forte do que qualquer mudança observada nos experimentos com alteração da umidade do solo, sugerindo que, na ausência das montanhas do sudeste do Brasil, a ZCAS seria deslocada para o sul.

#### 4.1.3. Cluster analysis applied to the spatial and temporal variability of monthly rainfall in Alagoas state, northeast of Brazil

O terceiro estudo mais citado (98), identificou por meio de análise de cluster, padrões espaciais e temporais de precipitação para o estado de Alagoas. O estudo apontou que a distribuição das chuvas no estado de Alagoas apresenta um forte gradiente entre G5 (litoral) e G1 (interior), e de G5 (norte litoral) até G3 (litoral sul e região do baixo São Francisco) mostrado na Figura 7.



**Figura 7** - Área de estudo mostrando a localização do estado de Alagoas sobre a região nordeste do Brasil (canto superior esquerdo), e a localização de cada estação pluviométrica e regiões fisiográficas. Grupos com precipitação mensal homogênea após o agrupamento pelo método de Ward. Distribuição espacial da precipitação mensal para o período de janeiro a junho e para o período de julho a dezembro.

Fonte: Adaptado Lyra et. al., (2014).

Entre os cinco grupos, foi observado a influência da topografia na distribuição espacial das chuvas na região nordeste (G5) e nas áreas a noroeste das regiões G1 e G4, que possuem terrenos com maior elevação. Além disso, a distância ao litoral, a topografia e os sistemas climáticos de meso e grande escala, influenciam no clima mais seco nas regiões de G1 e G2 do estado de Alagoas.

A zona árida e a região do São Francisco estão a aproximadamente 115 km da costa, o que reduz o número de nuvens do tipo cúmulos formados no litoral que atingem a região. A topografia influencia o clima nessas áreas devido à presença da serra da Borborema ao norte do estado, desviando os ventos alísios e a brisa marítima que atingem o estado.

O gradiente horizontal de precipitação influenciado por vários sistemas climáticos que afetam a região, bem como pela topografia, pode ser observado nos mapas mensais da Figura 7. Segundo os autores, as terras altas do sertão e as zonas úmidas (Serra da Borborema) estão orientadas em sentidos paralelos a costa, formando uma barreira natural e, portanto, reduzindo a quantidade de umidade que atinge as regiões áridas (grupos G1 e G2), devido a brisa terrestre e os ventos alísios convergirem perto da costa, sendo canalizados para sudoeste devido à orografia. Dessa maneira, o trabalho enfatiza que dois fatores contribuem para a estiagem na região: primeiro, a distância da costa, que dificulta a passagem da umidade do oceano para atingir a área e, segundo a menor altitude em comparação com a parte norte da região G1, o que inibe qualquer chuva induzida pela orografia.

#### 4.1.4. Global climatological features in a simulation the CPTEC-COLA AGCM

No penúltimo trabalho mais citado (96), foram discutidos os resultados de uma simulação climática obtida pela execução do modelo generalizado de circulação atmosférica CPTEC-COLA, com objetivo de fornecer uma visão global das características climatológicas simuladas pelo modelo e mostrar a capacidade deste em reproduzir o ciclo sazonal e o balanço energético. Para o estudo, o modelo superestima a precipitação na América do Sul nos Andes e no nordeste do Brasil e, por outro lado, subestima a precipitação em boa parte do interior do continente. Segundo os autores, a superestimação sobre a Cordilheira dos Andes está relacionada à deficiência da representação espectral da orografia e da circulação associada. Além disso, quando a umidade é muito baixa no centro da América do Sul, o modelo não produz precipitação intensa sobre a montanha e simula os baixos valores de precipitação observados na

