



## A PLUVIOMETRIA DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO EM MINAS GERAIS

*Rainfall variability of the Quadrilátero Ferrífero in Minas Gerais*

*La Pluviometría del Cuadrilátero de Hierro en Minas Gerais*

**Antoniél Silva Fernandes**  

Programa de Pós-graduação em Geografia - Tratamento da Informação Espacial, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-Minas)  
geoansf@yahoo.com.br

**Alecir Antonio Maciel Moreira**  

Programa de Pós-graduação em Geografia - Tratamento da Informação Espacial, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-Minas)  
alecirmoreira@hotmail.com

**Resumo:** Este estudo analisa a interação entre a orografia e a atmosfera na dinâmica climática da região do Quadrilátero Ferrífero, localizado na porção centro-sul de Minas Gerais, visando compreender a variabilidade pluviométrica. Baseou-se nos princípios da Climatologia Geográfica e do método sistêmico para fundamentação teórica do estudo, utilizando-se de técnicas estatísticas e análise espacial como ferramentas de interpretação dos dados. Optou-se por realizar, por conseguinte, do recorte de análise interescalar, tendo como ponto focal o Clima Regional. Os resultados demonstraram que o conjunto serrano influencia a dinâmica da circulação geral e das correntes que trazem distúrbios nos ventos (W / NW e S / SE), as quais contribuem com a distribuição da precipitação. Constatou-se que as chuvas são concentradas nas estações da primavera (25%) e do verão (50%), sobretudo nos meses de dezembro e janeiro; já entre os meses de inverno (3%), existem os maiores déficits hídricos. Ademais, foi possível identificar a variabilidade interanual ocorrida, com a delimitação de anos-padrões habituais e anos de anomalias; constatando-se que há variabilidade na distribuição da chuva intra Quadrilátero Ferrífero, ou seja, as bordas norte e leste apresentam volumes de chuvas mais expressivos em relação às bordas oeste e sul.

**Palavras-chave:** Pluviosidade. Quadrilátero Ferrífero. Variabilidade. Orografia.

**Abstract:** This study aims to analyze the interaction between the orography and the atmosphere in the climatic dynamics of the Quadrilátero Ferrífero region, located in the South-Central portion of Minas Gerais, in order to comprehend the rainfall variability. It was based on the principles of Geographical

Climatology and the systemic method in this work, through techniques of the statistical and Spatial Analysis as data interpretation tools. Therefore, it was decided to implement an interscale analysis, having the Regional Climate as the focal point. The results showed that the mountain range influences the dynamics of the general circulation and the currents that bring disturbances in the winds (W / NW and S / SE), which contribute to the distribution of precipitation. It was discovered that the rains are concentrated in the spring (25%) and in the summer (50%) seasons, especially in December and January; between the winter months (3%), there are expressive water deficits. Furthermore, it was possible to identify the interannual variability that occurred considering the delimitation of usual standard years and years of anomalies; noting that there is variability in the distribution of intra-Quadrilátero Ferrífero rainfall, that is, the northern and eastern edges present more expressive rainfall volumes concerning the western and southern edges.

**Keywords:** Rainfall. Quadrilátero Ferrífero. Variability. Orography.

**Resumen:** El estudio analiza la interacción entre la orografía y la atmósfera en la dinámica climática de la región Cuadrilátero de Hierro, ubicada en la región centro-sur de Minas Gerais, con el fin de comprender la variabilidad de las precipitaciones. En este trabajo se basó en los principios de la Climatología Geográfica y en método sistémico, a través de técnicas estadística y el análisis espacial con herramientas de interpretación de datos. Por lo tanto, se decidió realizar un análisis interesalar, teniendo como punto focal el Clima Regional. Los resultados mostraron que la cordillera influye en la dinámica de la circulación general y las corrientes que traen perturbaciones en los vientos (W/NW y S/SE), que contribuyen a la distribución de la precipitación. Se encontró que las lluvias se concentran en las épocas de primavera (25%) y verano (50%), especialmente en los meses de diciembre y enero; ya entre los meses de invierno (3%), se dan los mayores déficit hídricos. Además, fue posible identificar la variabilidad interanual que se presentaba, con la delimitación de años estándares habituales y años de anomalías; observándose que existe variabilidad en la distribución de la precipitación intra-Cuadrilátero de Hierro, es decir, los bordes Norte y Este presentan volúmenes de lluvia más expresivos en relación a los bordes Oeste y Sur.

**Palabras clave:** Pluviosidad. Cuadrilátero de Hierro. Variabilidad. Orografía.

Submetido em: 09/08/2022

Aceito para publicação em: 15/11/2022

Publicado em: 26/11/2022

## 1. INTRODUÇÃO

As oscilações pluviométricas influenciam o regime hídrico e, portanto, a vida (tanto nos ambientes urbanos quanto nos rurais). É frequente nos noticiários as ocorrências de desastres ambientais associados com as condições climáticas, como os ligados: às enchentes e inundações nas cidades; aos incêndios florestais e às estiagens prolongadas no campo.

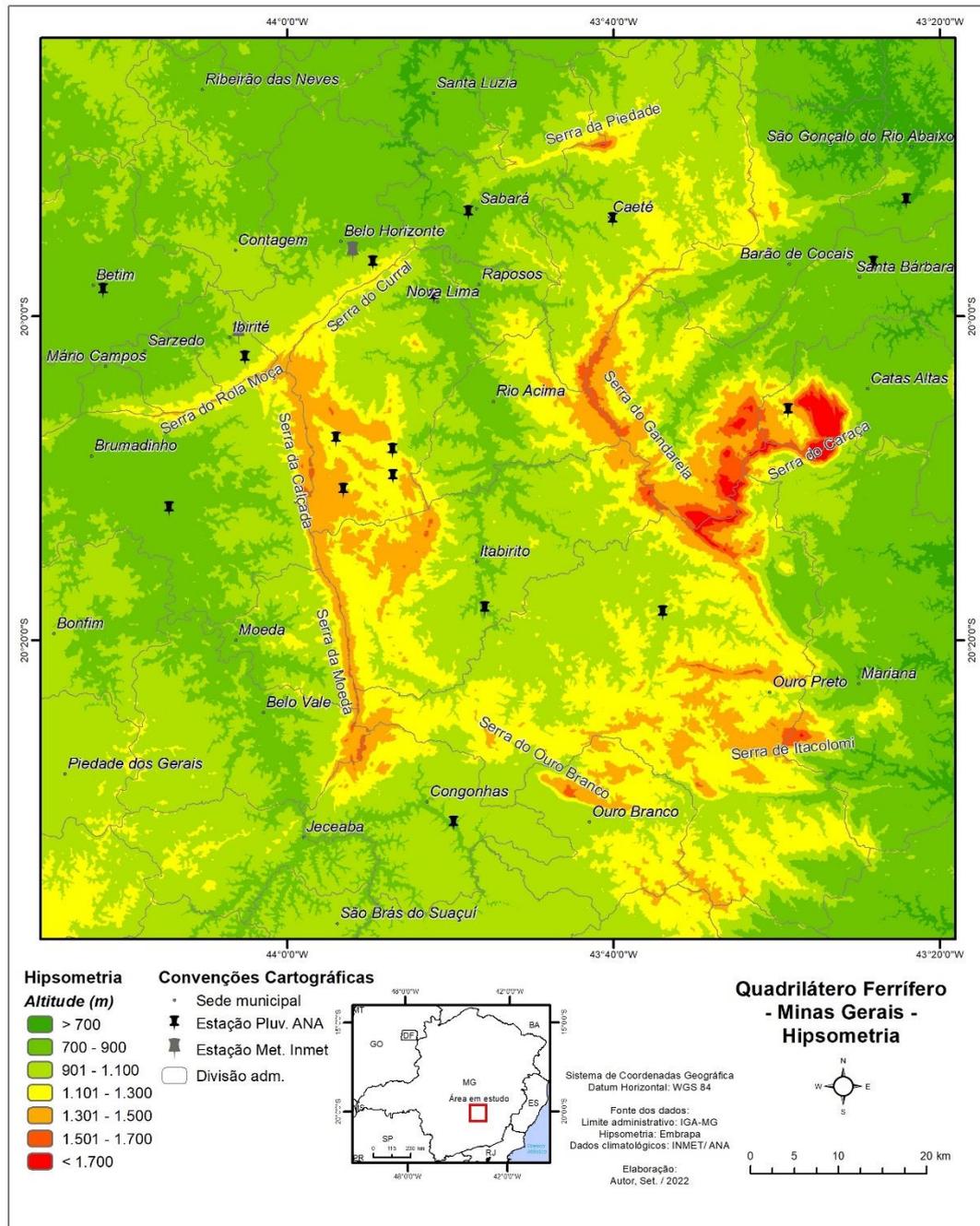
Dias e Silva (2009, p. 18) lembram que “o regime de chuvas de um determinado local é fator dominante na definição do clima local”. E ainda ressalta, “as chuvas são o resultado final de uma série de eventos com escalas de tempo e espaço bastante diversas, de forma que as causas de uma determinada chuva podem ser uma mistura de fatores locais e remotos” (DIAS; SILVA, 2009, p. 18).

Um fator importante que influencia o regime das chuvas é a distribuição do relevo. Ribeiro (1993) foi categórico ao afirmar que, das características fisiográficas responsáveis pela modificação da circulação atmosférica a nível regional, o papel do relevo merece destaque. Os picos e as demais formações serranas proporcionam dinâmicas e interações em um nível regional e local, criando situações de barlavento e sotavento, o que influencia o fluxo da circulação de superfície e, ao mesmo tempo, gera condições para a condensação a barlavento — causando chuvas orográficas, e, conseqüentemente, deixando umidade nestas vertentes; por outro lado, ocasionando o ressecamento nas vertentes à sotavento.

Portanto, um dos fatores climáticos que condiciona a dinâmica do clima, e, conseqüentemente, a do tempo, é a orografia. Moreira e Abreu (2002) afirmam que as regiões de topografia acidentada amplificam o turbilhonamento atmosférico e ajudam a compreender a distribuição espacial das chuvas e de outros fenômenos climáticos e meteorológicos.

