

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

NAYARA ARROXELAS DOS SANTOS SIQUEIRA

**Diagnóstico e prognóstico de Eventos Extremos de Precipitação
nas Bacias Hidrográficas do Rio São Francisco e do Rio Grande**

São Paulo

2022

NAYARA ARROXELAS DOS SANTOS SIQUEIRA

**Diagnóstico e prognóstico de Eventos Extremos de Precipitação
nas Bacias Hidrográficas do Rio São Francisco e do Rio Grande**

Tese apresentada ao Departamento de Meteorologia do Instituto de Astronomia Geofísica e Ciências Atmosféricas, da Universidade de São Paulo como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Ciências.

Área de concentração: Hidrometeorologia

Orientador: Prof. Dr. Augusto José Pereira Filho.

Versão Corrigida. O original encontra-se disponível na Unidade.

São Paulo

2022

Catálogo na Publicação (CIP)
Serviço de Biblioteca e Documentação
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas
da Universidade de São Paulo

Siqueira, Nayara Arroxelas dos Santos

Diagnóstico e prognóstico de eventos extremos de precipitação nas bacias hidrográficas do Rio São Francisco e do Rio Grande / Nayara Arroxelas dos Santos Siqueira; orientador Augusto José Pereira Filho. -- São Paulo, 2022.

158 p. ; il.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Meteorologia) -- Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo.

1. Hidrometeorologia 2. Climatologia 3. Estatística 4. Análise espectral
I. Pereira Filho, Augusto José, orient. II. Título.



COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO
LISTA DE ASSINATURAS

DOUTORANDA: Nayara Arroxelas dos Santos Siqueira

PROGRAMA: Meteorologia

TÍTULO: "Diagnóstico e Prognóstico De Eventos Extremos De Precipitação Nas Bacias Hidrográficas do Rio São Francisco e do Rio Grande"

MEMBROS DA COMISSÃO JULGADORA:

Prof. Dr. Augusto José Pereira Filho - IAG/USP - orientador - IAG/USP
(por videoconferência)

p/

Profa. Dra. Rosmeri Porfírio da Rocha - IAG/USP
(por videoconferência)

p/

Prof. Dr. Ricardo Ferreira Carlos de Amorim - UFAL
(por videoconferência)

p/

Prof. Dr. Prof. Dr. Everton Frigo - UNIPAMPA
(por videoconferência)

p/

Prof. Dr. Nelson Jesus Ferreira - INPE
(por videoconferência)

DOUTORANDA:

Nayara Arroxelas dos Santos Siqueira

São Paulo, 11 de maio de 2022.

*Ao meu esposo Anderlan Henrique Batista Siqueira e ao
meu filho Henrique Gabriel Arroxelas Siqueira, DEDICO!*

Agradecimentos

Agradeço a Santíssima Trindade pela força em continuar essa tese a cada dia. A Nossa Senhora por levar a Seu Filho Jesus a não desistir e ter forças nos momentos mais difíceis. Ao Santo Anjo da Guarda por me consolar nos momentos que queria desistir.

Ao meu orientador Professor Doutor Augusto José Pereira Filho que incentivou em todos os momentos, principalmente nos momentos de perda. Foi como um amigo e pai nesses anos de doutoramento. Deus o abençoe grandemente a ele e a sua família.

Ao meu esposo Anderlan que nos momentos decisivos que queria desistir de tudo, foi como uma coluna, que sustenta e dá forças para continuar. Ao nosso filho Henrique que veio para alegrar e “dizer”: *não desista mamãe, você vai conseguir*. Amo vocês.

Aos meus pais Nadja e Petrucio, minha irmã Patrícia e sobrinhos Arthur, Lara e Letícia que de alguma forma me ajudaram quando mais precisei.

A banca que aceitou participar da minha defesa, e pelas sugestões e melhoria da tese, muito obrigada. Agradeço ao Richard (multimeios) pela assistência de transmissão online antes, durante e após a defesa.

A minha amiga de infância Monique Carvalho, que em todos os momentos me ajudou, em forma de palavras, orações e apoio. Aos amigos Isidro Ihadua e Adriana Souza que ajudaram nos momentos de dúvidas com os acontecimentos acadêmicos. Também agradeço minhas amigas Maryana, Danielle, Kedyana, Érika, Márcia, Zélia e a todos que direta ou indiretamente passaram nesses anos de doutorado.

Aos professores, funcionários e todos do IAG que de alguma forma ajudaram. Obrigada!

*É loucura muito minha, Senhor, esperar que o teu amor
Depois de todos os desmandos me aceite como sou
É loucura muito minha, Senhor, esperar com terno ardor
Que em minhas limitações faças loucuras de amor*

*Águia não sou, meu Senhor
Dela trago, tão somente, o olhar
E também, no coração, a aspiração do seu voar, voar
Quero em meu posto ficar a fitar o Sol do amor, do amor
Passarinho é o que eu sou nas mãos do meu Senhor*

*E quando da vida, Senhor, o Sol do amor se ausentar
Não vou me preocupar, porque sei
Por entre as nuvens ele está a brilhar
E em mim nascerá, Senhor, do amor a perfeita alegria
E em tuas asas, então, voarei na mais perfeita harmonia*

Irmã Kelly Patrícia

RESUMO

O objetivo desse trabalho foi o de avaliar a climatologia das Bacias do Rio Grande e Rio São Francisco por meio de análises estatísticas e prognóstico de precipitação por meio de Redes Neurais Artificiais. Utilizaram-se, para tal, dados de precipitação nas bacias, Índices Climáticos de Oscilação Decenal do Pacífico, Índice Oceânico de Niños, Oscilação Multidecenal do Atlântico, Oscilação do Atlântico Norte, Dipolo do Atlântico e Ciclo de Manchas Solares para um período de 65 anos. Os dados de precipitação foram filtrados com preenchimento de falhas por meio do método de ponderação regional. Analisou-se o comportamento da precipitação ao longo do tempo e verificou-se a relação de resultados da média climatológica e do boxplot. O Índice de Precipitação Padronizada da Bacia do Rio Grande mostrou que, nos últimos cinco anos, o período seco foi menos seco em relação aos períodos anteriores. Por outro lado, na Bacia do Rio São Francisco manteve um padrão de precipitação ao longo da série temporal de precipitação. A Análise de Agrupamento identificou cinco regiões homogêneas na Bacia do Rio Grande por meio da análise de componentes principais que explicam 86% da variância total da chuva média mensal de 174 postos pluviométricos e, quatro regiões homogêneas na Bacia do Rio São Francisco com 87% da variância total da chuva média mensal de 199 postos pluviométricos. A análise de ondeletas cruzadas indicou uma relação entre a precipitação e os índices climáticos na Bacia do Rio São Francisco, caracterizada por distribuição espaço-temporal de precipitação heterogênea devido à sua posição e extensão geográfica, com diferentes regimes de precipitação. A bacia do Rio Grande foi caracterizada por regimes homogêneos de precipitação. Os prognósticos por meio do método auto-regressivo integrado de médias móveis (ARIMA) e redes neurais artificiais (RNAs) indicaram que esse último apresentou desempenho melhor, além de contribuir para melhorar as análises climatológicas. Porém, nenhum dos métodos foi capaz de atingir um resultado satisfatório de relação causa e efeito entre os índices climáticos e a precipitação nas bacias hidrográficas. Mostrando que a interação entre os oceanos e atmosfera e a chuva é mais complexa. Contudo, estudos futuros podem melhorar os resultados obtidos.

Palavras-chave: Hidrometeorologia, Climatologia, Métodos Estatísticos e Análise Espectral.

ABSTRACT

The main objective of this work was to evaluate the climatological behavior of the Rio Grande and Rio São Francisco Basins through statistical analysis and weather forecast through Artificial Neural Networks. Observed rainfall data, Pacific Decennial Climate Indexes, Oceanic Niños Index, Atlantic Multidecadal Oscillation, North Atlantic Oscillation, Atlantic Dipole and Sunspot Cycle for a period of 65 years were used. Rainfall data were filtered and filled in using the Regional Weighting method. The behavior of precipitation throughout the year was discussed and the relationship between the results of the climatological average and the box diagram was corroborated. The Standardized Precipitation Index of the Rio Grande Basin showed that in the last 5 years the dry period has tended to be less dry compared to previous periods; for the São Francisco River a pattern along the time series. The Cluster Analysis showed five Homogeneous Regions of Rio Grande and explained through Main components 86.68% of the total variance of the average monthly rainfall of the 174 pluviometric stations and four Homogeneous Regions of the São Francisco River and 87.41% of the total variance of the rainfall monthly average of the 199 pluviometric stations. The Cross Wavelet Analysis made it possible to link the rainfall and the Climatic Index data. The Rio Grande Basin were not made the Wavelets Crossed by Homogeneous Regions, the similarity throughout the Basin, however the São Francisco River were analyzed due to its geographical position being in different regions of Brazil and presenting different precipitation behavior. Artificial Neural Networks had a satisfactory response and contributed to a better analysis of correspondences between the data studied.