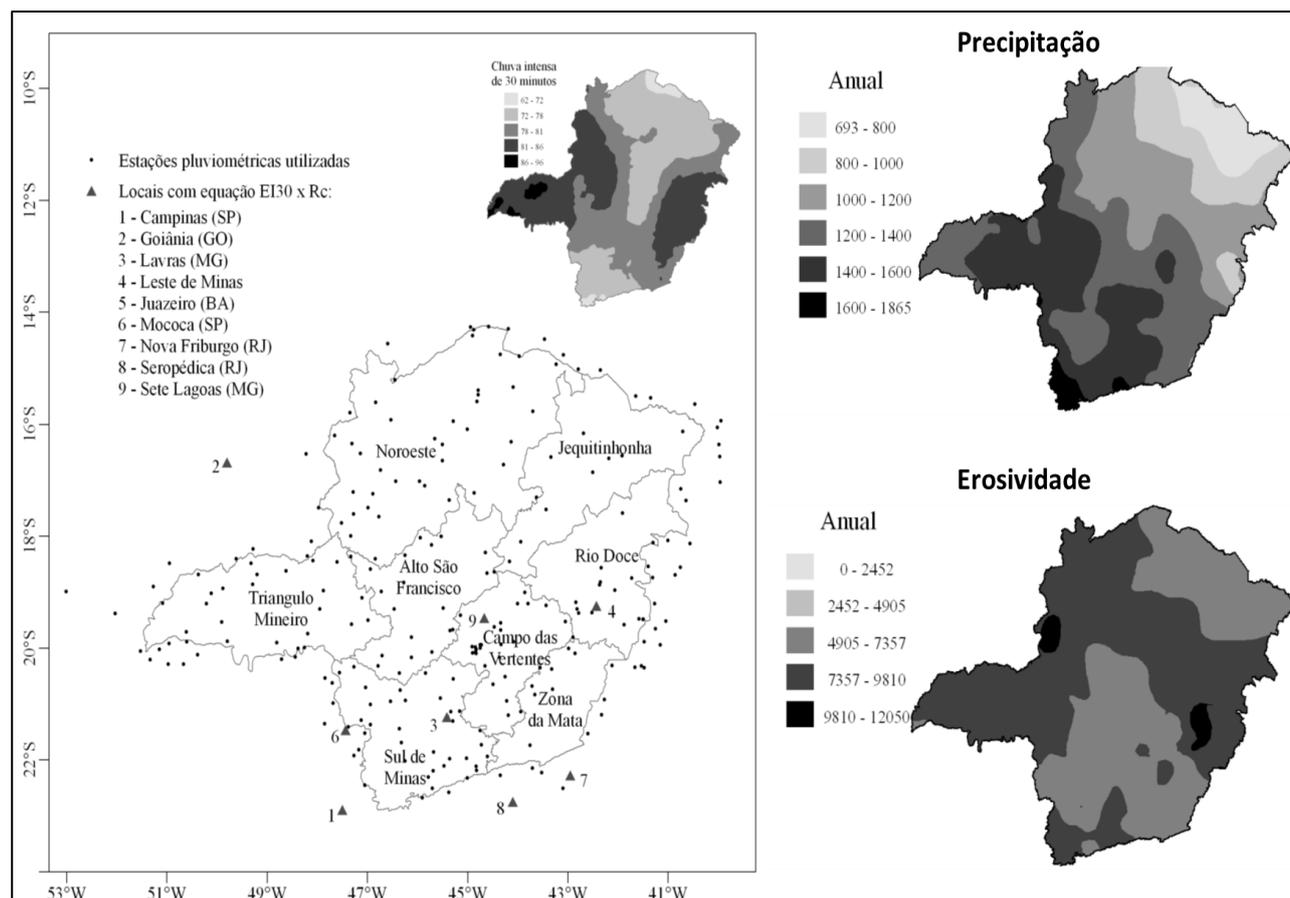
maior parte do continente no trimestre mais seco (J,J,A). Portanto, o estudo sugere experimentos contínuos e simulações para melhorar a resposta do modelo e com uma resolução horizontal mais alta para fornecer uma influência orográfica mais precisa nos padrões atmosféricos.

#### 4.1.5. Monthly and annual rainfall erosivity for Minas Gerais state

Por fim, o último trabalho mais citado (70), estimou e mapeou a erosividade média, analisou a distribuição espacial das chuvas e identificou zonas similares de erosividade no Estado de Minas Gerais (Figura 8). O estudo aponta que a distribuição espacial da erosividade apresenta valores elevados superiores ( $>10.000$  MJ mm há<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) nas regiões do Triângulo Mineiro, Alto da Paranaíba até a região do Vale do Rio Doce. Para a precipitação anual média essas regiões citadas também evidenciaram acumulados pluviométricos mais elevados e na região próxima da Serra da Mantiqueira, localizada na porção sul de MG, evidenciou-se acumulados superiores a 1.500mm. Além disso, os autores apontam que essas regiões apresentam os maiores valores de chuvas intensas (com duração de 30 minutos) associados aos efeitos orográficos e de convecção atmosférica. Por fim o estudo classificou a erosividade anual em MG em três zonas de intensidade:

- **Erosividade média a alta** – regiões centrais, parte da Zona da Mata mineira e Sul de Minas, além do nordeste de Minas Gerais, com valores entre 4.905 e 7.357 MJ mm ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>;
- **Erosividade alta** – Triângulo Mineiro e noroeste do Estado, partes do centro-norte de Minas e do Sul de Minas Gerais, com valores entre 7.357 e 9.810 MJ mm ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>;
- **Erosividade muito alta** – parte do Alto Paranaíba, leste e região do entorno da Serra da Mantiqueira;

Portanto, o fator orográfico e as características climáticas são mais relevantes para o comportamento da erosividade em algumas regiões de Minas Gerais.



**Figura 8** - Locais em que foram determinadas as relações da erosividade e localização das 248 estações pluviométricas utilizadas. Distribuição de chuvas intensas com 30 minutos de duração, em milímetros por hora, no Estado de Minas Gerais. Mapas da precipitação anual (mm) e de erosividade anual (MJ mm ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) do Estado de Minas Gerais.

**Fonte:** Adaptado Mello et. al., (2007).

## 4.2. Cinco estudos mais citados utilizando o termo Complex Terrain

### 4.2.1. Tropical Rivers

O primeiro trabalho mais citado (citado 322 vezes), realizou uma revisão geral dos sistemas tropicais ao redor do mundo, concentrando-se particularmente nos rios que drenam os trópicos úmidos e úmidos-secos com chuvas superiores a 700mm/ano. Segundo o estudo, o elemento mais variável do clima tropical é a chuva, e três tipos de chuva são identificados nos trópicos: convectiva, ciclônica e orográfica. Em geral, as flutuações totais de precipitação de ano para ano nas planícies tropicais são relativamente pequenas em comparação com as regiões de monções e aquelas áreas dominadas por condições orográficas. Dessa forma, os rios tropicais em todo o mundo drenam uma variedade de configurações geológico-geomorfológicas, nomeadamente cadeias de montanhas orogênicas, planaltos/plataformas sedimentares e basálticas, áreas cratônicas, planícies de inundação em bacias sedimentares e terreno misto.