Em Minas Gerais, a porção centro-sul do estado possui um conjunto de serras em formato de quadrilátero, de litologia ferrífera, cujos maiores picos atingem altitude superior a 2.000 metros. Já os seus vales possuem cotas altimétricas em torno de 600 m, o que gera uma amplitude de 1.400 m, fato este que cria interfaces com a circulação dos ventos. Estes são os fatores que tornam o Quadrilátero Ferrífero (QF) singular, do ponto de vista da Climatologia, e que constituem, neste trabalho, a região de estudo (Figura 1).

**Figura 1** – Localização do Quadrilátero Ferrífero, MG.



**Fonte:** Elaborado pelos autores (2022).

Em tese, os fatores geográficos citados potencializam a ocorrência de diferentes domínios topoclimáticos e microclimáticos. Deste modo, de que forma esse arranjo espacial pode interferir sobre as precipitações? No conjunto de serras que formam o Quadrilátero Ferrífero — Qual a dinâmica, a amplitude e a variabilidade dos volumes de chuvas? Há particularidades na distribuição e no regime das precipitações nesta região?

Deste modo, o presente artigo tem por objetivo analisar a interação entre a orografia e a atmosfera na dinâmica climática da região do Quadrilátero Ferrífero, localizado na porção centro-sul de Minas Gerais.

Cabe lembrar, que as chuvas que precipitam nessa região são importantes fontes de contribuição de água para o Rio das Velhas, um dos principais afluentes do alto São Francisco e do Rio Doce. Dentre os diversos usos, suas águas são usadas para o abastecimento público de grande parte da Região Metropolitana de Belo Horizonte — como exemplo, pode-se citar o Rio das Velhas, que possui um ponto de captação de água no município de Nova Lima, e que é responsável por fornecer aproximadamente 6.600,00 l/s de água para o consumo humano, sendo que, deste montante, quase 70% é para abastecer os moradores de Belo Horizonte (BELO HORIZONTE, 2016). Esse manancial é responsável por fornecer água para cerca de 1,8 milhões de pessoas (LEMOS; MAGALHÃES JUNIOR, 2019).

Dos 8 sistemas produtores de água que servem esse insumo à capital mineira, a captação no Rio das Velhas é a principal fonte de abastecimento para Belo Horizonte, sendo responsável por atender em 65% a população deste município (BELO HORIZONTE, 2016). Daí a importância em entender o comportamento e a distribuição pluviométrica nesta região.

## 2. METODOLOGIA

Adotou-se, nesta pesquisa, a abordagem na Climatologia Geográfica utilizando-se de seu método sistêmico. Jesus (2008) afirma que esse método expressa uma visão extremamente interativa, relacionando processos e respostas. O autor ainda destaca que na interação sociedade / natureza deve-se diagnosticar como o clima e os seus elementos interferem, são modificados, e, ao mesmo tempo, são derivados pela ação antrópica.

Já a análise temporo-espacial, que possibilitaram a identificação das unidades climáticas no Quadrilátero Ferrífero, foram limitados, neste artigo, ao levantamento climático no campo pluviométrico.

### 2.1. Procedimentos Metodológicos

No campo da Climatologia Estática foram empregadas técnicas através da obtenção de dados médios contidos nas Normais Climatológicas, conforme recomenda a *World*

*Meteorological Organization* (WMO, 2017). Ainda conforme indicado por esta Organização o uso das normais climatológicas é empregado nas comparações de observações recentes ou atuais, incluindo como apontamento para identificar anomalias, além de serem indicadas para preverem as condições prováveis de ocorrência em uma região (WMO, 2017).

Nesse estudo optou-se em utilizar a Normal Climatológica de 1981 – 2010, pois considera-se que alguns parâmetros como temperatura do ar e pluviosidade possuem uma maior possibilidade de alteração ao longo dos anos em decorrência de alterações no ambiente (DINIZ; RAMOS; REBELLO, 2018) como, por exemplo, pode-se citar a alteração no uso e na cobertura do solo, próxima de estações meteorológicas. Por isso, justifica-se o uso das normais mais recentes, como apontado pela WMO (2017).

Das normais climatológicas, foram utilizados dados de precipitação das estações meteorológicas instaladas nos seguintes municípios: Florestal, Ibirité, Belo Horizonte, João Monlevade, Viçosa, Barbacena e São João del-Rei — todos localizados no estado de Minas Gerais.

A escolha dessas estações ocorreu devido à disponibilidade de dados contidos nas Normais Climatológicas, à proximidade com o QF e à formação de uma poligonal que envolve essa área de estudo.

Além da média aritmética, adotou-se, no campo estatístico: o desvio padrão, o coeficiente de variação (dado em percentual), da mediana, da amplitude, do intervalo interquartil, da moda, dos valores máximos e mínimos de séries de dados meteorológicos e, principalmente, pluviométricos.

A obtenção de informações através da análise estatística descritiva teve por objetivo obter as tendências centrais, as frequências, as amplitudes e a variabilidade dos elementos climáticos.

O passo seguinte consistiu em compreender a gênese do comportamento pluviométrico dos anos excepcionais, conforme proposta de Monteiro (1971) e na identificação de singularidades na região em estudo.

Para identificar os períodos excepcionais de pluviosidade (como há valores muito discrepantes nas amostras), foi utilizada a Técnica dos Quantis para os totais acumulados de precipitação em intervalos mensais e anuais. Na delimitação dos intervalos para identificar os

extremos de chuva, considerou-se que 25% dos valores abaixo do  $Q(0,25)$  e 25% acima do  $Q(0,75)$  o que foi entendido como o limiar para períodos excepcionalmente secos e chuvosos. Considerou que  $Q$  representa o limite do quantil. Para a determinação dos quantis, aplicou-se a Equação 1. Conforme proposta de Monteiro e Zanella (2014).

$$(1) \quad Q(P) = y_i + \left\{ \frac{P - P_i}{P_{i+1} - P_i} \right\} * [y_{i+1} - y_i]$$

Onde:  $Q(P)$  é o quantil utilizado que corresponde à ordem quantílica;  $P = 0,25$  ou  $0,75$ ;  $i$  é o número de ordem para cada valor (ordenado de forma crescente);  $y$  corresponde a cada número de ordem  $i$  (total pluviométrico em mm);  $P_i$  é a ordem quantílica ( $P_i = i/(N+1)$ ); e  $N$  corresponde ao número de elementos da série.

Para mais detalhes da técnica dos quantis aplicados à Climatologia, consultar: Xavier e Xavier (1999), Zavattini e Boin (2013), Monteiro e Zanella (2014), Silva, Moura e Jardim (2017) e Gouvea et al. (2018).

Realizou-se a análise espacial das estações pluviométricas geridas pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) — localizadas no Quadrilátero Ferrífero e em seu entorno imediato — obtendo o número de 35 estações. Entretanto, as séries históricas e a consistência dos dados não são homogêneas para esse conjunto de estações. Destarte, selecionou-se inicialmente 12 estações pluviométricas, o que possibilitou traçar dois transectos. Todas as estações utilizadas fazem parte da Rede Hidrometeorológica da ANA.

A escolha desse conjunto de estações pluviométricas ocorreu, em virtude: da disponibilidade de um arco de tempo comum, e o mais longo possível de dados; da consistência dos registros históricos; da localização geográfica que possibilita enquadrar a área de estudo e obter transectos para a melhor compreensão das condições meteorológicas e climáticas da região.

Com a identificação da distribuição das estações no Quadrilátero Ferrífero e da análise de consistência dos dados, foram gerados dois transectos sobre a área em estudo: um no sentido Leste-Oeste, outro no sentido Norte-Sul.

As análises foram realizadas considerando, em sua maioria, o ano civil contado a partir de 1 de janeiro a 31 de dezembro. O ano hidrológico foi utilizado nos resultados que apresentam a sazonalidade para períodos secos e chuvosos.

Para análise espacial dos dados, empregaram-se as técnicas de geoprocessamento da Ciência Cartográfica. O *software* ArcView GIS 10.5, da Esri, foi utilizado para o processamento dos dados espaciais e na produção cartográfica, juntamente com o *software* Google Earth Pro. Também foi utilizado o *software* Excel, da Microsoft (versão 2016), e do *software* estatístico Minitab, versão 17, para o tratamento estatístico dos dados; onde foi possível elaborar representações gráficas e tabelas.