Key words: Hydrometeorology, Climatology, Statistical Methods and Spectral Analysis

Lista de Figuras

Figura 1 – Regiões com diferentes ciclos de precipitação na América do Sul.....	7
Figura 2 – Esquema de uma Bacia Hidrográfica.....	8
Figura 3 – Normal climatológica de chuva acumulada mensal anual (mm) de 1981 a 2010.	9
Figura 4 – Bacias Hidrográficas do Brasil.....	10
Figura 5 – Bacia Hidrográfica do São Francisco.....	11
Figura 6 – Bacia Hidrográfica do Atlântico Leste. Fonte: Autora, 2020.....	12
Figura 7 – Série temporal do Índice Oceânico de Niños para o período de 1950 a 2015.	15
Figura 8 – Série temporal da Oscilação Decenal do Pacífico para o período de 1950 a 2015.	16
Figura 9 – Série temporal da Oscilação Multidecenal do Atlântico para o período de 1950 a 2015.	18
Figura 10 – Série temporal da Oscilação do Atlântico Norte para o período de 1950 a 2015.	19
Figura 11 – Série temporal do Dipolo do Atlântico para o período de 1950 a 2015.	20
Figura 12 – Número de Manchas Solares para o período de 1950 a 2015.	21
Figura 13 – Localização da Bacia do Rio São Francisco e da Bacia do Rio Grande.	26
Figura 14 – Distribuição espacial dos pluviômetros (pontos) no Brasil por regiões...28	
Figura 15 – Localização geográfica do conjunto de dados das estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA).....	29
Figura 16 – Localização geográfica do conjunto de dados das estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA) filtradas pelo tamanho do arquivo texto maior que 100 kilobytes (KB), pelo ano inicial dos dados menor que 1951.	30
Figura 17 – Diferença de fase e sua interpretação.....	35
Figura 18 – Esquema de um diagrama de caixa (boxplot).....	36
Figura 19 – Exemplo de uma simples rede neural com camada de entrada, camada oculta e camada de saída.....	38
Figura 20 – Distribuição dos postos pluviométricos da Bacia do Rio Grande.....	40
Figura 21 – Série temporal da chuva média mensal (linha azul em mm) e o desvio padrão (linha vermelha) da média das 174 estações da Bacia do Rio Grande para o período de 1950 a 2015.	41
Figura 22 – Série temporal da chuva total anual (mm) da média das 174 estações da Bacia do Rio Grande para o período de 1950 a 2015.....	41

Figura 23 – Média climatológica (mm) de 1981 a 2010 da média das 174 estações da Bacia do Rio Grande.....	42
Figura 24 – Diagrama de caixa (<i>Boxplot</i>) da Bacia do Rio Grande para o período de 1950 a 2015 da média das 174 estações.....	43
Figura 25 – Representação da (a) série temporal e (b) gráfico pseudo-3D do índice de precipitação normalizada da média das 174 estações da Bacia do Rio Grande entre 1950 e 2015.....	44
Figura 26 – Frequência em número de meses das classes do índice de precipitação padronizada da média das 174 estações da Bacia do Rio Grande entre 1950 e 2015.	44
Figura 27 - (a) Distribuição espacial dos totais médios anuais da chuva e (b) Regiões Homogêneas da chuva obtidas da aplicação do método de agrupamento de Ward aos principais fatores comuns espaciais da média das 174 estações da Bacia do Rio Grande.	46
Figura 28 – Padrão espacial do (a) primeiro, (b) segundo e (c) terceiro fator temporal e gráfico da chuva de cada fator (x) da Bacia do Rio Grande.	47
Figura 29 - Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Bacia do Rio Grande e o Índice Oceânico de Niños e espectro global, para o período de 1950 a 2015.....	50
Figura 30 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Bacia do Rio Grande e a Oscilação Decenal do Pacífico e espectro global, para o período de 1950 a 2015.....	52
Figura 31 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Bacia do Rio Grande e a Oscilação Multidecenal do Atlântico e espectro global, para o período de 1950 a 2015.....	53
Figura 32 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Bacia do Rio Grande e a Oscilação do Atlântico Norte e espectro global, para o período de 1950 a 2015.....	55
Figura 33 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Bacia do Rio Grande e o Dipolo do Atlântico e espectro global, para o período de 1950 a 2015.....	56
Figura 34 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Bacia do Rio Grande e o Ciclo de Manca Solar e espectro global, para o período de 1950 a 2015.....	57
Figura 35 – Distribuição dos 199 postos pluviométricos da Bacia do Rio São Francisco.	58
Figura 36 – Série temporal da chuva média mensal (linha azul em mm) e o do desvio padrão (linha vermelha) da média das 199 estações da Bacia do Rio São Francisco para o período de 1950 a 2015.....	59
Figura 37 - Série temporal da chuva total anual (mm) da média das 199 estações da Bacia do Rio São Francisco para o período de 1950 a 2015.....	60
Figura 38 - Média climatológica (mm) de 1981 a 2010 da média das 199 estações da Bacia do Rio São Francisco. Fonte (do autor).....	60

Figura 39 – Diagrama de caixa (<i>Boxplot</i>) da Bacia do Rio São Francisco para o período de 1950 a 2015 da média das 199 estações.....	61
Figura 40 – Representação da (a) série temporal e (b) gráfico pseudo-3D do índice de precipitação normalizada da média das 199 estações da Bacia do Rio São Francisco entre 1950 e 2015.	62
Figura 41 – Frequência em número de meses das classes do índice de precipitação padronizada da média das 199 estações da Bacia do Rio São Francisco entre 1950 e 2015.....	63
Figura 42 – (a) Distribuição espacial dos totais médios anuais da chuva e (b) Regiões Homogêneas da chuva obtidas da aplicação do método de agrupamento de Ward aos principais fatores comuns espaciais da média das 199 estações da Bacia do Rio São Francisco.	64
Figura 43 – Padrão espacial do (a) primeiro, (b) segundo e (c) terceiro fator temporal e gráfico da chuva de cada fator (x) da Bacia do Rio São Francisco.	66
Figura 44 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Bacia do Rio São Francisco e o Índice Oceânico de Niños e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.....	68
Figura 45 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Bacia do Rio São Francisco e a Oscilação Decenal do Pacífico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.	69
Figura 46 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Bacia do Rio São Francisco e a Oscilação Multidecenal do Atlântico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.	70
Figura 47 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Bacia do Rio São Francisco e a Oscilação do Atlântico Norte e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.	71
Figura 48 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Bacia do Rio São Francisco e o Dipolo do Atlântico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.....	72
Figura 49 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Bacia do Rio São Francisco e o Ciclo de Manchas Solares e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.....	73
Figura 50 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 1 da Bacia do Rio São Francisco e o Índice Oceânico de Niños e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.	75
Figura 51 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 1 da Bacia do Rio São Francisco e a Oscilação Decenal do Pacífico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.....	76
Figura 52 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 1 da Bacia do Rio São Francisco e a Oscilação Multidecenal do Atlântico e Espectro de Ondeleta Global, para o	

período de 1950 a 2015.....	77
Figura 53 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 1 da Bacia do Rio São Francisco e a Oscilação do Atlântico Norte e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.	78
Figura 54 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 1 da Bacia do Rio São Francisco e o Dipolo do Atlântico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.	80
Figura 55 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 1 da Bacia do Rio São Francisco e o Ciclo de Manchas Solares e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.	81
Figura 56 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 2 da Bacia do Rio São Francisco e o Índice Oceânico de Niños e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.	82
Figura 57 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 2 da Bacia do Rio São Francisco e a Oscilação Decenal do Pacífico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.....	84
Figura 58 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 2 da Bacia do Rio São Francisco e a Oscilação Multidecenal do Atlântico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.....	85
Figura 59 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 2 da Bacia do Rio São Francisco e a Oscilação do Atlântico Norte e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.	86
Figura 60 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 2 da Bacia do Rio São Francisco e o Dipolo do Atlântico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.	87
Figura 61 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 2 da Bacia do Rio São Francisco e o Ciclo de Manchas Solares e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.	88
Figura 62 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 3 da Bacia do Rio São Francisco e o Índice Oceânico de Niños e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015. Fonte (do autor)	89
Figura 63 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 3 da Bacia do Rio São Francisco e a Oscilação Decenal do Pacífico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.....	90

Figura 64 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 3 da Bacia do Rio São Francisco e a Oscilação Multidecenal do Atlântico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.....	91
Figura 65 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 3 da Bacia do Rio São Francisco e a Oscilação do Atlântico Norte e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.	92
Figura 66 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 3 da Bacia do Rio São Francisco e o Dipolo do Atlântico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.	93
Figura 67 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 3 da Bacia do Rio São Francisco e o Ciclo de Manchas Solares e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.	94
Figura 68 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 4 da Bacia do Rio São Francisco e o Índice Oceânico de Niños e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.	95
Figura 69 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 4 da Bacia do Rio São Francisco e a Oscilação Decenal do Pacífico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.....	96
Figura 70 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 4 da Bacia do Rio São Francisco e a Oscilação Multidecenal do Atlântico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.....	97
Figura 71 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 4 da Bacia do Rio São Francisco e a Oscilação do Atlântico Norte e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.	98
Figura 72 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 4 da Bacia do Rio São Francisco e o Dipolo do Atlântico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.	99
Figura 73 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 4 da Bacia do Rio São Francisco e o Ciclo de Manchas Solares e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.	100
Figura 74 – Análise dos lags e resíduos dos dados de precipitação do rio São Francisco para o modelo ARIMA em (a). Previsão elaborada com os resultados do modelo ARIMA em (b).....	102
Figura 75 – Análise dos lags e resíduos dos dados de precipitação do rio Grande para o modelo ARIMA em (a). Previsão elaborada com os resultados do modelo	