Todos mostram vazões de pico claramente altas, mas variáveis durante a estação chuvosa e um período de baixo fluxo quando as chuvas diminuem. Alguns rios tropicais apresentam dois picos de cheia, um principal e outro secundário, durante o ano. Na América do Sul, os Andes atuam como uma barreira orográfica para as massas de ar vindas do leste, aumentando assim as chuvas ao longo da encosta oriental dos Andes, da Venezuela à Argentina. O alto relevo e a forte precipitação concentrada produzem alta produção de sedimentos em bacias montanhosas: a precipitação pode atingir mais de 6.000 mm/ano em algumas partes das zonas subandinas do Equador, Peru e Bolívia. Portanto, a Cordilheira dos Andes na América do Sul produz uma grande quantidade de sedimentos devido ao elevado índice de precipitação.

#### 4.2.2. Precipitation comparison for the CFSR, MERRA, TRMM3B42 and combined scheme datasets in Bolivia

O estudo com a segunda maior quantidade de citações (97) avaliou as capacidades e limitações de quatro produtos de estimativa (reanálise e satélite) de precipitação para descrever a precipitação na Bolívia para duas estações do ano diferentes. Dois conjuntos de dados de reanálise, um algoritmo de satélite e um esquema que combina observações de superfície com estimativas de satélite foram selecionados para estudar a precipitação nas seguintes áreas da Bolívia: Andes centrais, Altiplano, sudoeste da Amazônia e Chaco. Essas regiões bolivianas podem ser divididas em três bacias principais: Altiplano, La Plata e Amazonas. Em geral, todos os produtos retrataram corretamente a distribuição espacial da precipitação em uma estação chuvosa muito úmida e uma estação muito seca.

A precipitação ao longo das encostas dos Andes voltadas para o nordeste é maior do que no restante da Bolívia. Duas regiões secas são evidentes: as regiões do Altiplano e do Chaco. No entanto, algumas diferenças surgem ao comparar cada produto. Durante a estação chuvosa, MERRA representou amplamente a diferença entre as regiões úmidas do norte-nordeste (Amazônia) e as secas do sudeste (Chaco); além disso, as maiores quantidades de precipitação ocorreram nas encostas voltadas para o leste dos Andes e perto do Lago Titicaca.

Sobre o Altiplano, ocorreu um gradiente de precipitação norte-sul. No entanto, a diferença entre as precipitações do Altiplano e da Amazônia não foi bem representada; além disso, a extensão espacial da seca perto da região do Chaco foi exagerada. O gradiente leste-oeste sobre o Altiplano é representado apenas no sul do Altiplano. Uma

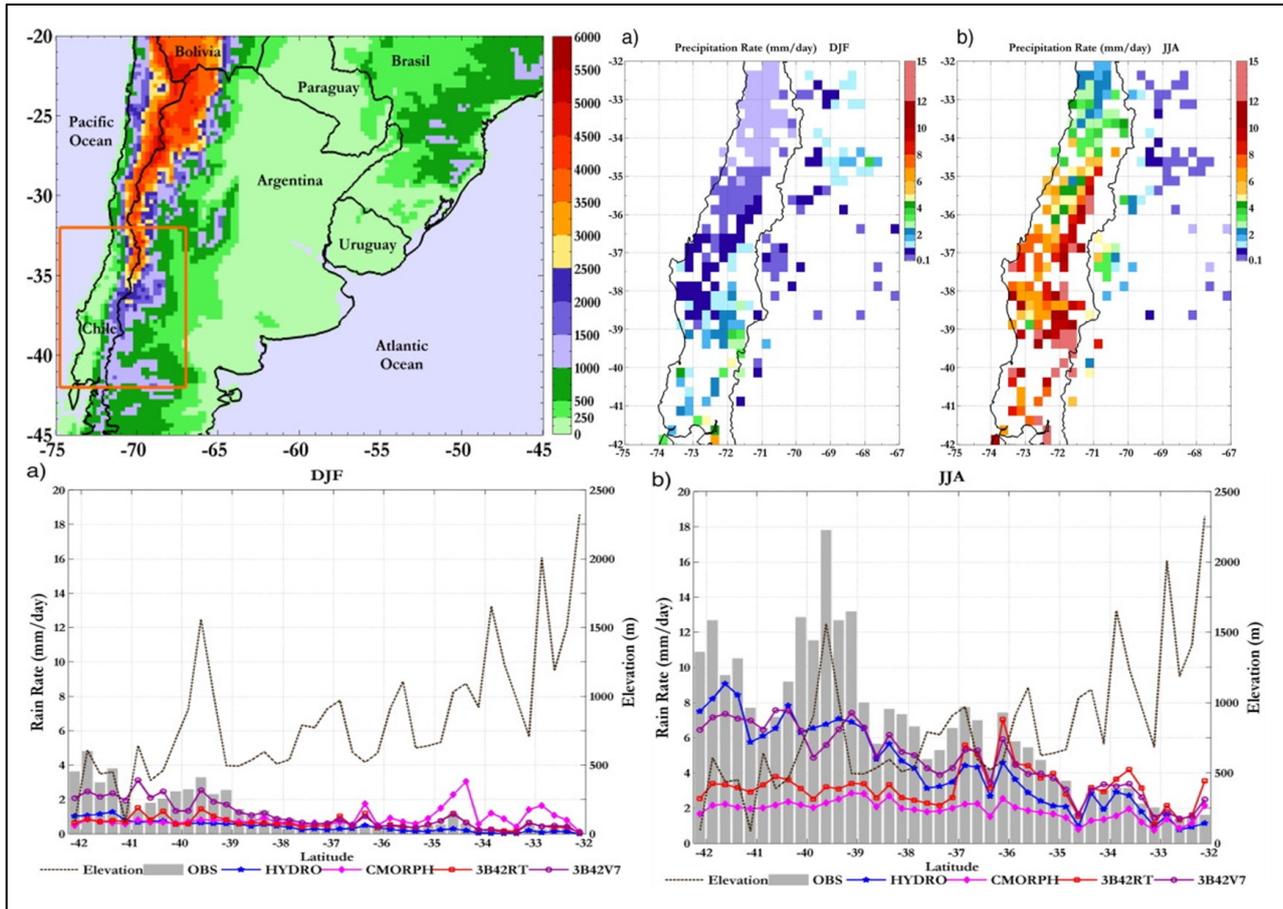
possível causa dessas imprecisões é que as estimativas de precipitação do MERRA não se beneficiam da assimilação dos dados pluviométricos de superfície; em vez disso, o início, a intensidade e a cessação de qualquer evento de chuva são controlados principalmente pelas parametrizações do modelo. Portanto, os gradientes orográficos acentuados tornam esta região complexa para ambos os conjuntos de dados de reanálise.