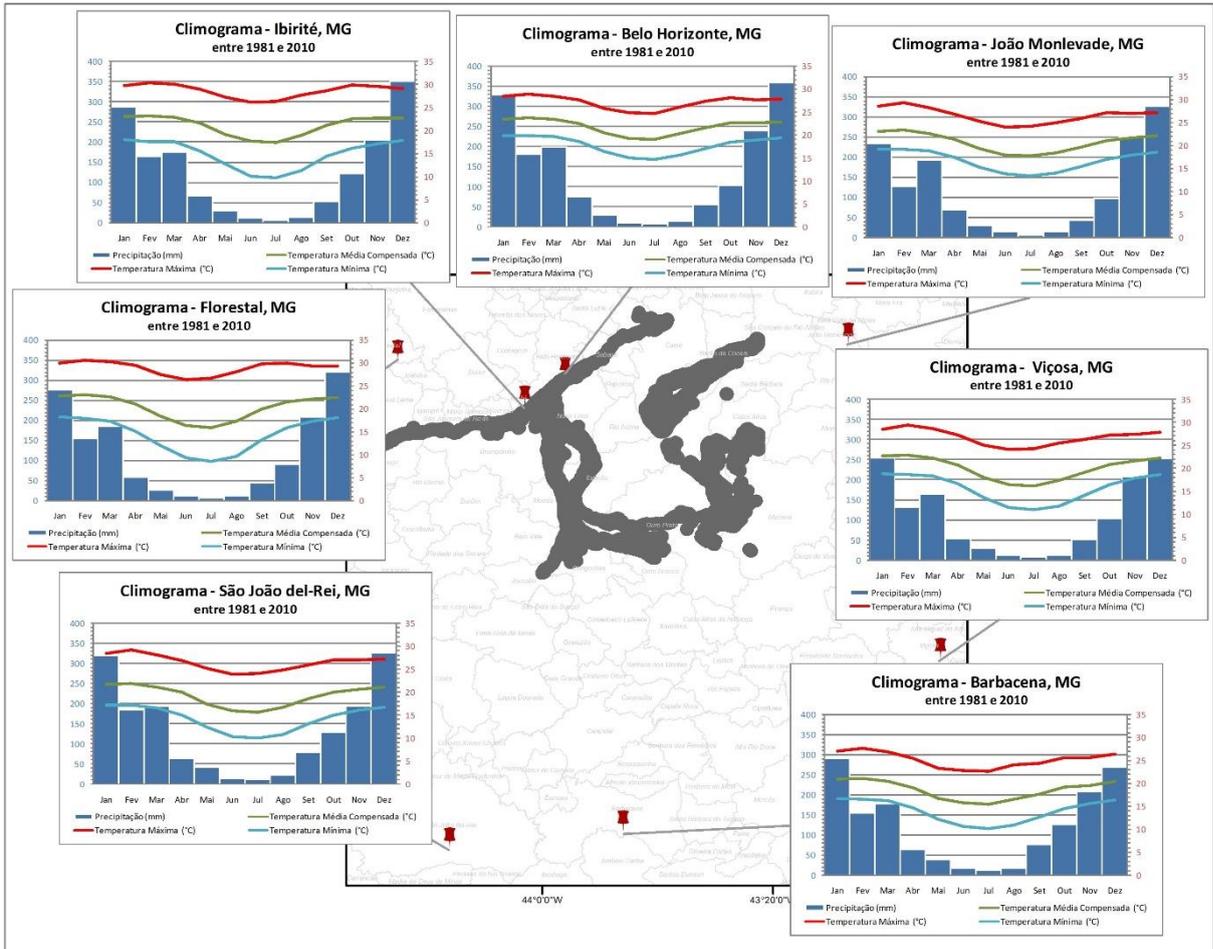
### 3. DESENVOLVIMENTO

Considerando as Normas Climatológicas (INMET, 2022) das estações meteorológicas no entorno do Quadrilátero Ferrífero, a distribuição das chuvas (Figura 2) é concentrada na primavera e, principalmente, no verão. O mês de dezembro possui, por conseguinte, os maiores registros mensais (superiores a 350 mm, em Belo Horizonte). As médias extraídas da Normal Climatológica de 1981-2010 (INMET, 2022) para as cidades do entorno do QF foi de 1.450 mm — apresentando uma diferença pluviométrica de aproximadamente 300 mm entre o município com maior pluviosidade anual nos 30 anos de registro (Belo Horizonte, com 1.602,6 mm) e o município com menor pluviosidade registrada (Viçosa, com 1.289,0 mm).

No inverno, a pluviosidade média mensal é reduzida, tendo registrado valores próximos a 7 mm no mês mais seco (julho). Essa amplitude pluviométrica condiciona a região em dois períodos bem marcados anualmente: um chuvoso e outro seco — explicada pelo caráter da tropicalidade, onde a posição geográfica do QF (entre o Trópico de Capricórnio e a Linha do Equador) condiciona duas estações bem definidas, com chuvas concentradas no solstício de verão e estiagens prolongadas no solstício de inverno.

Ademais, a conformação do relevo, que direciona duas linhas de serras no sentido Norte/Sul, irá influenciar a distribuição espacial das chuvas, gerando “ilhas” úmidas, nas vertentes leste e sudeste; e “ilhas” secas (ou sombras de chuva), nas vertentes oeste e norte (SANT’ANNA NETO, 2005) — além de proporcionar o clima tropical de altitude, por seu efeito nas temperaturas.

**Figura 2** – Climogramas dos municípios no entorno do Quadrilátero Ferrífero.



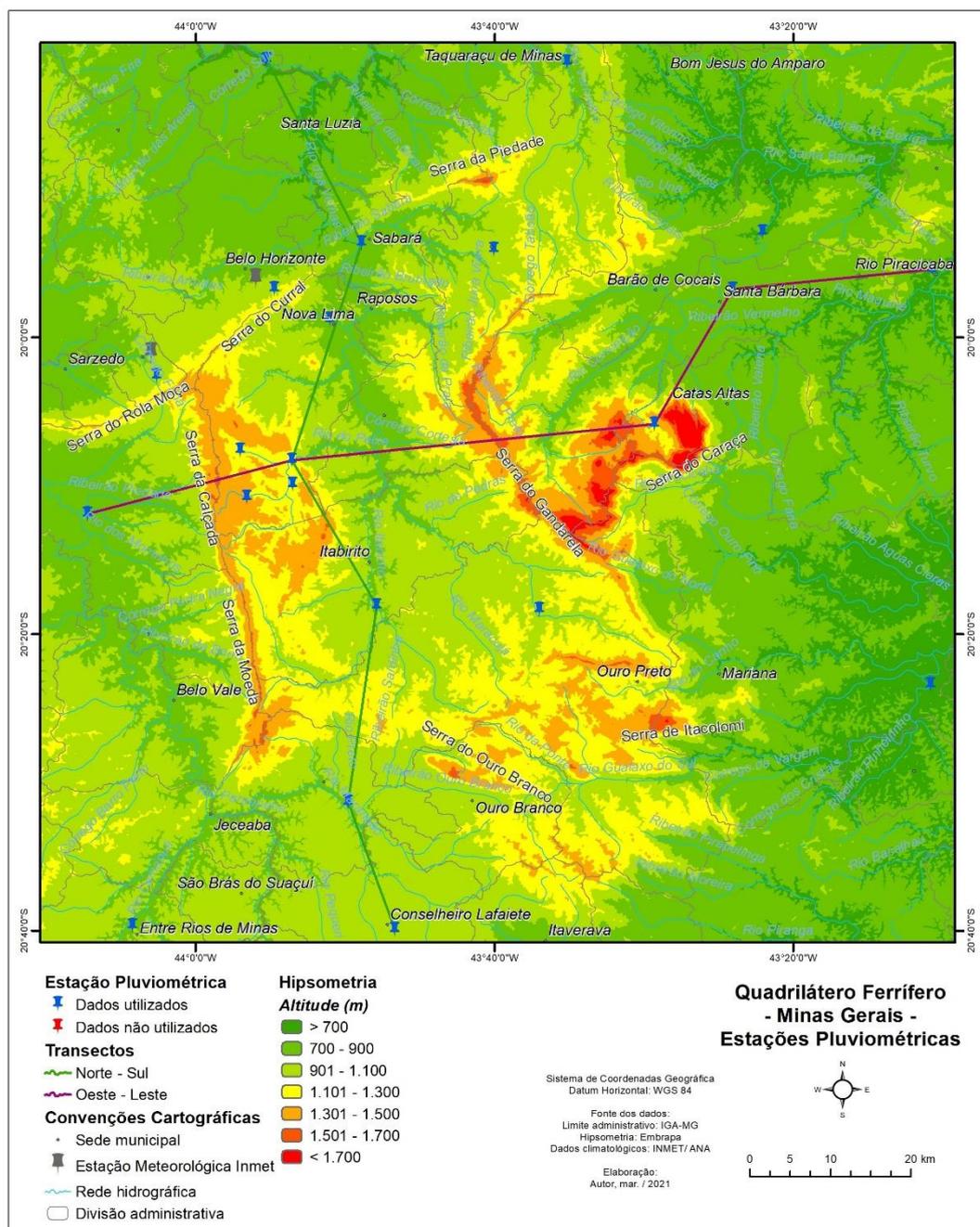
Normais Climatológicas do Brasil 1981-2010																				
Param.	Porção	Código	Nome da Estação	Lat.	Long.	Alt. (m)	UF	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Ano
Precipitação (mm)	Norte	83581	Florestal	19°53'S 44°25'W	753	MG	275,5	154,4	185,1	58,5	25,3	12,0	7,4	12,1	44,5	90,6	208,1	319,9	1393,4	
		83632	Ibirité	20°01'S 44°03'W	814,54	MG	286,0	165,4	175,3	67,6	29,9	11,7	5,7	13,2	53,3	121,5	205,3	349,9	1484,8	
		83590	Itabira	19°37'S 43°13'W	845	MG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Sul	83591	João Monlevade	19°50'S 43°07'W	859,84	MG	232,8	125,9	193,1	68,5	29,2	14,1	6,3	13,7	43,0	97,8	250,2	326,7	1401,3	
		83688	São João del-Rei	21°18'S 44°16'W	991	MG	320,4	183,8	192,9	65,1	41,0	15,1	11,5	22,4	78,3	129,2	195,5	326,8	1582,0	
		83689	Barbacena	21°15'S 43°46'W	1126	MG	290,6	156,0	178,2	65,0	38,8	17,7	11,9	18,5	76,1	126,7	208,8	269,7	1458,0	
		83642	Viçosa	20°45'S 42°51'W	689,73	MG	255,3	132,1	165,9	55,0	29,2	14,5	7,5	13,1	50,7	104,6	207,8	253,3	1289,0	

**Fonte:** Criado pelo autor com dados extraídos das médias mensais de precipitação e temperatura - Normal Climatológica de 1981 – 2010. INMET.

Para Nimer (1972), a topografia favorece as precipitações em barlavento, uma vez que ela atua no sentido de aumentar a turbulência do ar pela ascendência orográfica, notadamente durante a passagem de correntes perturbadas.

Para analisar a variabilidade, a distribuição e a ocorrência das chuvas foi utilizado os valores totais mensais de chuva em um intervalo de tempo, através dos dados extraídos da rede de estações pluviométricas geridas pela ANA (Figura 3), a qual possui um conjunto de estações instaladas na área em estudo conforme abordado na seção anterior.