ARIMA em (b).....	104
Figura 76 – Análise dos lags e resíduos dos dados de precipitação do rio São Francisco para o modelo de redes neurais artificiais em (a). Previsão elaborada com os resultados do modelo de redes neurais artificiais (b).	106
Figura 77 – Análise dos lags e resíduos dos dados de precipitação do rio Grande para o modelo de redes neurais artificiais em (a). Previsão elaborada com os resultados do modelo de redes neurais artificiais bem (b).	108
Figura A. 1 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 1 da Bacia do Rio Grande e o Índice Oceânico de Niños e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.	123
Figura A. 2 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 1 da Bacia do Rio Grande e a Oscilação Decenal do Pacífico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.	123
Figura A. 3 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 1 da Bacia do Rio Grande e a Oscilação Multidecenal do Atlântico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.	124
Figura A. 4 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 1 da Bacia do Rio Grande e a Oscilação do Atlântico Norte e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.	124
Figura A. 5 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 1 da Bacia do Rio Grande e o Dipolo do Atlântico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.	125
Figura A. 6 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 1 da Bacia do Rio Grande e o Ciclo de Manchas Solares e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.	125
Figura A. 7 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 2 da Bacia do Rio Grande e o Índice Oceânico de Niños e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.	126
Figura A. 8 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 2 da Bacia do Rio Grande e a Oscilação Decenal do Pacífico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.	126
Figura A. 9 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 2 da Bacia do Rio Grande e a Oscilação Multidecenal do Atlântico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.	127

- Figura A. 10 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 2 da Bacia do Rio Grande e a Oscilação do Atlântico Norte e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.127
- Figura A. 11 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 2 da Bacia do Rio Grande e o Dipolo do Atlântico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.128
- Figura A. 12 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 2 da Bacia do Rio Grande e o Ciclo de Manchas Solares e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.128
- Figura A. 13 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 3 da Bacia do Rio Grande e o Índice Oceânico de Niños e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.129
- Figura A. 14 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 3 da Bacia do Rio Grande e a Oscilação Decenal do Pacífico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.129
- Figura A. 15 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 3 da Bacia do Rio Grande e a Oscilação Multidecenal do Atlântico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.130
- Figura A. 16 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 3 da Bacia do Rio Grande e a Oscilação do Atlântico Norte e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.130
- Figura A. 17 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 3 da Bacia do Rio Grande e o Dipolo do Atlântico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.131
- Figura A. 18 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 3 da Bacia do Rio Grande e o Ciclo de Manchas Solares e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.131
- Figura A. 19 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 4 da Bacia do Rio Grande e o Índice Oceânico de Niños e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.132
- Figura A. 20 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 4 da Bacia do Rio Grande e a Oscilação Decenal do Pacífico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.132
- Figura A. 21 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de

- precipitação da Região Homogênea 4 da Bacia do Rio Grande e a Oscilação Multidecenal do Atlântico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.133
- Figura A. 22 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 4 da Bacia do Rio Grande e a Oscilação do Atlântico Norte e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.133
- Figura A. 23: Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 4 da Bacia do Rio Grande e o Dipolo do Atlântico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.134
- Figura A. 24 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 4 da Bacia do Rio Grande e o Ciclo de Manchas Solares e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.134
- Figura A. 25 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 5 da Bacia do Rio Grande e o Índice Oceânico de Niños e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.135
- Figura A. 26 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 5 da Bacia do Rio Grande e a Oscilação Decenal do Pacífico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.135
- Figura A. 27 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 5 da Bacia do Rio Grande e a Oscilação Multidecenal do Atlântico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.136
- Figura A. 28 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 5 da Bacia do Rio Grande e a Oscilação do Atlântico Norte e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.136
- Figura A. 29 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 5 da Bacia do Rio Grande e o Dipolo do Atlântico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.137
- Figura A. 30 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 5 da Bacia do Rio Grande e o Ciclo de Manchas Solares e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.137

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Anos de El Niño e La Niña e suas intensidades.....	16
Tabela 2 – Valores do Índice Padronizado de Precipitação e Classes de seca e de umidade.....	37
Tabela 3 – Autovalores e total da variância explicada para a chuva média mensal no Bacia do Rio Grande.....	45
Tabela 4 – Autovalores e total da variância explicada para a chuva média mensal no Bacia do Rio São Francisco.....	63

Lista de Abreviaturas e Siglas

ANA:	Agência Nacional de Água
AS:	América do Sul
ASAS:	Alta Subtropical do Atlântico Sul
BH:	Bacia Hidrográfica
BRG	Bacia do Rio Grande
BRSF	Bacia do Rio São Francisco
CCM:	Complexo Convectivo de Mesoescala
CMS:	Ciclos de Manchas Solares
CP:	Componente Principal
DA:	Dipolo do Atlântico
EN:	El Niño
ESRL:	Earth System Research Laboratory
ENOS:	El Niño-Oscilação Sul
FF:	Frentes Frias
ION:	Índice Oceânico de Niños
IPP:	Índice de Precipitação Padronizada
JBN:	Jatos de Baixos Níveis
LI:	Linhas de Instabilidades
LN:	La Niña
NOAA:	National Oceanic and Atmospheric Administration
OAN:	Oscilação do Atlântico Norte
ODP:	Oscilação Decenal do Pacífico
OL:	Ondas de Leste
OMA:	Oscilação Multidecenal do Atlântico
OQB:	Oscilação Quase-Bienal
PSD:	Physical Science Division
RH:	Região Homogênea
RN:	Redes Neurais
RNA:	Redes Neurais Artificiais
SF:	Sistemas Frontais
TOC:	Transformada de Ondeleita Cruzada
VCAN:	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
ZCAS:	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT:	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

RESUMO	V
ABSTRACT	VI
LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABELAS	XV
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	XVI
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1. Bacia Hidrográfica	8
3.1.1. São Francisco	11
3.1.2. Paraná.....	12
3.2. Índices Climáticos.....	13
3.2.1 El Niño-Oscilação Sul	13
3.2.1.1. Índice Oceânico de Niños	15
3.2.2. Oscilação Decenal do Pacífico	16
3.2.3. Oscilação Multidecenal do Atlântico	17
3.2.4. Oscilação do Atlântico Norte	18
3.2.5. Dipolo do Atlântico	19
3.2.6. Ciclos de Manchas Solares	20
3.3. Eventos Extremos.....	21
3.4. Modelo Hidrológico	23
4. MATERIAL E MÉTODOS	26
4.1. Área de estudo	26
4.2. Base de dados.....	27
4.3. Filtragem e escolhas dos dados da Agência Nacional de Águas	27
4.4. Preenchimento dos dados de precipitação	31
4.5. Análise de Agrupamento	31
4.6. Análise de Componente Principais (ACP).....	32
4.7. Análise Exploratória de Dados (AED)	33
4.8. Anomalia de Chuva	33
4.9. Análise de Ondeleta	34
4.10. Análise de Ondeleta Cruzada.....	34
4.11. <i>Boxplot</i> ou Diagrama de Caixa.....	36
4.12. Índice de Precipitação Padronizada.....	37
4.13. Redes Neurais Artificiais	38
5. RESULTADOS	40
5.1. Análise do Comportamento da Chuva na Bacia do Rio Grande.....	40
5.2. Análise Espectral da Bacia do Rio Grande	48
5.3. Análise do Comportamento da Chuva na Bacia do Rio São Francisco	57
5.4. Análise Espectral da Bacia do Rio São Francisco	66

5.4.1. Análise Espectral: Região Homogênea Um do Rio São Francisco	74
5.4.1. Análise Espectral: Região Homogênea Dois do Rio São Francisco.....	81
5.4.1. Análise Espectral: Região Homogênea Três do Rio São Francisco.....	88
5.4.1. Análise Espectral: Região Homogênea Quatro do Rio São Francisco.....	94
6. AVALIAÇÃO DOS MODELOS ARIMA E REDES NEURAS ARTIFICIAIS PARA PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DAS CHUVAS NAS BACIAS DO SÃO FRANCISCO E GRANDE	100
6.1. Análise da modelagem com ARIMA para os dados dos rios São Francisco e Grande.....	100
6.2. Análise da modelagem com Redes Neurais para os dados dos rios São Francisco e Grande.....	105
7. CONCLUSÕES	110
7.1. Sugestões para Trabalhos Futuros	111
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	112
ANEXO A	123
A.1. Região Homogênea 1 da Bacia do Rio Grande	123
A.2. Região Homogênea 2 da Bacia do Rio Grande	126
A.3. Região Homogênea 3 da Bacia do Rio Grande	129
A.4. Região Homogênea 4 da Bacia do Rio Grande	132
A.5. Região Homogênea 5 da Bacia do Rio Grande	135

1. INTRODUÇÃO

O sistema atmosférico é termo-hidrodinâmico, e é composto pela pressão, temperatura e umidade específica e caracterizado nas direções x , y e z . O comportamento da atmosfera é influenciado pela nebulosidade, radiação solar, aerossóis etc., mas também a precipitação, evaporação e o escoamento superficial estão integrados com a variabilidade da atmosfera e com o ciclo hidrológico. A radiação solar gera os movimentos atmosféricos ao longo do globo terrestre, que se pode constatar através das Circulações Gerais da Atmosfera e dos Oceanos (WISLER e BRATER, 1959; PEIXOTO, 1987; PEIXOTO e OORT, 1992; BARRY E CHORLEY, 2013).