#### 4.2.3. Assessment of satellite precipitation estimates over the slopes of the subtropical Andes

O terceiro estudo mais citado (59), realizou uma validação em quatro produtos (TRMM, TMPA, CMORPH e HYDRO) de estimativas diárias de precipitação por satélite na região dos Andes subtropicais, que apresenta uma topografia altamente complexa, pois as regiões montanhosas remotas representam um grande desafio para esses produtos de dados de satélite e para estudos que examinam sua qualidade com dados de superfície (Figura 9).

Segundo os autores, o regime de precipitação na região de estudo é muito diferente entre o verão e o inverno. Nos Andes subtropicais, as chuvas ocorrem principalmente no inverno, muitas vezes na forma de neve, que se desenvolve no lado de barlavento dos Andes e nos altos picos. No verão, a precipitação ocorre principalmente no lado argentino dos Andes e tem caráter convectivo, com tempestades muito intensas capazes de desenvolver grandes granizos.

A análise considerando a elevação média do terreno mostra uma subestimação das estimativas para cotas baixas e superestimação em altitudes maiores. A análise tendo em conta a dependência dos erros com a elevação do terreno, mostrou um nível acentuado de subestimação a barlavento do terreno, o que pode estar associado ao desenvolvimento da precipitação de nuvens mais quentes e relativamente baixas. Por outro lado, uma leve superestimação é mostrada em pontos localizados em altitudes mais altas para estimativas usando dados de microondas. Esse resultado pode estar relacionado às limitações desses produtos em áreas cobertas por neve.



**Figura 9** - Topografia sobre o sul da América do Sul na grade de estimativas correspondentes com resolução espacial de 0,25° (sombreado); e a área de estudo sobre os Andes subtropicais (contorno laranja). Taxa diária de precipitação pluviométrica (mm dia – 1) em cada ponto da grade com pelo menos 70% dos dias com dados durante as estações (a) verão DJF e (b) inverno JJA sobre os Andes subtropicais. Taxas de precipitação diárias médias longitudinais (mm dia – 1) de observações e as várias estimativas de precipitação nos pontos de grade disponíveis para os trimestres (a) DJF e (b) JJA para o período 2004-2010 sobre a região montanhosa dos Andes subtropicais. A linha pontilhada nos gráficos (a) e (b) (parte inferior) indica a elevação média (m) considerando os pontos de dados observados em cada latitude.

**Fonte:** Adaptado Hobouchian *et al.*, (2017).

Finalmente, os melhores desempenhos de estimativa foram encontrados a favor do vento do terreno, onde a natureza da precipitação convectiva reduz os erros nas estimativas de satélite. Na análise desses casos, observam-se as dificuldades das estimativas nessa região de terreno complexo, mas também são mostrados avanços no mais novo produto para otimizar a estimativa de precipitação por satélite. Portanto, o estudo relata que no futuro será necessário gerar fatores de correção considerando áreas de precipitação sólida (neve) e limiares de temperatura adequados à natureza das nuvens em regiões montanhosas.