**Figura 3 – Estações Pluviométricas e transectos no QF.**



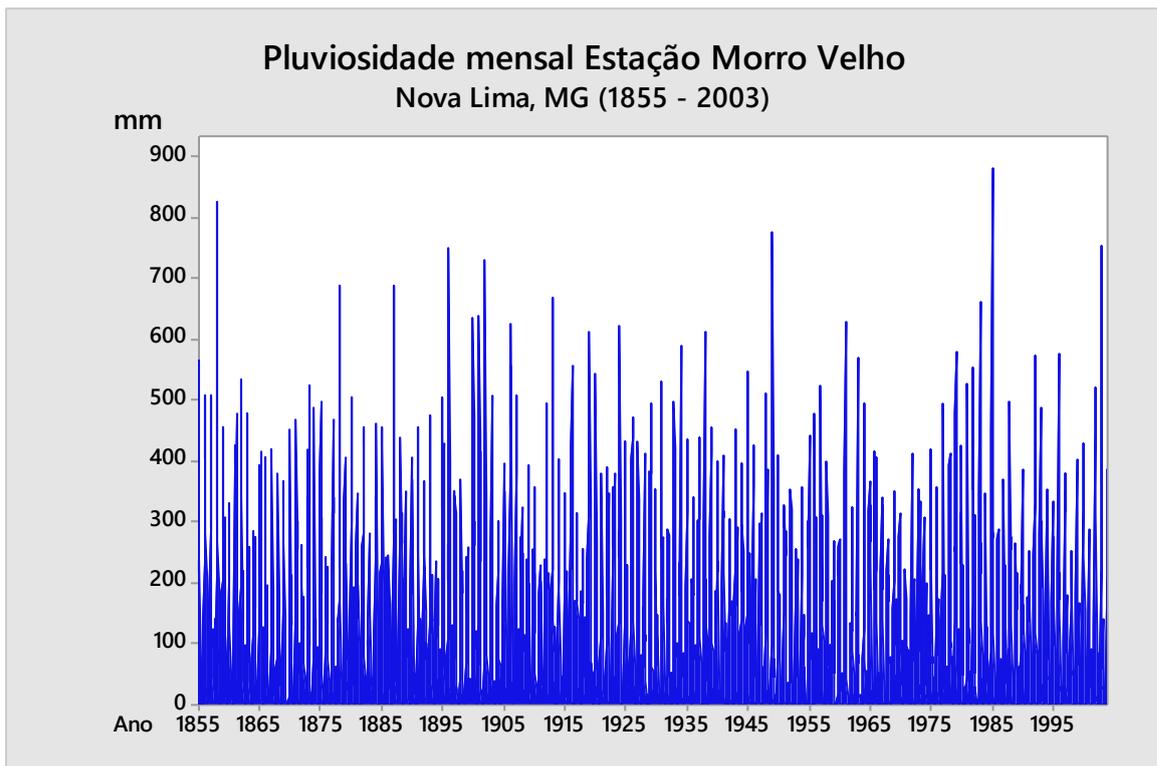
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Os registros mais antigos de pluviosidade no Quadrilátero Ferrífero, e no Brasil, são os coletados na Mina de Morro Velho (Estação Morro Velho 1943000), localizada em Nova Lima. Esta mina realiza a extração de ouro desde o século XIX, sendo os seus primeiros registros pluviométricos datados de janeiro de 1855. Ao longo de 165 anos de medições houve a interrupção dos registros em alguns meses esporádicos e em todo o ano de 1991. Também

aconteceu uma suspensão mais prolongada, que durou de 2003 até 2015. Já entre 2016 e 2018, existem muitos meses sem dados, portanto, o arco de tempo entre 2014 e 2020 não foi considerado nas análises seguintes. O último período de registro da Estação Morro Velho ocorreu em julho de 2018.

Analisando os volumes de precipitação anuais nesta estação, através do Figura 4, é possível constatar que os maiores picos de chuvas não foram superiores a 900 mm (janeiro de 1858, com 825,5 mm; janeiro de 1896, com 751,6 mm; janeiro de 1949, com 778,2 mm; janeiro de 1985, com 881,4 mm; e janeiro de 2003, com 752,8 mm). Através dos intervalos de ocorrência entre as maiores pluviometrias é possível constatar uma recorrência média, a cada 36 anos, com volumes próximos a 800 mm.

**Figura 4** - Pluviosidade mensal na Estação Morro Velho – Nova Lima, MG.

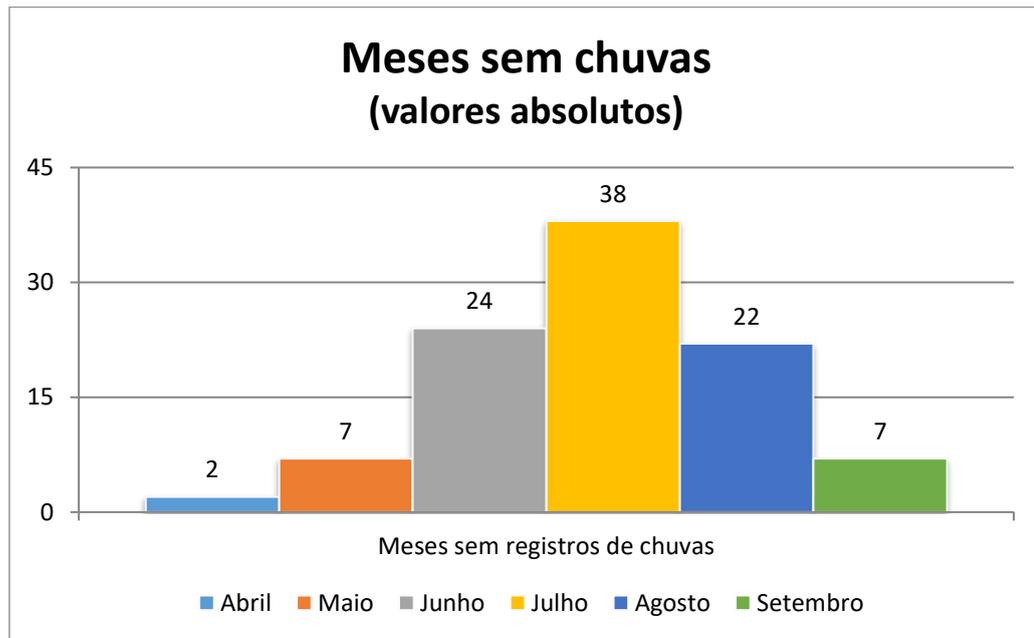


**Fonte:** Totais mensais de precipitação na Estação 194300 – Morro Velho - 1855 – 2003. ANA (2021).

Em análise ao comportamento das chuvas ao longo de quase 150 anos de medições, percebe-se que ocorreram dois ciclos com menores pluviosidades: um no final do século XIX, que perdurou até o ano de 1915; e o segundo que se iniciou na década de 1940 e finalizou-se no início da década de 1970.

Nos 150 anos de registro, foram observados 100 meses sem ocorrência de precipitação pluviométrica. A ausência de chuvas superiores a trinta dias consecutivos ocorreu em 6 meses diferentes, com destaque para os meses de junho, julho e agosto (Figura 5).

**Figura 5** - Frequência dos meses sem registro de chuva na Estação Morro Velho, Nova Lima, MG.



**Fonte:** Totais mensais de precipitação na Estação 194300 – Morro Velho - 1855 – 2003. ANA (2021).

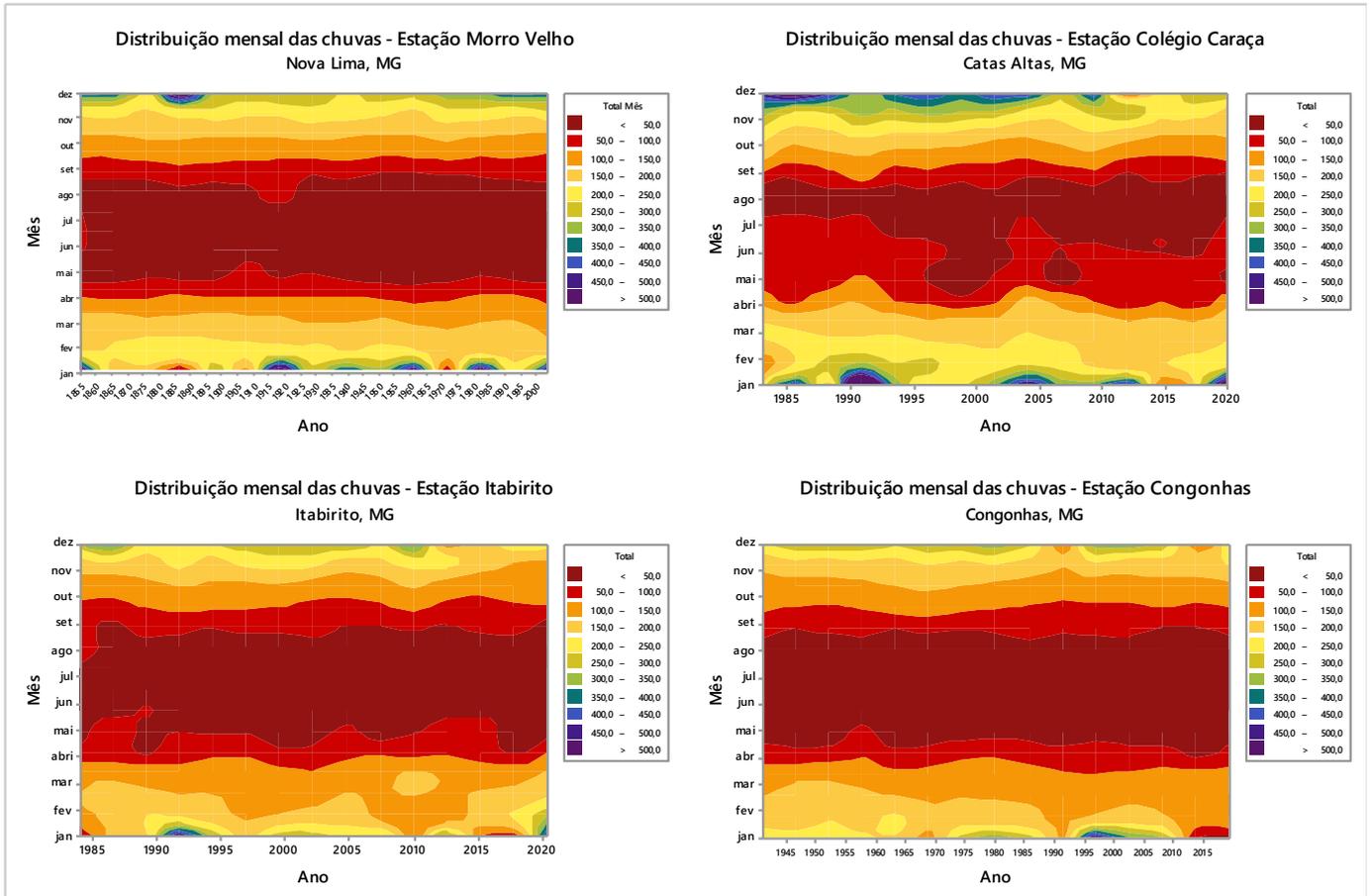
O período de estiagem regional no Quadrilátero Ferrífero prolonga-se de maio a agosto, sendo os totais pluviométricos inferiores a 50 mm (Figura 6) e as chuvas concentradas, principalmente, em dezembro e janeiro. Esses resultados vão de encontro com as pesquisas produzidas por Silva & Reboita (2013) e teorizado por Abreu (1998).