A interação oceano-atmosfera tem um papel fundamental na dinâmica destes, pois os oceanos absorvem radiação solar e transferida para a atmosfera por meio da evaporação, que essa umidade atmosférica levada pelos sistemas globais de ventos contribui na precipitação nos continentes, (WISLER e BRATER, 1959; PEIXOTO, 1987; PEIXOTO e OORT, 1992; BARRY E CHORLEY, 2013) por exemplo, a maior parte da água que adentra o Brasil é através das chuvas que vem do Oceano Atlântico.

O ciclo hidrológico é o comportamento natural da água e que descreve o seu movimento, ocorrências e relações com a humanidade, por meio das três fases, através da atmosfera, oceanos e continentes da Terra. A água varia em quantidade, nos oceanos pode ser considerada ilimitada e nos desertos quase nula (BIERKENS *et al.*, 2008; VILLELA e MATTOS, 1975; WISLER e BRATTER, 1964).

O estudo do ciclo hidrológico tem maior interesse na fase terrestre, que é onde se encontra a bacia hidrográfica (COLLISCHONN e TASSI, 2009). A bacia hidrográfica é uma área delimitada de uma região topográfica que escoar a água por um curso de água principal e seus afluentes e descarregada por uma saída (VILLELA e MATTOS, 1975; SCHIAVETTI e CAMARGO, 2002).

Conhecer a hidrologia é muito importante, visto que sua informação garante uma boa avaliação dos sistemas que integram o ciclo hidrológico. A hidrologia, segundo Wisler e Bratter (1964), é a ciência que ocupa os processos através do enchimento e esvaziamento dos recursos hídricos na parte sólida da Terra. Já, Tucci (1998) descreve a hidrologia que trata dos fenômenos naturais complexos que são encontrados no ciclo hidrológico por meio da precipitação, evaporação, infiltração e escoamento, que dependem de vários aspectos que podem dificultar sua análise

qualitativa e quantitativa.

A hidrologia no Brasil é de grande interesse e importância, porque a geração de energia é procedente das usinas hidrelétricas, que corresponde cerca de 97% do total de energia elétrica gerada e o terceiro maior produtor do mundo (COLLISCHONN e TASSI, 2009). Por isso é importante verificar os eventos extremos que impactam o dia a dia das pessoas em vários setores econômicos.

Segundo Galvão e Bermann (2015), é histórico o conflito entre a geração de energia nas represas hidrelétricas e o uso em geral da água. Destacam ainda, que a gestão da água no Brasil não é algo recente como a Lei das Águas Decreto nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997, mas é determinada desde 10 de julho de 1934 que é conhecido como Código das Águas, Decreto nº 24.643.

Antes do Código das Águas, não existia legislação para a energia elétrica e os recursos hídricos, ou seja, cada Estado e Município tinham sua própria autonomia quanto aos contratos e autorizações das empresas de energia privadas, e após decretar o Código das Águas, o Sistema Elétrico Brasileiro foi constituído, alcançando assim a outorga dos reservatórios com desígnio a geração de energia hidrelétrica. Mas foi em 1997 com a Lei das Águas que o uso da água passou a ser questionado sobre a forma de garantir a sua utilidade e dando prioridade ao consumo humano e animal em caso de eventos extremos de seca (GALVÃO e BERMANN, 2015).

Os eventos extremos de secas e de precipitação alteram o dia a dia das pessoas, impactam as economias dos países, produzem vítimas fatais e danos à infraestrutura (SILVA DIAS, 2014), os prejuízos socioeconômicos são enormes, em algumas circunstâncias há perda de vida e danos materiais que chegam a milhões de reais.

Uma das principais causas de tais impactos é a falta de planejamento governamental, além da ocupação inapropriada de regiões (SANTOS *et al.*, 2011), e os eventos extremos são de particular relevância para a sociedade devido ao seu alto impacto nos setores público e privado (BELLPRAT *et al.*, 2015). Assim sendo é necessário o uso de ferramentas como a Previsão Numérica de Tempo através da modelagem.

A modelagem é a interpretação de algum sistema, através de uma linguagem de fácil acesso e uso, que objetiva entender e buscar as respostas em distintas entradas. Ele não é um objetivo, e sim uma ferramenta para atingir um objetivo. Uma das ferramentas que a ciência desenvolveu para compreender e representar o

comportamento da bacia hidrográfica foi o modelo hidrológico (TUCCI, 1998).

A transformação de chuva em relação a bacia em vazão do rio tem o processo de não-linearidade, e o uso de Redes Neurais (RN) produz ótimos resultados na modelagem de processos hidrológicos na transformação chuva em vazão, mas requer conhecimentos de vários processos do ciclo hidrológico que são de extrema complexidade. Portanto, as RN são úteis em modelagem de BH devido as vantagens que ela traz, por exemplo, quando há pouca familiaridade com a dinâmica hidrológica da bacia (SANTOS, 2001).

Conhecendo bem as zonas climáticas, os diferentes fenômenos de precipitação, as bacias hidrográficas, a vazão de uma dada região, é importante para o setor elétrico do local estudado, e avaliando os sistemas, pode-se estimar a quantificação e precificação de energia de tal local. Para isso, uso de modelos hidrológicos ajudam a previsão de tais fenômenos que irão atuar no preço e distribuição de energia.

A justificativa desse trabalho é averiguar as causas e consequências dos eventos extremos que ocorrem nas bacias hidrográficas, através de uma investigação dos fenômenos meteorológicos que trazem efeitos nocivos e/ou benéficos as regiões hidrográficas em estudo, devido a importância que a água é para os seres vivos, a indústria, o setor elétrico, o agronegócio, entre outros setores da sociedade.

2. OBJETIVOS

Geral:

Estudar, analisar e simular o comportamento do campo de precipitação sobre as Bacias Hidrográfica do Rio Grande e Rio São Francisco, e suas relações com as variabilidades climáticas que interferem na produção de chuva.

Específicos:

- Analisar as interações climáticas de longo e curto prazos com o regime pluviométrico das Bacias Hidrográficas.
- Aplicar técnicas estatísticas para qualificar e, se possível, quantificar a dinâmica da precipitação na região estudada.
- Estudar eventos extremos utilizando os métodos estatísticos, e correlacionar com oscilações atmosféricas e oceânicas.
- Construir um modelo prognóstico de curto e longo prazo baseado em redes neurais artificiais.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A dinâmica e a variabilidade climática são complexas e exigem estudos profundos para que se possa aprimorar os conhecimentos que visa a sua previsão. O clima é controlado por processos físicos internos (interação oceano-atmosfera interanual e decenal – El Niño-Oscilação Sul (ENOS), Oscilação Decenal do Pacífico (ODP), por exemplo) e externos (a variabilidade solar dos números de manchas que identificam quando o Sol está em maior ou menor atividade) ao planeta e por processos de feedback, que podem ser positivos (efeito estufa) ou negativos (albedo planetário) (PEIXOTO e OORT, 1992; MOLION, 2005).

Os oceanos são grandes controladores climáticos. A relação dos Oceanos Pacífico (ENOS, ODP, etc.), Atlântico (Oscilação Multidecenal do Atlântico (OMA), Oscilação do Atlântico Norte (OAN), Dipolo) e Antártico (Oscilação Quase-Bienal (OQB)) influenciam nos regimes de precipitação na América do Sul (AS) (POVEDA e MESA, 1996; SATYAMURTY, 1998; CARDOSO, 2005; ANDRÉ *et al.*, 2006; SIQUEIRA *et al.*, 2008; SIQUEIRA, 2012; SANTOS, 2013). Por isso, o conhecimento dos fenômenos que ocorrem nos mesmos é de grande importância para os estudos climáticos e o entendimento da dinâmica do clima de nosso planeta.

Por apresentar um sistema não linear, o planeta Terra passa por períodos de decréscimo e aumento de temperatura ao longo da sua história, com oscilações entre uma série de episódios glaciais e interglaciais, durante os quais as geleiras continentais têm alternadamente avançado e recuado à medida que a temperatura da Terra eleva ou abaixa. Uma dessas causas são provocadas por eventos externos, a variabilidade da atividade solar tem uma contribuição significativa para a mudança do clima da Terra, conjugada a outros fatores, como a ação dos raios cósmicos e a formação de nuvens baixas (PORTUGAL e PACINI, 2013), e um desses eventos podem ser causados por extremos de seca e cheia. Esses eventos extremos de tempo e clima também perfaz a variabilidade climática, variam desde dias até milênios e são eventos de impactos significativos (MARENGO, 2009).