#### 4.2.4. A storm safari in subtropical South: proyecto relâmpago

O penúltimo estudo mais citado (39), documentou a convecção continental, seus processos internos e seus impactos na sociedade em uma região geograficamente única definida por sua topografia significativa e complexa. Para isso os autores adotaram uma abordagem observacional integrada e expansiva para documentar processos relevantes para os seguintes temas de pesquisa: iniciação convectiva, tempestades convectivas severas, aumento de escala da convecção, raios e hidrometeorologia.

Os ambientes únicos das tempestades, o papel dos fluxos orográficos e os processos internos das tempestades na produção de correntes ascendentes convectivas altas e amplas, tempestades convectivas severas produtoras de granizo, mas não-tornádicas, altas taxas de relâmpagos e transições rápidas do modo convectivo e crescimento de alto nível foram documentados com detalhes e observações abrangentes, permitindo revelar conexões entre ambiente de tempestade, cinemática e processos microfísicos em convecção intensa.

Portanto, as observações do RELAMPAGO ajudaram a entender os processos físicos em tempestades severas e seus impactos, incluindo fortes precipitações e processos hidrometeorológicos na Argentina (como granizo, inundações repentinas e altas taxas de relâmpagos), auxiliando no monitoramento global, na previsão e na interações terra-atmosfera em escalas de tempo meteorológicas e climáticas.

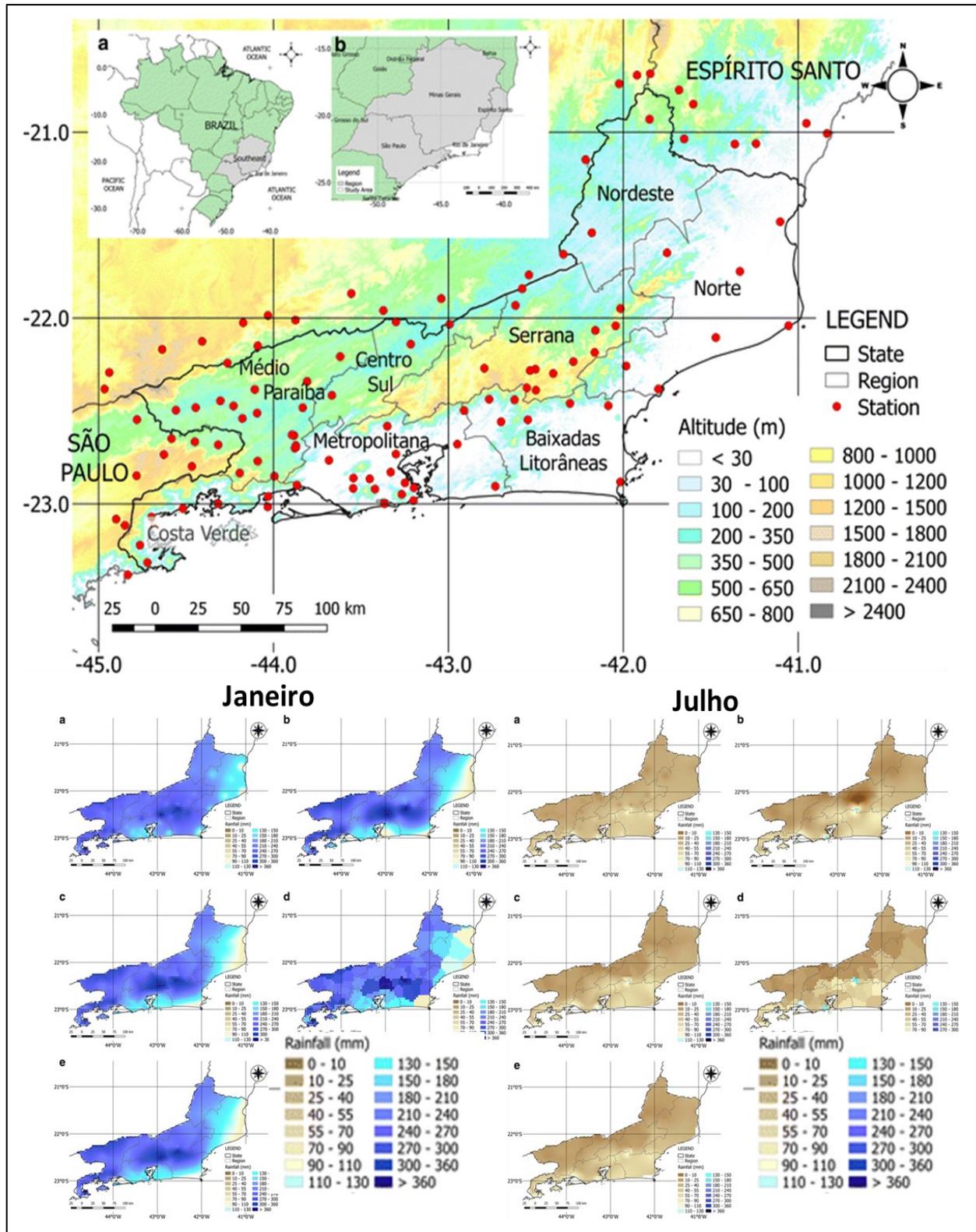
#### 4.2.5. Evaluation of methods of spatial interpolation for monthly rainfall data over the state Rio de Janeiro, Brazil

Por fim, o último trabalho mais citado (27), avaliou diferentes métodos determinísticos de interpolação espacial sobre o estado do Rio de Janeiro, que possui uma topografia bastante complexa (vales, serras e baías) e uma alta variabilidade espacial e temporal das chuvas mensais (Figura 10).