Para Silva & Reboita (2013), as máximas pluviométricas ocorrem no verão devido à atividade convectiva local e à atuação dos sistemas atmosféricos associados ao regime de monção Sul-Americana. Este irá provocar o transporte de umidade da Amazônia para os subtropicais: pelo Jato de Baixos Níveis a leste dos Andes; pelo transporte de umidade do oceano Atlântico Sul; pelo Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul para a região sudeste; e pelos períodos de atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (SILVA; REBOITA; ESCOBAR, 2019).

Destaca-se que, na Serra do Caraça (Figura 6), o período de estiagem é menor que nas demais áreas do QF, provavelmente devido às condições topográficas que funcionam como

importantes barreiras orográficas e geográficas (localizadas na borda leste do QF), que recebem primeiro a umidade da circulação geral dos ventos.

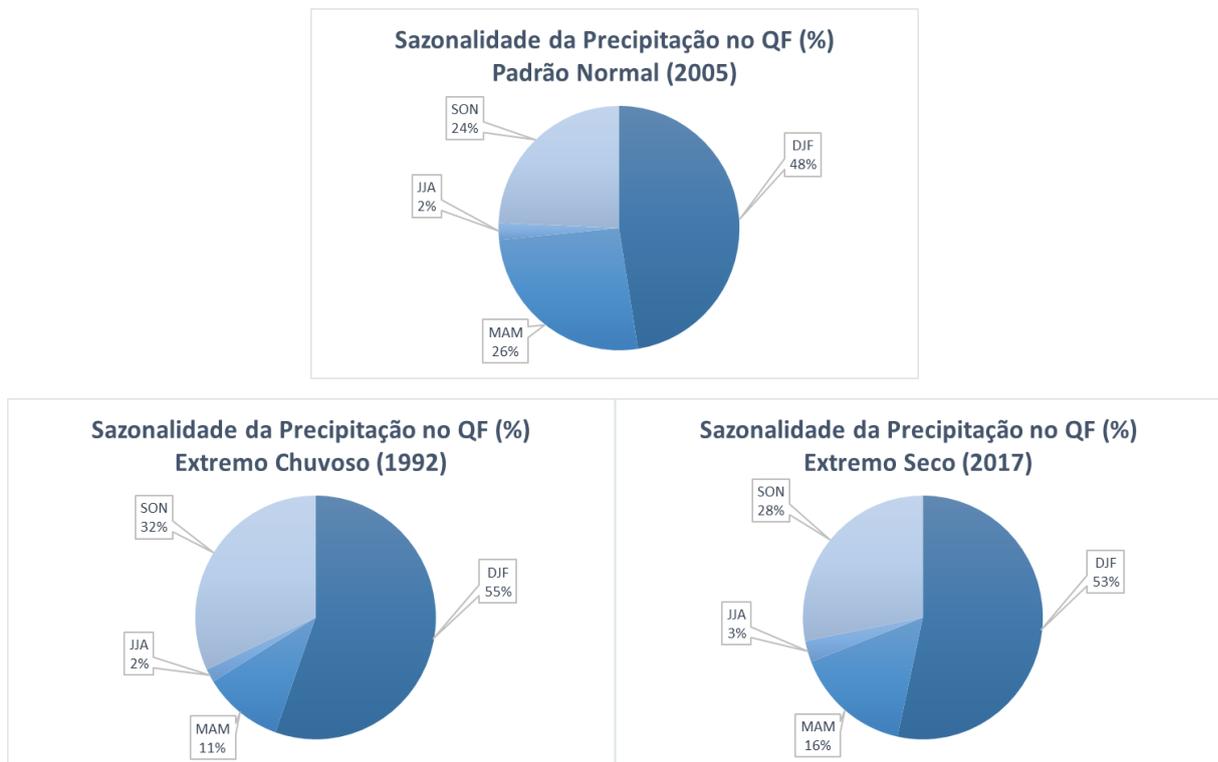
**Figura 6** - Distribuição das chuvas em algumas estações pluviométricas no Quadrilátero Ferrífero.



**Fonte:** Totais mensais de precipitação na Estação 1943000 – Morro Velho - 1855 – 2003; Estação 2043059 – Colégio Caraça – 1983 – 2020; Estação 2043060 – Itabirito – 1984 – 2020; Estação 2043013 – Congonhas – 1941 – 2019. ANA (2021).

Na identificação do comportamento sazonal das precipitações (Figura 7) percebe-se que as chuvas no Quadrilátero Ferrífero se concentram nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro (verão austral), onde precipitam, aproximadamente, 50% das chuvas anuais — na primavera, a totalidade das chuvas são superiores a 25%. O déficit hídrico ocorre nos meses de junho, julho e agosto, onde a totalidade das chuvas não são superiores a 3%. Esses percentuais apresentam poucas oscilações em anos padrões normais ou habituais, bem como de extremos chuvosos e secos (Figura 7).

**Figura 7** - Sazonalidade da precipitação no Quadrilátero Ferrífero.

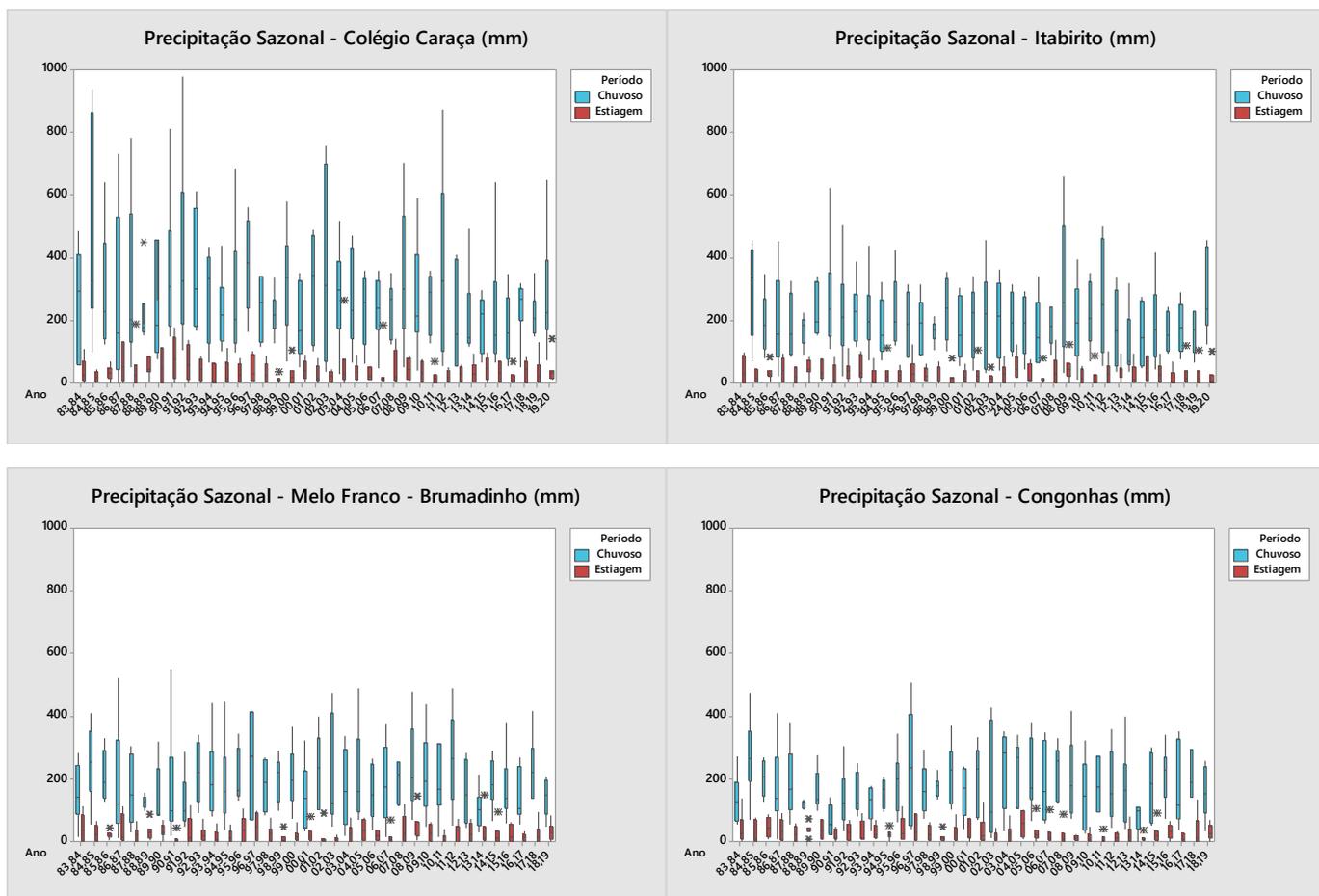


**Fonte:** Criado pelo autor com dados extraídos dos totais anuais de precipitação das Estações Pluviométricas. ANA (2021).