Segundo Peixoto e Oort (1992), o clima é extremamente complexo devido às interações não lineares de seus componentes. Visto que a atmosfera é um sistema termodinâmico que não pode ser considerado separadamente de seus sistemas adjacentes, que são eles, atmosfera, biosfera, hidrosfera, litosfera e a criosfera. Ainda que eles apresentem comportamento, propriedades físicas e composição diferentes

eles estão todos ligados entre si por fluxos de massa, energia e *momentum* que formam o sistema climático. A interação desses sistemas com a influência da radiação solar que entra e que sai é o que faz o ciclo hidrológico possível.

A região da América do Sul (AS) possui diferentes tipos de relevo e isso proporciona a atuação e desenvolvimento de distintos sistemas atmosféricos, que ajuda na heterogeneidade em todo o continente. No noroeste do Brasil há precipitações que chegam acima de 2.450 mm/ano e chuvas abaixo de 350 mm/ano no nordeste do País. (REBOITA *et al.*, 2010).

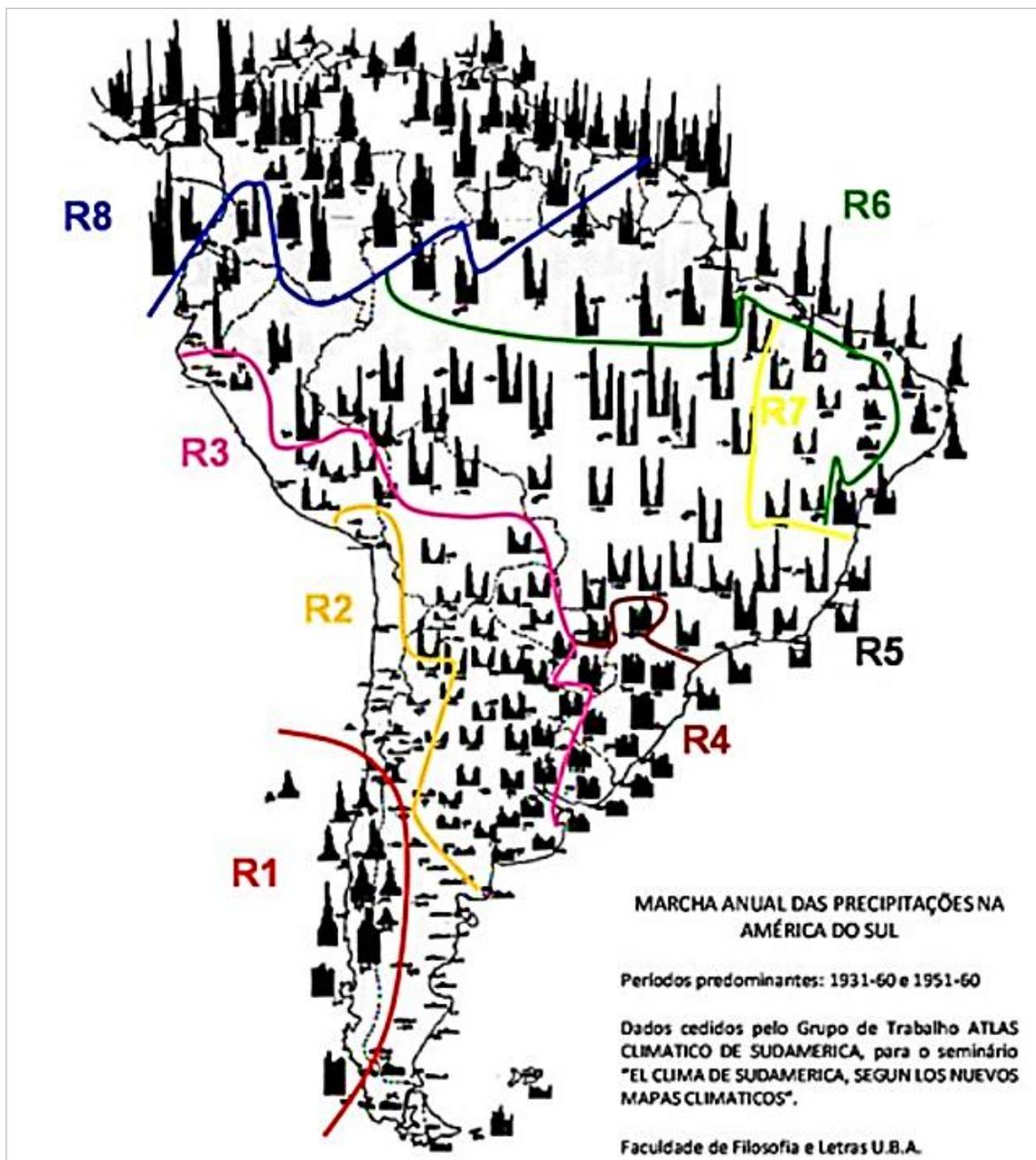
Dos 8 setores de regime de precipitação na AS, Figura 1, segundo Reboita *et al.* (2010), 5 estão no Brasil:

1. O sul do Brasil apresenta chuva bem distribuída durante o ano todo, com precipitações entre 1.050 e 1.750 mm/ano, mas esses totais anuais são mais elevado na fronteira entre o Brasil e o Paraguai (1.750 a 2.100 mm/ano). Estão associados com Sistemas Frontais (SF), Ciclones, Frentes Frias (FF), Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM), Sistemas Ciclônicos, Bloqueios Atmosféricos.
2. O noroeste e sudeste do Brasil é o maior setor dos oito regimes de chuva, apresentando precipitações máximas no verão (úmido) e mínimas no inverno (seco). Neste setor é dividido em 3 setores: 1) região norte, com chuvas em torno de 1750 a ≥ 3.000 mm/ano que estão associadas a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), CCM Tropical, Friagem e Brisa Fluvial; 2) região centro-oeste, que as chuvas estão ligadas ao CCM Tropical, FF, Linhas de Instabilidades (LI) e Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), os totais pluviométrico são acima de 1.500 mm/ano; e 3) região sudeste, com pluviosidade em torno de 1.500 mm/ano, os sistemas atuantes são as ZCAS, Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), SF, Ciclones Subtropicais e Extratropicais, LI, CCM, Bloqueio Atmosférico e Brisas.
3. O norte da região norte do Brasil com precipitação acima de 2.000 mm/ano e cerca de 1.500 mm/ano para o litoral nordeste do Brasil. O principal indutor de chuvas é a ZCIT, mas há também a presença de CCM Tropical, Brisas Marítimas, LI, Ondas de Leste (OL), Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN)

e ASAS.

4. O sertão nordestino do Brasil, é a região que apresenta os menores totais pluviométricos, que são cerca de 200 a 500 mm/ano. A precipitação pode estar associada com a ZCIT, SF, VCAN, ZCAS.
5. A região norte da AS, Estado de Roraima, é chuvoso o ano todo (>1.500 mm/ano) devido aos sistemas (ZCIT, CCM Tropical, LI, Ventos Alísios).

Figura 1 – Regiões com diferentes ciclos de precipitação na América do Sul.

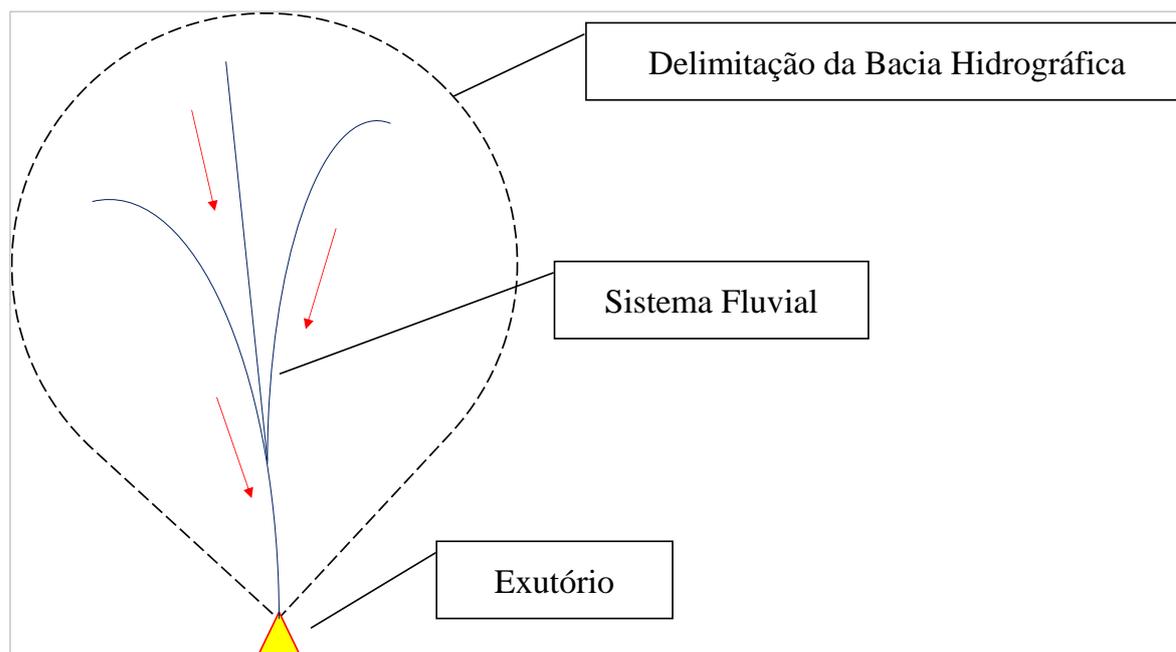


Fonte (REBOITA *et al.*, 2010)

3.1. Bacia Hidrográfica

Bacia Hidrográfica (BH) ou Bacia de Drenagem (Figura 2) é toda área que contribui através do escoamento para os rios até um exutório, onde se define a bacia. Cada seção de um rio haverá uma bacia hidrográfica (TUCCI e MENDES, 2006).