Segundo os autores, a maior parte da área do estado (50%) tem altitude inferior a 200 m acima do nível do mar, enquanto 32% da área tem altitude de 200 a 600 m e os sítios mais altos do estado atingem mais de 1.500 m de altitude e estão localizados na região serrana, como a Serra da Mantiqueira e a Serra do Mar.

Diante disso, as chuvas na região são influenciadas pelo relevo complexo e os diferentes métodos de interpolação criam padrões distintos de precipitação. Portanto, o método que reproduziu padrões anisotrópicos de chuva deve ser escolhido quando os

totais médios mensais de precipitação são espacialmente interpolados sobre regiões com características topográficas semelhantes para o estado do RJ.



**Figura 10** - Topografia (m) e localização das estações meteorológicas no estado do Rio de Janeiro e nos estados vizinhos de São Paulo, Minas Gerais e Espírito Santo. Interpolação espacial da precipitação de janeiro e julho sobre o estado do Rio de Janeiro. **Fonte:** Adaptado Lyra et. al., (2018).

## 5. CONCLUSÕES

Este artigo utilizou a análise bibliométrica para analisar as características acadêmicas das publicações (artigos científicos e artigos de revisão) em inglês sobre chuva de relevo indexadas pela Scopus ao longo das décadas.

Os resultados mostram que a atenção científica nesta área tem aumentado gradativamente a partir da década de 2000 devido à crescente acessibilidade da internet que expandiu a disseminação das pesquisas. Entre as palavras-chaves “orographic” (3212 documentos) e “complex terrain” (1784 documentos) utilizadas no levantamento bibliométrico na plataforma da Scopus, a primeira foi mais adotada pela comunidade científica, com maior número de artigos publicados internacionalmente.

Na escala global, os autores Barros, A. P. e Chen, H. foram os que tiveram maior número de publicações usando os termos “orographic” e “complex terrain”. Os EUA é o país líder com mais publicações em ambos os termos e com maior influência acadêmica na escala global. Os periódicos com maior número de publicações encontrados por meio das duas palavras-chaves utilizadas foram o “Monthly Weather Review” e “Journal of Hydrometeorology”. O trabalho mais citado encontrado pelo uso da palavra-chave “orographic” foi o dos autores Daly, C., Neilson, R.P., Phillips, D.L., intitulado “A statistical-topographic model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain” e publicado no periódico “Journal of Applied Meteorology”, com um total de 2100 citações. Por fim, o trabalho mais citado encontrado pelo uso da palavra-chave “complex terrain” foi o dos autores Thornton, P.E., Running, S.W., White, M.A., intitulado “Generating surfaces of daily meteorological variables over large regions of complex terrain”, publicado no periódico “Journal of Hydrology”, com um total de 1100 citações até o presente.

No Brasil, poucos trabalhos (64 documentos) foram encontrados na plataforma Scopus por meio da busca bibliométrica utilizando os dois termos (orographic e complex terrain). Os autores Arigony-Neto, J. e Mello, C.R., são os que possuem maior número de publicações usando os termos “orographic” e “complex terrain”. As instituições brasileiras com maior número de trabalhos foram a Universidade de São Paulo (USP) e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O trabalho mais citado encontrado pelo uso da palavra-chave “orographic” foi “Extreme precipitation events in southeastern South America and large-scale convective patterns in the South Atlantic convergence zone”, dos autores Carvalho, L.M.V., Jones, C., Liebmann, B., publicado no periódico “Journal of Climate”, com um total de 223 citações. E o trabalho mais citado encontrado pelo uso da palavra-chave “complex terrain” foi “Tropical rivers”, dos autores Latrubesse, E.M.,

Stevaux, J.C., Sinha, R., publicado no periódico “Geomorphology”, com um total de 322 citações até o momento.

Diante disso, essa pesquisa buscou oferecer uma revisão abrangente dos avanços atuais nos estudos sobre chuva orográfica, tanto em escala global quanto no contexto brasileiro. Os resultados obtidos têm o potencial de fornecer informações valiosas para a comunidade científica brasileira envolvida nesse campo, estimulando parcerias acadêmicas para a geração de novos estudos e direcionando pesquisas futuras sobre esse tema em um país que ainda apresenta uma produção limitada nessa temática.

## REFERÊNCIAS

ABATZOGLOU, J. T.; BROWN, T. J. A comparison of statistical downscaling methods suited for wildfire applications. **Int. J. Climatol.**, v. 32, p. 772-780, 2012.

ABBATE, A.; PAPINI, M.; LONGONI, L. Orographic Precipitation Extremes: An Application of LUME (Linear Upslope Model Extension) over the Alps and Apennines in Italy. **Water**, v. 14, p. 2218, 2022.

BARROS, A. P.; ARULRAJ, M. Remote Sensing of Orographic Precipitation. In: LEVIZZANI, V. **Satellite Precipitation Measurement: Advances in Global Change Research**. Cham: Springer International Publishing. 2020. p.559–582.