Para analisar o comportamento das chuvas no contexto do ano hidrológico, divididos por períodos chuvosos e de estiagens, foram produzidos gráficos de boxplot (Figura 8) com dados extraídos de algumas estações pluviométricas distribuídas no Quadrilátero Ferrífero.



**Figura 8** - Sazonalidade da precipitação no Quadrilátero Ferrífero (anos hidrológicos).



**Fonte:** Totais mensais de precipitação na Estação 2043059 – Colégio Caraça – 1983 – 2020; Estação 2043060 – Itabirito – 1984 – 2020; Estação 2043013 – Congonhas – 1983 – 2019; Estação Melo Franco (Brumadinho) – 1983 – 2019. ANA (2021).

Na análise dos gráficos de boxplot (Figura 8) é possível observar o comportamento sazonal do volume das chuvas, onde nota-se: a região da Serra do Caraça, despontando com os maiores volumes; a região de Congonhas, ao sul do QF, registrando os menores volumes de chuva.

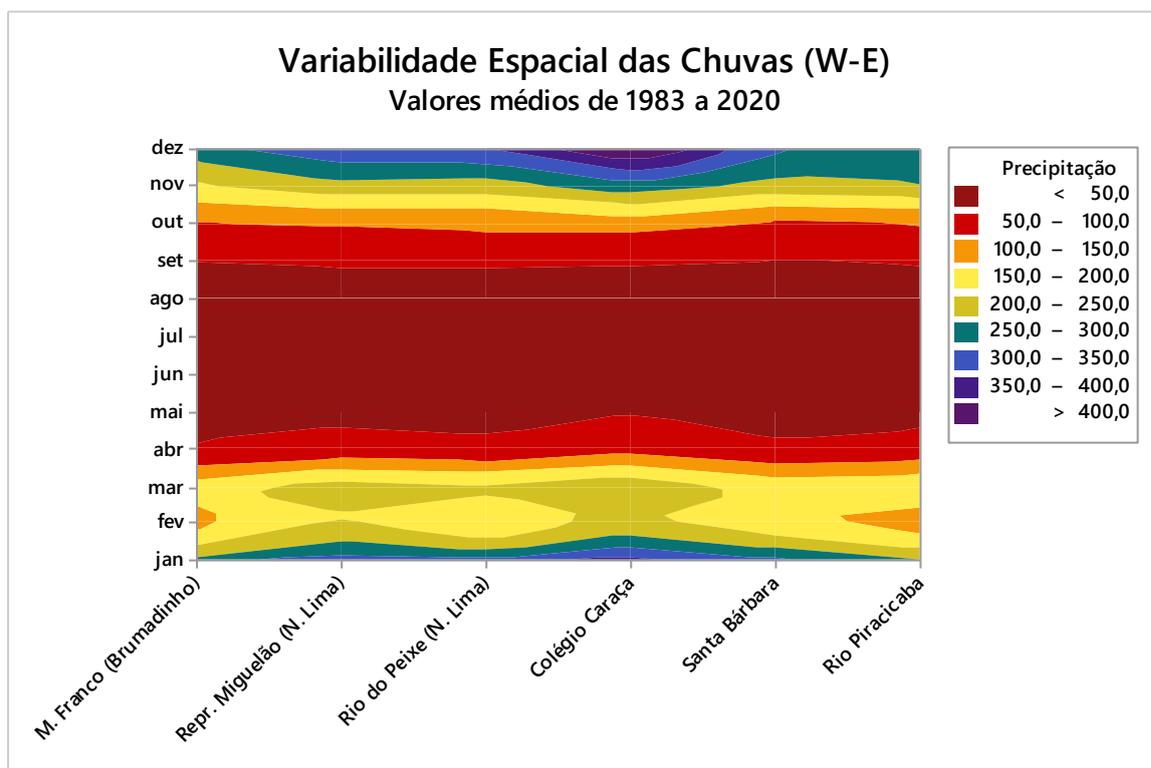
Na análise dos gráficos de boxplot (Figura 8) é possível perceber que, a partir da 2ª metade da década de 1980 até 1993, foram, em sua maioria, de anos chuvosos; já na 2ª metade da década de 1990 até 2010, foram de anos de estiagem. No início da década de 2010 há um novo ciclo de maiores volumes de chuvas, entretanto, a partir do ano hidrológico de 2014/2015, seguiu com um novo período de estiagem prolongada que perdura até 2018/2019. Essa análise considerou, principalmente, as estações localizadas no interior (Itabirito) e na

porção leste (Colégio Caraça) do QF.

O comportamento das chuvas na porção oeste (Brumadinho) e sul (Congonhas) se diferencia, apesar dos volumes das chuvas serem inferiores às porções central e leste. Percebe-se, portanto, que a década de 1980 até o ano hidrológico de 1995/1996 foi marcada por um período de estiagem, seguido por ciclos com maiores volumes de chuvas até 2012/2013 — para, após isso, seguir para novos ciclos de estiagem.

Para entender melhor o comportamento espacial das chuvas, foi elaborado a Figura 9 (transecto Oeste / Leste). Na análise da figura, nota-se que as bordas Oeste/Leste do Quadrilátero Ferrífero apresentam um declínio da pluviosidade; bem como, percebe-se que dentre o período chuvoso há, no mês de fevereiro, um recuo do volume de água precipitada. Vale ressaltar que a atuação de veranico é recorrente neste mês.

**Figura 9** - Variabilidade das chuvas (W-E).



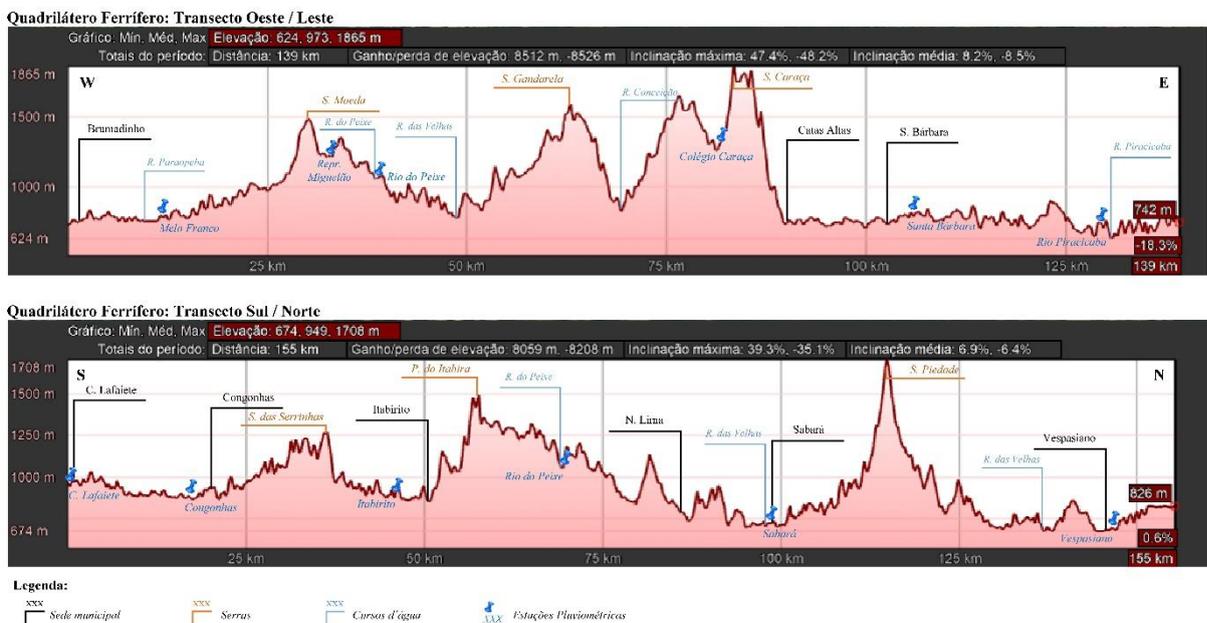
**Fonte:** Totais mensais de precipitação nas Estações — 2044008: jan/1983 – nov/2019; 2043004: jan/1983 – out/2018; 1943007: jan/1983 – out/2020; 2043043, 2043059, e 1943001: jan/1983 – dez/2020. ANA (2021).

Ademais, é na transição entre os períodos chuvosos e de estiagens que melhor é evidenciada a contribuição da orografia na pluviometria regional. Considerando a atuação da



circulação predominante dos ventos de E-W e analisando principalmente o mês de março, a corrente de ar úmida, ao transpor a barreira orográfica da Serra do Caraça, irá provocar chuvas volumosas na porção oeste da serra. Posteriormente, em função do movimento vertical ondulatório de depressões de sotavento, a corrente de ar irá gerar um segundo desague pluviométrico na porção leste da Serra da Calçada (detectado na estação Represa Miguelão), ainda no interior do Quadrilátero Ferrífero. O perfil topográfico Oeste-Leste contido na Figura 10 auxilia no entendimento desse comportamento. Nos demais meses do período chuvoso também é possível notar tal comportamento, porém, de forma atenuada — uma vez que a atuação de eventos das Zonas de Convergências se sobressai no comportamento regional.