Figura 2 – Esquema de uma Bacia Hidrográfica.



Fonte (do autor)

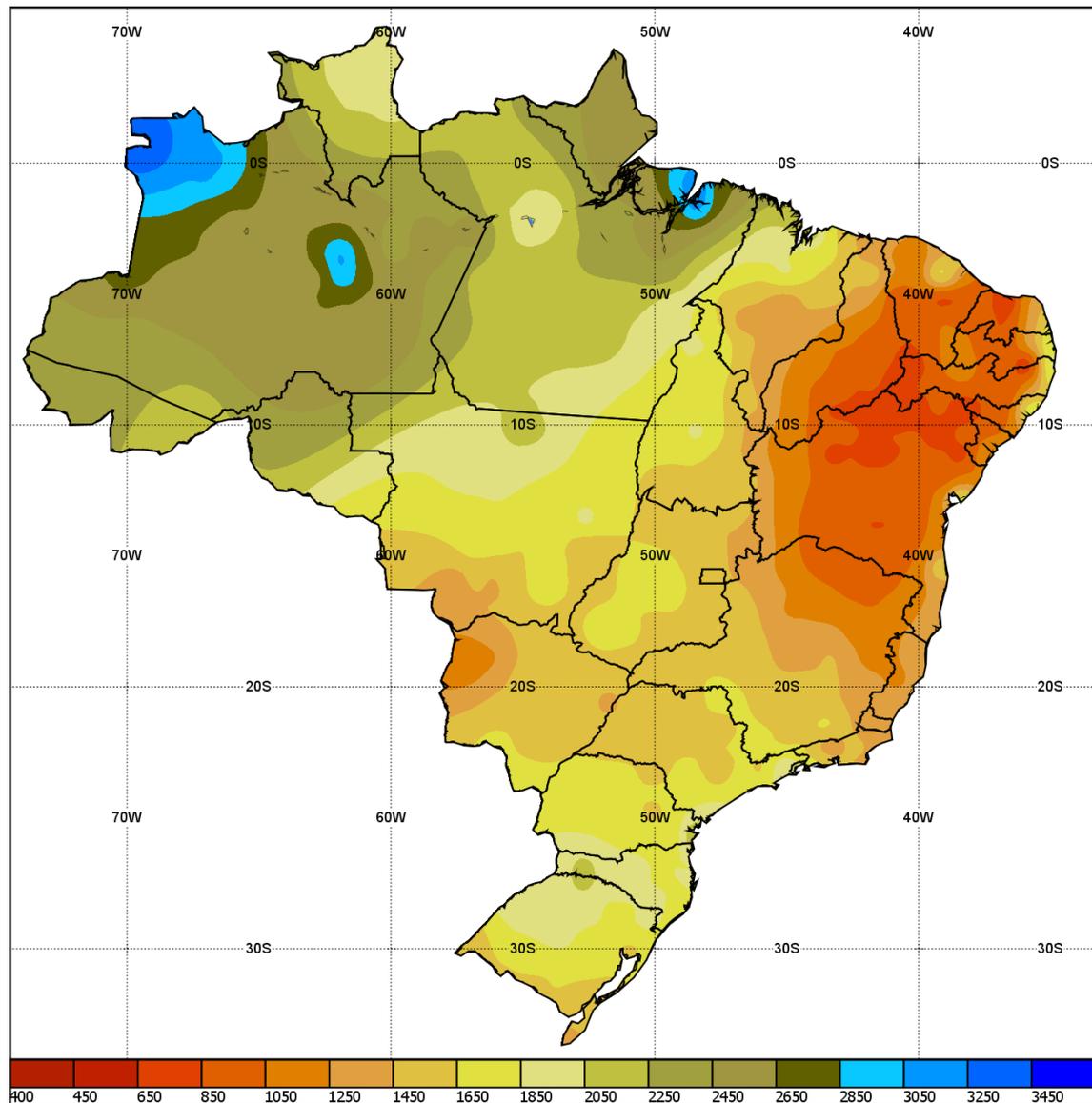
Para analisar hidrológicamente uma BH é necessário diferenciar a sua geomorfometria (forma, relevo, área, geologia, rede de drenagem, solo, etc.), ou seja, entender a dinâmica do ambiente local e regional, pois segundo a Lei das Águas a definição de BH tem que ser adotada como unidade de estudo e gestão para a sua compreensão e subdivisões.

Em quase todo o Brasil, o ano hidrológico vai de outubro a setembro que analisa a precipitação e o escoamento fluvial (ANA, 2019). No país a precipitação média anual (Figura 3) é de 1.760 mm, que varia em torno de 500 mm no Semiárido brasileiro e acima de 3.000 mm na região Amazônica. O que confirma no mapa das normais climatológicas de chuva em todo o Brasil do Instituto Nacional de Meteorologia.

Portanto, a importância de se conhecer as características físicas e bióticas de uma BH é indispensável para os processos do ciclo da água (TEODORO *et al.*, 2007; LIMA, 2008). No Brasil, a disponibilidade hídrica é enorme e sua distribuição é

diferente no país, em outras palavras, a vazão média em todo território é de 260.000 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$, só que 78,8% (205.000 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) está na Bacia do Rio Amazonas – menor densidade demográfica e pouca demanda hídrica e 21,2% (55.000 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) nas outras BH do Brasil (ANA, 2016).

Figura 3 – Normal climatológica de chuva acumulada mensal anual (mm) de 1981 a 2010.

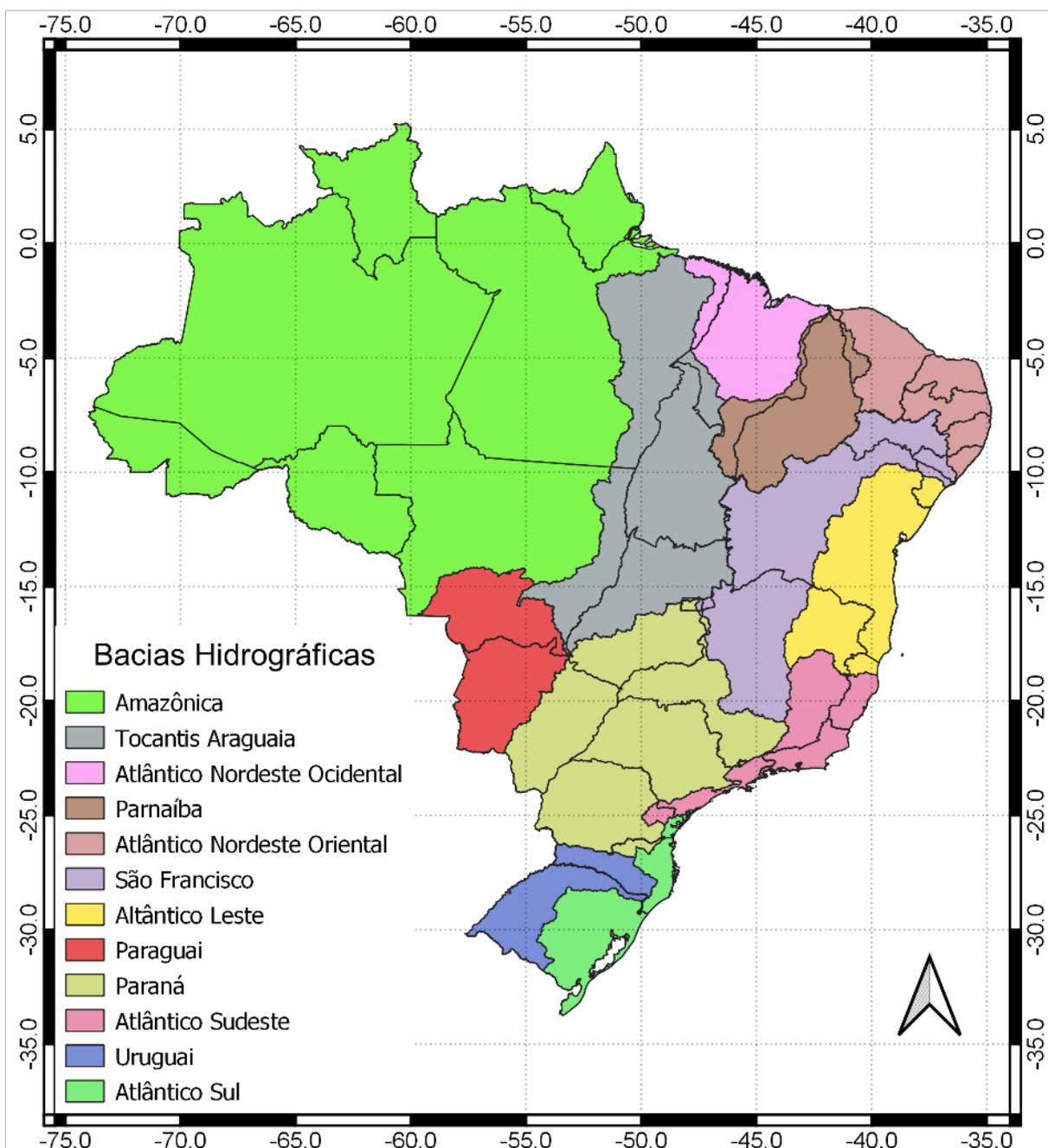


Fonte (INMET, 2020)