BLACUTT, L. A. *et al.* Precipitation comparison for the CFSR, MERRA, TRMM3B42 and Combined Scheme datasets in Bolivia, **Atmospheric Research**, v. 163, 2015.

CALOIERO, T. Analysis of daily rainfall concentration in New Zealand. **Natural Hazards**, v. 72, p. 389–404, 2014.

CÂNDIDO, D. H.; NUNES, L. H. Influência da orografia na precipitação da área entre o Vale do Rio Tietê e a Serra da Mantiqueira. **GEOUSP: Espaço e Tempo**, São Paulo, v. 12, n. 24, p. 08-27, 2008.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. Extreme Precipitation Events in Southeastern South America and Large-Scale Convective Patterns in the South Atlantic Convergence Zone, **Journal of Climate**, v. 15, n. 17, p. 2377-2394, 2002.

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, n. 1, p. 88–108, 2004.

CAVALCANTI, I. F. A. *et al.* Global Climatological Features in a Simulation Using the CPTEC–COLA AGCM, **Journal of Climate**, v. 15, n. 21, p. 2965-2988, 2002.

DALY, C *et al.* A knowledge-based approach to the statistical mapping of climate. **Climate Research**, v. 22, n. 2, p. 99–113, 2002.

DALY, C. *et al.* Physiographically sensitive mapping of climatological temperature and precipitation across the conterminous United States. **Int. J. Climatol.**, V. 28, p. 2031-2064, 2008.

DALY, C.; NEILSON, R. P.; PHILLIPS, D. L. A Statistical-Topographic Model for Mapping Climatological Precipitation over Mountainous Terrain, **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 33, n. 2, p. 140-158, 1994.

FORGIARINI, F. R.; VENDRUSCOLO, D. S.; RIZZI, E. S. Análise de chuvas orográficas no centro do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 9, n. 13, p. 107-119, 2013.

FORMETTA, G. *et al.* Differential orographic impact on sub-hourly, hourly, and daily extreme precipitation. **Advances in Water Resources**, v. 159, 2022.

FURCOLO, P.; PELOSI, A.; ROSSI, F. Statistical identification of orographic effects in the regional analysis of extreme rainfall. **Hydrological Processes**, v. 30, n. 9, p. 1342–1353, 2016.

GRIMM, A. M.; PAL, J. S.; GIORGI, F. Connection between Spring Conditions and Peak Summer Monsoon Rainfall in South America: Role of Soil Moisture, Surface Temperature, and Topography in Eastern Brazil, **Journal of Climate**, v. 20, n. 24, p. 5929-5945, 2007.

HALLAK, R.; PEREIRA FILHO, A. J. Metodologia para análise de desempenho de simulações de sistemas convectivos na região metropolitana de São Paulo com o modelo ARPS: sensibilidade a variações com os esquemas de advecção e assimilação de dados. Sociedade Brasileira de Meteorologia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, p. 591–608, 2011.

HOBOUCHIAN, M. P. *et al.* Assessment of satellite precipitation estimates over the slopes of the subtropical Andes. **Atmospheric Research**, v. 190, 2017.

HOUZE JR., R. A. Cloud Dynamics. **International Geophysics Series**, v. 53, 1993.

HOUZE JR., R. A. Orographic effects on precipitating clouds. **Reviews of Geophysics**, v. 50, n. 1, 2012.

KARGER, D.; CONRAD, O.; BÖHNER, J. *et al.* Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. **Sci Data**, v. 4, p. 170122, 2017.

KINGSMILL, D. E. *et al.* Synoptic and Topographic Variability of Northern California Precipitation Characteristics in Landfalling Winter Storms Observed during CALJET, **Monthly Weather Review**, v. 134, n. 8, p. 2072-2094, 2006.

LATRUBESSE, E. M.; STEVAUX, J. C.; SINHA, R. Tropical rivers. **Geomorphology**, v. 70, n. 3-4, 2005.

LIU, Y. Q. Monthly and seasonal variability of the land-atmosphere system. Observation, Theory and Modeling of Atmospheric Variability, World Scientific Series on Asia-Pacific **Weather and Climate**, v. 3, p. 73–91, 2004.

LYRA, G. B. *et al.* Evaluation of methods of spatial interpolation for monthly rainfall data over the state of Rio de Janeiro, Brazil. **Theor Appl Climatol.**, v. 134, p. 955–965, 2018.

LYRA, G. B.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; ZERI, M. Cluster analysis applied to the spatial and temporal variability of monthly rainfall in Alagoas state, Northeast of Brazil. **Int. J. Climatol.**, v. 34, p. 3546-3558, 2014.

MELLO, C. R. *et al.* Monthly and annual rainfall erosivity for Minas Gerais State. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 42, n. 4, p. 537-545, 2007.

MISHRA, P. K. *et al.* Assessment of cloudbursts, extreme rainfall and vulnerable regions in the Upper Ganga basin, Uttarakhand, India. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 69, 2022.

NAKULOPA, F. *et al.* Evaluation of High-Resolution Precipitation Products over the Rwenzori Mountains (Uganda), **Journal of Hydrometeorology**, v. 23, n. 5, p. 747-768, 2022.