**Figura 10** - Transectos W / E e S / N do Quadrilátero Ferrífero.



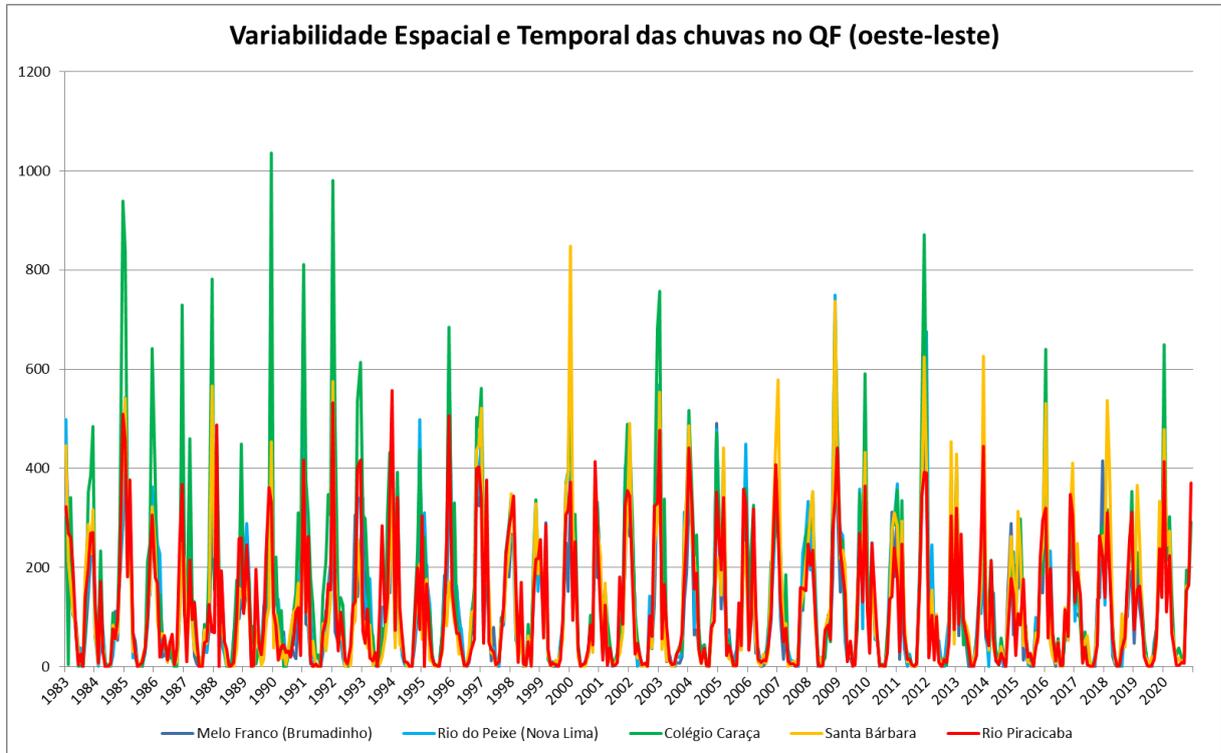
**Fonte:** Elaborado pelo autor através do Google Earth (2020).

Em relação à variabilidade espacial e temporal das chuvas no Quadrilátero Ferrífero, nota-se um volume superior nas bordas leste e nordeste (ver transecto Oeste / Leste na Figura 3, Figura 10 e na Figura 11). O intervalo entre 1984 e 1992 registrou as maiores ocorrências de chuvas no arco de tempo analisado. Já entre os anos de 1998/2003 e 2013/2020, foram registrados os menores registros — demonstrando a ciclicidade dos regimes pluviométricos.

Foi utilizado, então, o recorte temporal de 1983 a 2020. Pela (in)consistência temporal de dados de estações disponíveis, optou-se pelo maior recorte temporal comum, conforme

preconiza Monteiro (2000 apud ZAVATTINI; BOIN, 2013).

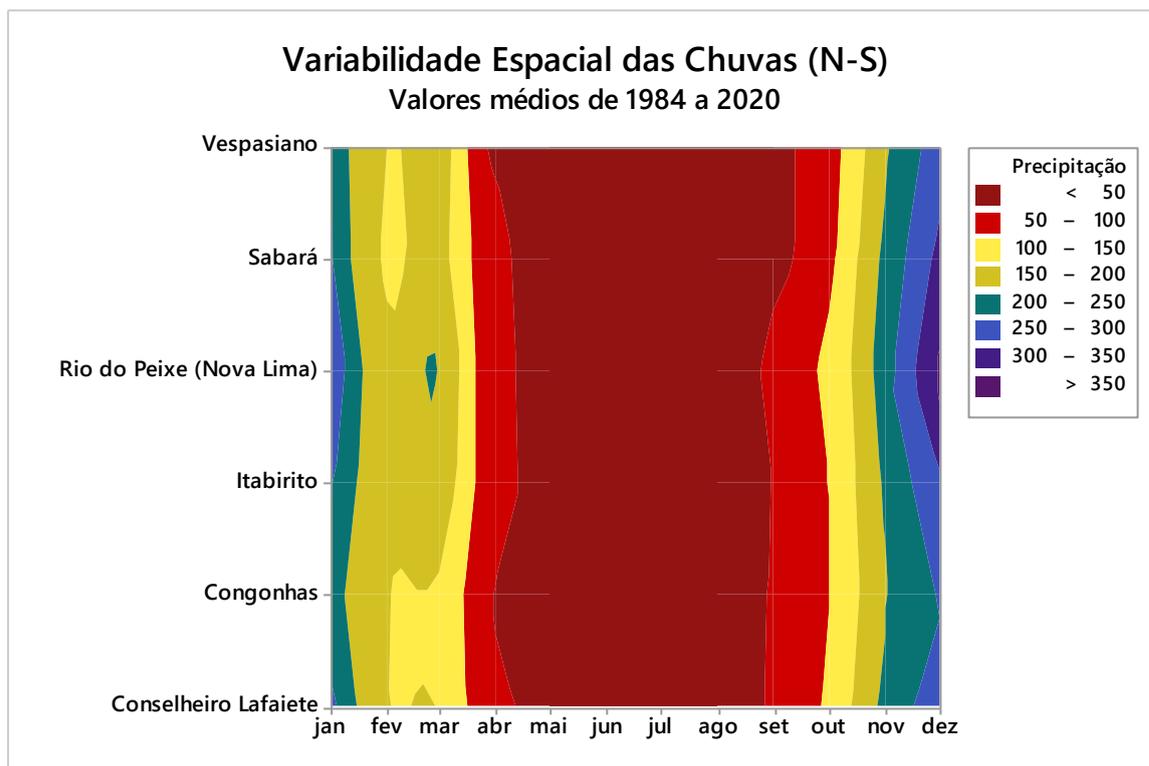
**Figura 11** - Variabilidade Espacial e Temporal das Chuvas no QF (oeste-leste).



**Fonte:** Totais mensais de precipitação. Estações — 2044008 (Melo Franco): jan/1983 – nov/2019; 2043004 (Rio do Peixe): jan/1983 – out/2018; 1943007 (Santa Bárbara): jan/1983 – out/2020; 2043059 (Colégio Caraça) e 1943001 (Rio Piracicaba): jan/1983 – dez/2020. ANA (2021).

Na análise do transecto Norte / Sul (Figura 12), percebem-se as similaridades ao corte Oeste / Leste. A região no interior do Quadrilátero Ferrífero, mais próxima das bordas Norte / Leste (Sabará, Nova Lima e Itabirito), apresenta um período seco reduzido em relação às demais regiões, assim como nota-se os maiores registros pluviométricos, principalmente, na transição entre as estações chuvosas e de estiagem (ver o volume pluviométrico no mês de março, principalmente na Estação Rio do Peixe – Nova Lima).

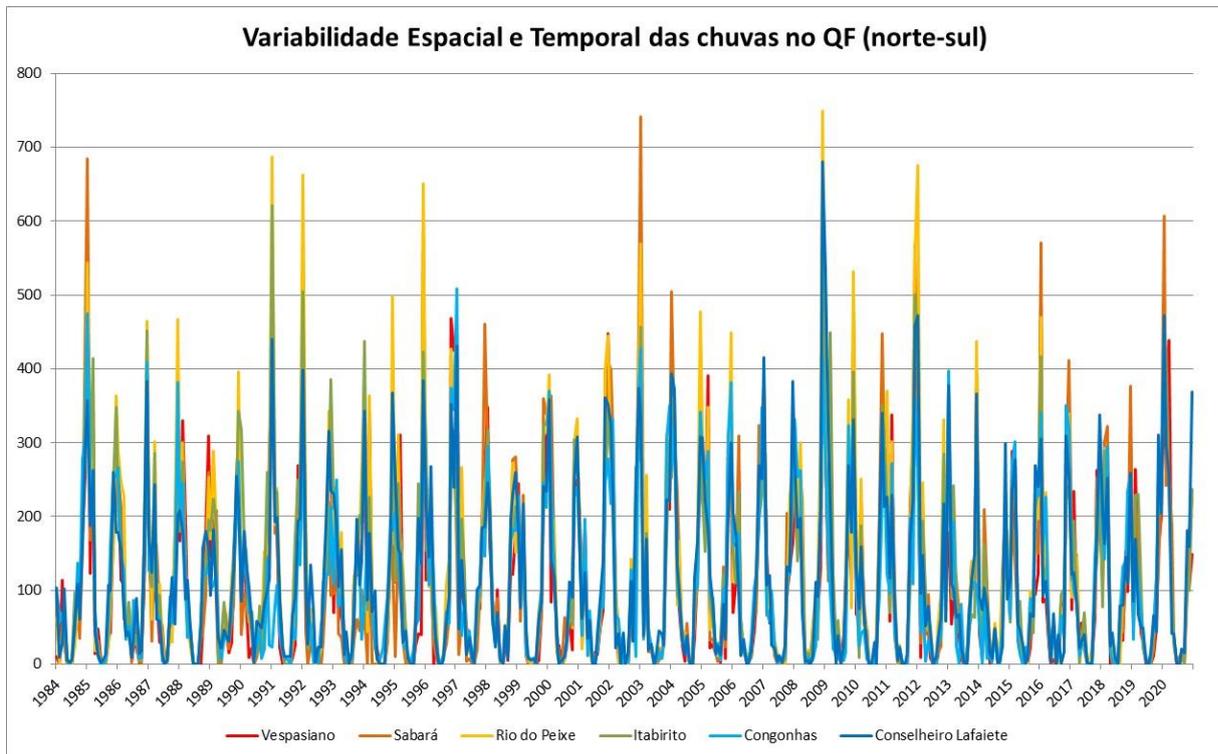
**Figura 12** - Variabilidade das chuvas (N-S).