No Brasil há 12 Regiões Hidrográficas principais (Figura 4): Região Hidrográfica Amazônica; Região Hidrográfica do Tocantins – Araguaia; Região Hidrográfica do Atlântico Nordeste Ocidental; Região Hidrográfica do Parnaíba; Região Hidrográfica do Atlântico Nordeste Oriental; Região Hidrográfica do São Francisco; Região

Hidrográfica do Atlântico Leste; Região Hidrográfica do Paraguai; Região Hidrográfica do Paraná; Região Hidrográfica do Atlântico Sudeste; Região Hidrográfica do Uruguai; Região Hidrográfica do Atlântico Sul. Mas as Regiões Hidrográficas que serão estudadas são: São Francisco e Paraná.

Figura 4 – Bacias Hidrográficas do Brasil.

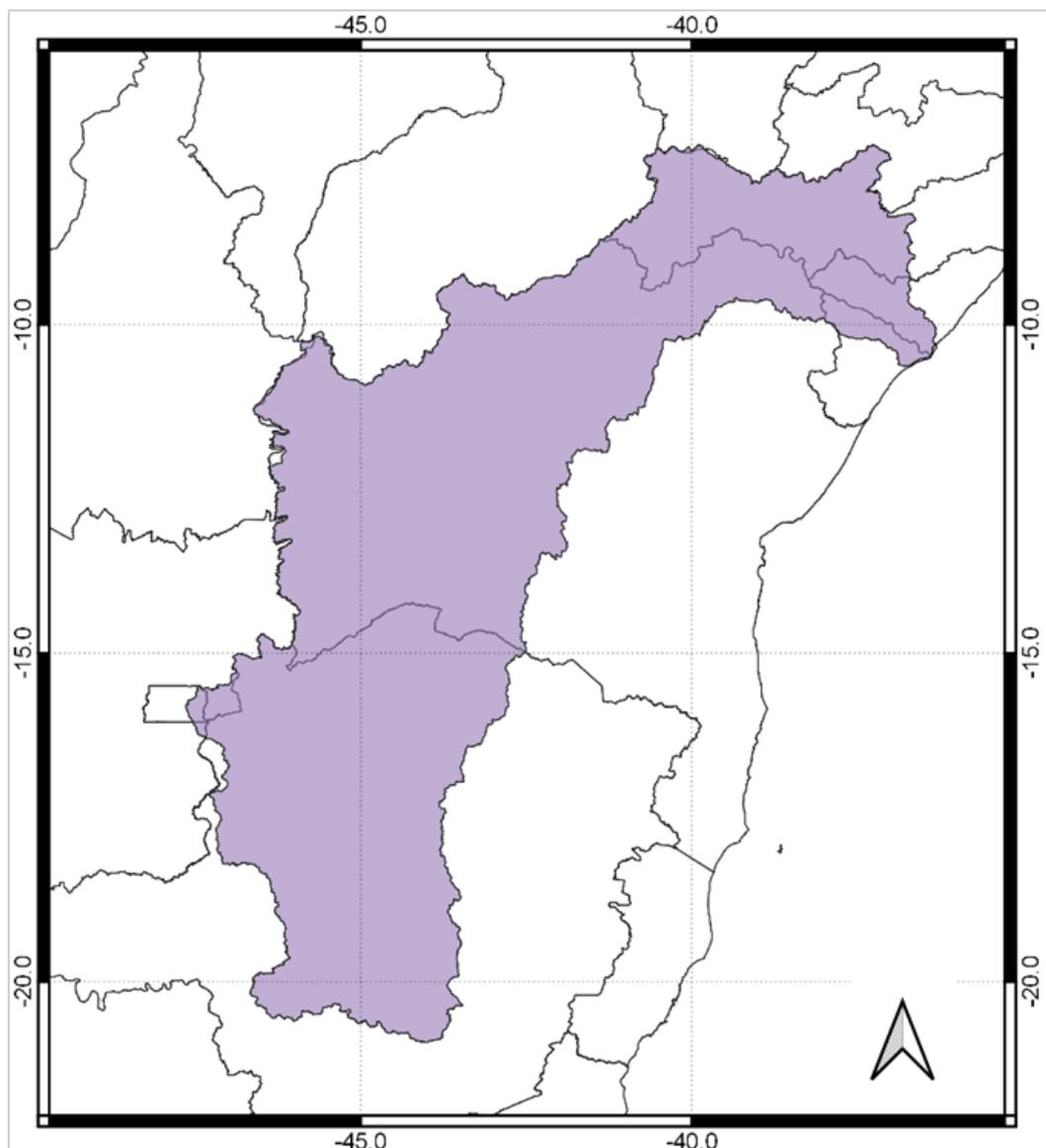


Fonte (do autor)

3.1.1. São Francisco

A Bacia Hidrográfica do São Francisco (Figura 5) tem uma área por volta 638 mil km² é localizada entre a Região Nordeste e a Região Sudeste, abrange o leste do Distrito Federal e os Estados do centro noroeste das Minas Gerais, oeste da Bahia, centro oeste do Pernambuco, centro oeste das Alagoas e norte de Sergipe.

Figura 5 – Bacia Hidrográfica do São Francisco.



Fonte (do autor)

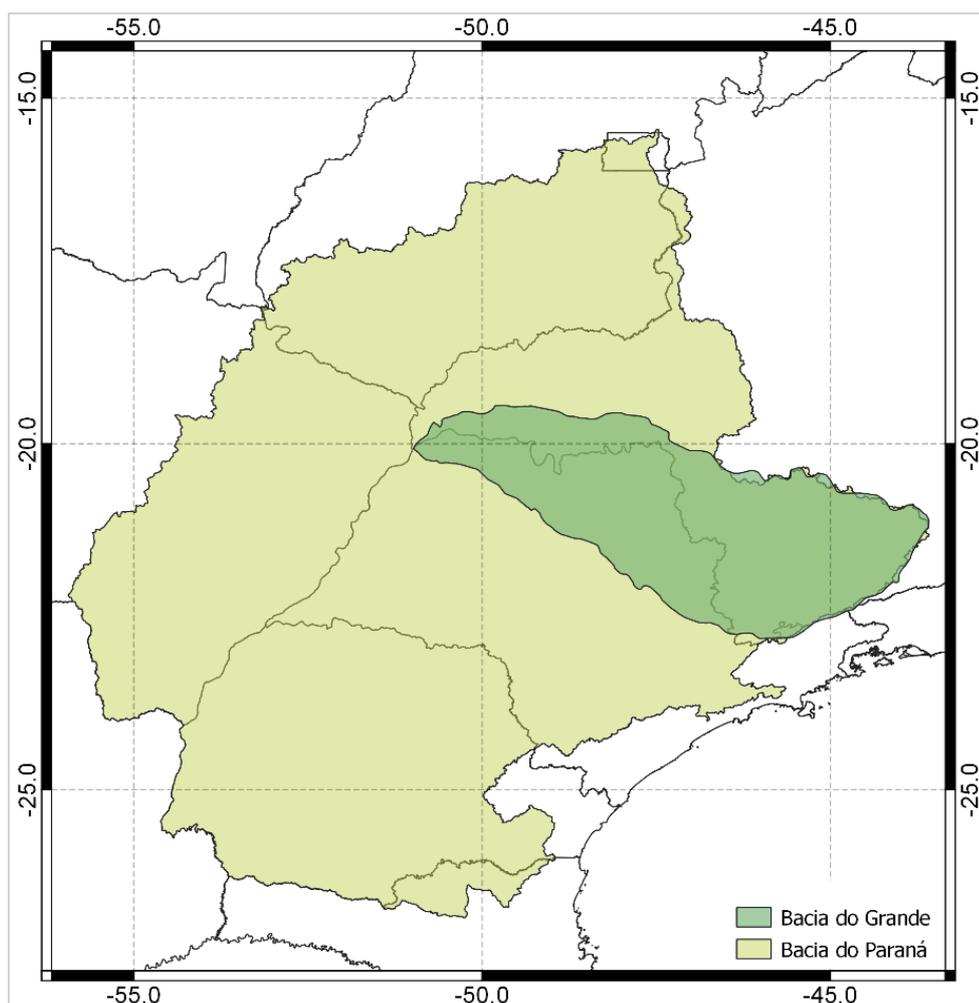
Ela é dividida em Alto São Francisco (Minas Gerais), Médio São Francisco (entre Minas Gerais e Bahia), Submédio São Francisco (Bahia, Pernambuco e Alagoas) e Baixo São Francisco (Pernambuco, Alagoas e Sergipe) (MMA, 2006; ANA,

2015). A produção de chuvas nessa região é proveniente da ZCAS, Sistemas Frontais, Perturbações Ondulatórias dos Alísios, Alta Subtropical do Atlântico Sul e Brisas Marítima e Terrestre (REBOITA *et al.*, 2010, 2012).