NASCIMENTO, J. G. *et al.* Evaluating the Latest IMERG Products in a Subtropical Climate: The Case of Paraná State, Brazil. **Remote Sensing**, v. 13, p. 906. 2021.

NESBITT, S. W. *et al.* A Storm Safari in Subtropical South America: Proyecto RELAMPAGO, **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 102, n. 8, p. 1621-1644, 2021.

PELLEGATTI, C. H. G.; GALVANI, E. Avaliação da precipitação na serra do Mar-SP em eventos de diferentes intensidades e duração. GEOUSP: **Espaço e Tempo**, São Paulo, n. 27, p. 147-158, 2010.

PEREIRA, R. M. S.; WANDERLEY, H. S.; DELGADO, R.C. Homogeneous regions for rainfall distribution in the city of Rio de Janeiro associated with the risk of natural disasters. **Natural Hazards**, v. 111, p. 333–351, 2022.

PURDY, J. C.; AUSTIN, G. L. The role of synoptic cloud in orographic rainfall in the Southern Alps of New Zealand. **Met. Apps.**, v. 10, p. 355-365, 2003.

RAGHAVENDRA, A. *et al.* Orographic enhancement of rainfall over the Congo Basin. **Atmospheric Science Letters**, v. 23, n. 4, p. 1079, 2022.

REGMI, S.; BOOKHAGEN, B. The spatial pattern of extreme precipitation from 40 years of gauge data in the central Himalaya. **Weather and Climate Extremes**, v. 37, 2022.

RODRIGUES, M. L. G.; YNOUE, R. Y. Mesoscale and Synoptic Environment in Three Orographically Enhanced Rain Events on the Coast of Santa Catarina (Brazil). **Weather and Forecasting**, v. 31, n. 5, p. 1529–1546, 2016.

ROE, G. H. Orographic Precipitation. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**, v. 33, n. 1, p. 645–671, 2005.

ROSALES, A. G. *et al.* Valley–Mountain Circulation Associated with the Diurnal Cycle of Precipitation in the Tropical Andes (Santa River Basin, Peru). **Atmosphere**, v. 13, n. 344, 2022.

SANTOS, B. C. *et al.* O efeito do Planalto Ocidental Paulista na Variabilidade e nos Anos Extremos das Chuvas no período de 1979-2019. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v. 31, n. esp. 2, p. 168-186, 2021.

SANTOS, B. C.; FONTÃO, P. A. B.; SOUZA, P. H.: O efeito do relevo nas chuvas na porção central do Estado de São Paulo em anos padrão extremos. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 40, p. 132–147, 2020.

SCHILDGEN, T. F. *et al.* Quantifying drainage-divide migration from orographic rainfall over geologic timescales: Sierra de Aconquija, southern Central Andes, **Earth and Planetary Science Letters**, v. 579, 2022.

SELUCHI, M. E. *et al.* Características das frentes frias com potencial para provocar chuvas intensas na região serrana de rio de janeiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, 2016.

SMITH, J. A. *et al.* Extreme rainfall and flooding from orographic thunderstorms in the central Appalachians. **Water Resources Research**, v. 47, n. 4, 2011.

TAHIR, K. M. *et al.* Impact Assessment of Orography on the Extreme Precipitation Event of July 2010 over Pakistan: A Numerical Study, **Advances in Meteorology**, v. 2015, p. 1-20, 2015.

TAVARES, A. C. *et al.* O Uso da Análise Episódica na Caracterização de Aspectos Topoclimáticos da Serra de Itaqueri-SP. **Boletim de Geografia**, v. 3, n. 3, p. 84-108, 1985.

TAVARES, C. M. G.; FERREIRA, C. C. M. A relação entre a orografia e os eventos extremos de precipitação para o município de Petrópolis- RJ. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, 2020.

TERASSI, P. M. B. *et al.* Daily rainfall intensity and temporal trends in eastern Paraná state – Brazil. **Urban Climate**, v. 42, p. 101090, 2022.

THORNTON, P. E.; RUNNING, S. W.; WHITE, M. A. Generating surfaces of daily meteorological variables over large regions of complex terrain, **Journal of Hydrology**, v. 190, n. 3–4, p. 214-251, 1997.

UMMENHOFER, C. C.; ENGLAND, M. H. Interannual Extremes in New Zealand Precipitation Linked to Modes of Southern Hemisphere Climate Variability, **Journal of Climate**, v. 20, n. 21, p. 5418-5440, 2007.

UVO, C.; BERNDTSSON, R. Regionalization and spatial properties of Ceará State rainfall in northeast Brazil, **J. Geophys. Res.**, v. 101, n. 2, p. 4221– 4233, 1996.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. 2000. Brasília: INMET. Disponível em:<[https://icat.ufal.br/pdf/METEOROLOGIA\\_CLIMATOLOGIA.pdf](https://icat.ufal.br/pdf/METEOROLOGIA_CLIMATOLOGIA.pdf)>. Acesso em: 22 jan. 2020.

WIGMOSTA, M. S.; VAIL, L. W.; LETTENMAIER, D. P. A distributed hydrology-vegetation model for complex terrain, **Water Resour. Res.**, v. 30, n. 6, p. 1665–1679, 1994.

Recebido: 01.06.2023

Aceito: 12.08.2023