**Fonte:** Totais mensais de precipitação. Estações — 2043013: jan/1984 – jan/2020; 2043004: jan/1984 – out/2018; 1943006, 1943009, 2043060, e 2043005 – jan/1984 – dez/2020. ANA (2021).

Porém, referente ao volume precipitado, nota-se uma redução em relação ao transecto Oeste / Leste (Figura 13). Os maiores volumes pluviométricos, no transecto Norte / Sul, ocorrem na região norte do QF e em seu entorno imediato (Estação 1943006 – Sabará, 741 mm em jan. 2003; Estação 2043004 - Rio do Peixe, Nova Lima, 749,2 mm em dez. 2008). Quando comparado com estações localizadas fora do QF, tanto ao norte (Vespasiano) quanto ao sul (Conselheiro Lafaiete), percebe-se um comportamento pluviométrico reduzido. Os maiores registros de chuvas para o arco de tempo de 1984-2020 que ocorreram na estação Vespasiano (1943009), foram em: janeiro de 1985, com 590,8 mm; janeiro de 1991, com 490,9 mm; e dezembro de 1995, com 526 mm. Já na estação Conselheiro Lafaiete (2043005), os maiores registros de chuvas ocorreram: em dezembro de 2008, com 680,8 mm; em janeiro de 2009, com 533,2 mm; e em janeiro de 2020, com 472,3 mm.

**Figura 13** - Variabilidade Espacial e Temporal das Chuvas no QF (norte-sul).



**Fonte:** Totais mensais de precipitação. Estações — 2043013 (Congonhas): jan/1984 – jan/2020; 2043004 (Rio do Peixe): jan/1984 – out/2018; 1943006 (Sabará), 1943009 (Vespasiano), 2043060 (Itabirito), e 2043005 (Conselheiro Lafaiete) – jan/1984 – dez/2020. ANA (2021).

Tal fato pode estar relacionado ao montante pluviométrico que ocorre na Serra do Caraça e ao comportamento vertical ondulatorio que irá provocar volumes de chuvas no interior do Quadrilátero Ferrífero, principalmente nas porções oeste da Serra do Caraça e leste da Serra da Calçada.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta pesquisa evidenciou-se que a orografia das serras no Quadrilátero Ferrífero contribui na dinâmica climática da região. Com a pesquisa, foi possível compreender também a variabilidade dos fenômenos atuantes. Em relação às questões problemas que nortearam a pesquisa, elas foram respondidas: I - ao demonstrar que o arranjo espacial das serras interfere no regime das precipitações; II - ao identificar a dinâmica e a amplitude volumétrica das chuvas (temporal e espacialmente); e III - ao demonstrar as particularidades na distribuição das precipitações, com destaque para a Serra do Caraça.

Com o estudo foi possível identificar a variabilidade, inter e intrassazonal, do QF. Constatou-se que as chuvas são concentradas nas estações de primavera (25%) e verão (50%), sobretudo nos meses de dezembro e janeiro; já nos meses de inverno (3%), há os maiores déficits hídricos. Também foi possível constatar que, no período de estiagem, as chuvas são inferiores a 50 mm (maio a agosto), tendo a região da Serra do Caraça o período de estiagem reduzido. Tais constatações elucidam a sazonalidade e o regime das chuvas.

Em relação à variabilidade espacial e temporal, o recorte temporal de 1984 e 1992 registrou as maiores ocorrências de chuvas no arco de tempo analisado; em contraponto, entre os anos de 1998 e 2003, 2013 a 2016, foram registrados os menores registros. Do ponto de vista espacial, as bordas norte e leste apresentam volumes de chuvas mais expressivos em relação às bordas oeste e sul, o que demonstra a espacialidade na distribuição temporal das chuvas no interior do QF. Investigando o comportamento mensal das chuvas, notou-se um volume diferenciado no interior e nas bordas norte e leste em relação às bordas oeste e sul, que são identificadas nos meses de transição entre as estações chuvosas e secas. Ademais, na borda leste, a estação chuvosa se estende mais que nas outras. Notou-se, também, o efeito ondulatório vertical provocado pela Serra do Caraça na atuação de correntes predominantes de ar de E-NE que, quando úmidas, provocam volumosas chuvas neste local; e na subsidência do ar sobre a região das Serras da Calçada e da Moeda que irá contribuir para elevar a precipitação também nesta região.

## AGRADECIMENTOS

À Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por financiar parte desta pesquisa. Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia – Tratamento da Informação Espacial e a PUC-Minas. Ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). À RPPN Santuário do Caraça, principalmente aos biólogos Aline Abreu e Douglas Henrique da Silva, bem como ao Padre Lauro, e aos membros do Opilião - Grupo de Estudos Espeleológicos (OGREE) pelo apoio na coleta de campo na Serra do Caraça.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, M. L. Climatologia da estação chuvosa de Minas Gerais: de Nimer (1977) à Zona de Convergência do Atlântico Sul. **Geonomos**, Belo Horizonte, v. 6, n°. 2, p.17-22, 1998.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA. **Rede Hidrometeorológica Nacional**. Brasília: ANA, 2021. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/apresentacao.jsf>>. Acesso em: 06 maio 2021.
- BELO HORIZONTE. **Plano Municipal de Saneamento de Belo Horizonte 2016/2019**. Belo Horizonte: PBH, 2016. v. I. Disponível em: <<https://prefeitura.pbh.gov.br/obras-e-infraestrutura/informacoes/publicacoes/plano-de-saneamento>>. Acesso em: 02 mar. 2021.
- DIAS, M. A. F. da S.; SILVA, M. G. A. J da. Para entender tempo e clima. In: CAVALCANTI, I. F. de A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. da; DIAS, M. A. F. da S. (org.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. Cap. 1, p. 15-21.
- DINIZ, F. A.; RAMOS, A. M.; REBELLO, E. R. G. *Brazilian climate normals for 1981-2010*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 53, n°. 2, p.131-143, 2018.
- GOUVEA, R. L.; CAMPOS, C. C.; MENEZES, J. T.; MOREIRA, G. F. Análise de frequência de precipitação e caracterização de anos secos e chuvosos para a bacia do Rio Itajaí. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 22, n°. 1, p.309-323, 2018.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Normal Climatológica do Brasil 1981-2010**. Brasília: INMET, 2021. Disponível em: < <https://portal.inmet.gov.br/normais>>. Acesso em: 31 mar. 2022.
- JESUS, E. F. R. de. Algumas reflexões teórico-conceituais na climatologia geográfica em mesoescala: uma proposta de investigação. **GeoTextos**, Salvador, v. 4, n.1 e 2, p.165-187, 2008.
- LEMOS, R. S.; MAGALHÃES JUNIOR, A. P. Dinâmica territorial, transformações ambientais e implicações no manancial de abastecimento público da Região Metropolitana de Belo Horizonte - bacia hidrográfica do alto Rio das Velhas, Minas Gerais. **GeoTextos**, Salvador, v. 15, n.1, p. 181-204, jul. 2019.
- MONTEIRO, C. A. de F. Análise Rítmica em Climatologia. **Climatologia**, USP/IG, São Paulo, nº1, p. 1-21, 1971.
- MONTEIRO, J. B.; ZANELLA, M. B. Eventos pluviométricos extremos e impactos associados em Fortaleza / Brasil: uma análise a partir da técnica dos quantis. In. SILVA, C. A. da; FIALHO, E. S.; STEINKE, E. T. (org.). **Experimentos em Climatologia Geográfica**. Dourados, MS: UFGD, 2014. Cap. 9, p. 165 - 186.
- MOREIRA, J. L. B.; ABREU, M. L. Distribuição espacial da precipitação sobre a região metropolitana de Belo Horizonte – MG e sua associação com a topografia local. In.: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2002, Foz de Iguaçu. **Anais...** Foz de Iguaçu, 2002.

NIMER, E. Climatologia da Região Sudeste do Brasil: Introdução à Climatologia Dinâmica – Subsídios à Geografia Regional do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia**. Rio de Janeiro: IBGE, jan./ mar. 1972. p. 3-48.

RIBEIRO, A. G. As escalas do clima. **Boletim de Geografia Teorética**. Rio Claro: AGETEO, v. 23, nº. 46-46, p. 288-294, 1993.

SANTANNA NETO, J. L. Decálogo da climatologia do sudeste brasileiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 1, nº. 1, p.43-60, 2005.

SILVA, M. R.; MOURA, F. P.; JARDIM, C. H. O diagrama de caixa (Box Plot) aplicado à análise da distribuição temporal das chuvas em Januária, Belo Horizonte e Sete Lagoas. **Revista Brasileira de Geografia Física**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, v. 10, nº. 1, p. 23-40, 2017.

SILVA, E. D.; REBOITA, M. S. Estudo da precipitação no estado de Minas Gerais, MG. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 13, nº. 14, p.120-136, 2013.

SILVA, J. P. R.; REBOITA, M. S.; ESCOBAR, G. C. J. Caracterização da Zona de Convergência do Atlântico Sul em campos atmosféricos recentes. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 25, nº. 3, p.355-377, 2019.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION - WMO. **Guidelines on the Calculation of Climate Normals**. Geneva, Switzerland: WMO, n.1203, 18 p. 2017.

XAVIER, T. M. B. S.; XAVIER, A. F. S. Caracterização de períodos secos e ou excessivamente chuvosos no estado do Ceará através da técnica dos quantis: 1964-1998. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.14, nº. 2, p. 63-78, 1999.

ZAVATTINI, J. A.; BOIN, M. N. **Climatologia Geográfica**: teoria e prática de pesquisa. Campinas: Alínea, 2013. 151 p.