3.1.2. Paraná

A Bacia Hidrográfica do Paraná (Figura 6) tem área de quase 880 mil km² e está localizada entre as Regiões do Centro Oeste (sudeste do Goiás, leste de Mato Grosso do Sul e o Distrito Federal), Sudeste (sul das Minas Gerais e quase todo São Paulo, exceto o leste desse Estado) e Sul do Brasil (grande parte do Paraná, exceto o extremo leste e extremo norte de Santa Catarina), (REBOITA *et al.*, 2010, 2012).

Figura 6 – Bacia Hidrográfica do Atlântico Leste. Fonte: Autora, 2020.



Fonte (do autor)

Possui 6 sub-bacias (MMA, 2006; ANA, 2015) que são: o Paranaíba (Distrito Federal, sudeste de Goiás, extremo norte de Mato Grosso do Sul e sudoeste das Minas Gerais), o Grande (sul sudeste das Minas Gerais e norte de São Paulo), o Paraná (centro leste do Mato Grosso do Sul, extremo noroeste e sudoeste de São Paulo e centro oeste do Paraná), o Tietê (região central de São Paulo), o Paranapanema (centro sudoeste de São Paulo e centro noroeste do Paraná) e o Iguaçu (centro sul do Paraná e extremo norte de Santa Catarina) (MMA, 2006; ANA, 2015). Há atuação da ZCAS, FF, Jatos de Baixos Níveis (JBN), CCM, convecção local, Baixa Pressão, Cavado (REBOITA *et al.*, 2010, 2012).

3.2. Índices Climáticos

Índice climático é um conjunto de análises usado para distinguir aspecto de um sistema geofísico, como um modelo de circulação, por exemplo, El Niño e La Niña, Oscilação Decenal do Pacífico, Oscilação do Atlântico Norte, entre outras variáveis. E são usados métodos variados para derivar esses índices através de métodos estatísticos por meio de um ponto de grade ou média regional, funções ortogonais empíricas, funções ortogonais empíricas rotacionadas etc. Dependendo do índice climático usa-se uma única variável ou combinações de variáveis para se calcular (NCAR/UCAR, 2020).

3.2.1 El Niño-Oscilação Sul

Uma das oscilações importantes para o regime de chuvas na América do Sul (AS) é o ENOS. Tedeschi e Cavalcanti (2010), analisaram a influência dos modos dos ENOS Canônico e Modoki na AS em diferentes estações do ano para o período de 1979 a 2009. E viram que há comportamentos diferentes entre os ENOS em algumas regiões da AS. No centro-sul (norte) da AS em anos de El Niño Canônico a precipitação tende a aumentar (diminuir) e nos de El Niño Modoki a precipitação diminui (aumenta).

Através de uma “gangorra” atmosférica que envolve trocas de massas de ar entre a célula subtropical de alta pressão sobre o leste do Pacífico Sul e uma região de baixa pressão no oeste do Pacífico e na Indonésia, e seu período vai de 2 a 10 anos, chama-se Oscilação Sul. Esta oscilação é associada às fases da circulação de

Walker, quando a circulação de Walker está positiva/negativa coincidem com os eventos La Niña (LN)/El Niño (EN) (BARRY e CHORLEY, 2013).

É um evento de interação oceano-atmosfera originado na região tropical do Oceano Pacífico, que influencia a precipitação em alguns lugares da Terra, especialmente na Indonésia, norte da Austrália, Amazonas, monções indianas e África equatorial (de MIRANDA, 2009). O fenômeno ENOS é uma das mais importantes fontes de variação interanual no tempo e clima da Terra, que desencadeia mudanças na circulação geral da atmosfera a trazer alterações no clima em vários lugares situados nos trópicos e extratropicais; e uma das áreas afetadas do Globo terrestre pelo ciclo do ENOS é a AS, no norte-nordeste e sul-sudeste do Brasil, que são diretamente afetadas pela fase quente – EN (AMBRIZZI *et al.*, 2004).

Ainda segundo Barry e Chorley (2013), o acoplamento oceano-atmosfera muda em escalas ao longo do tempo em episódios de ENOS, trazendo *feedback* positivo (negativo) no sistema oceano-atmosfera. E mostra uma ligação das variáveis desse acoplamento que são chamadas de teleconexões. Isto é, há uma relação entre os eventos de ENOS com a pluviosidade em algumas regiões da Terra, por exemplo, em anos de EN há alta pluviosidade no sul do Brasil e baixa pluviosidade no nordeste brasileiro.

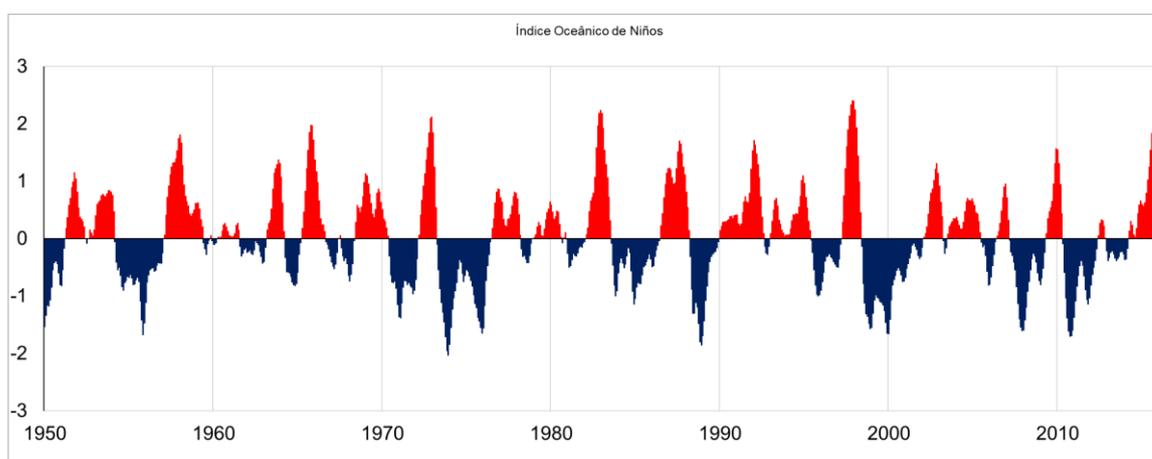
Ambrizzi e Grimm (2009) associaram as teleconexões em escalas de tempo sinótico em variabilidade de baixa frequência e podem ser divididas em duas frequências, intrasazonal e interanual. As mudanças que ocorrem no oceano-atmosfera podem desencadear respostas na atmosfera global por meio de teleconexões trópico-trópico e trópico-extratropical. Há cerca de 4 características dessa variabilidade de baixa frequência interanual na AS, por exemplo, a Oscilação Antártica, Modo Anular Sul – este modo tem forte conexão com o ENOS, trens de ondas (que também estão relacionadas ao ENOS) de Rossby e meridional do Hemisfério Sul.

Segundo Coelho e Ambrizzi (2000), o regime de chuvas na AS está mais associado a região 3 do Niño. Essa maior associação, entre as chuvas e o Niño 3, foi notada no verão do hemisfério Sul. Observaram, também, que os EN e LN impactaram as regiões Nordeste e Norte do país. Destacaram que a região norte do ESP, especificadamente as bacias do Tiete, Paraíba do Sul e parte da bacia do Grande, apresentou um período de transição entre os eventos ENOS.

3.2.1.1. Índice Oceânico de Niños

O Índice Oceânico de Niños (ION) é um dos índices principais que monitora o ENOS e suas fases quente (EN) e fria (LN) para identificar as anomalias da superfície do Oceano Pacífico equatorial central (Figura 7). Para monitorar o ciclo de vida dos eventos de ENOS, é usado o ION que é baseado na variação da média móvel de três meses que são estimados os cálculos de anomalia de TSM da região Niño 3.4 que identifica a variabilidade relacionada ao fenômeno ENOS (BARNSTON, 2015; NOAA, 2017, GGWS, 2020; GLANTZ e RAMIREZ, 2020; IMARPE, 2020).

Figura 7 – Série temporal do Índice Oceânico de Niños para o período de 1950 a 2015.



Fonte (ESRL/NOAA, 2020)

Para definir e observar as intensidades do fenômeno ENOS, segundo o *Golden Gate Weather Services* (2020), é classificada por forte, moderada e fraca, quando há três a cinco períodos contínuos de três meses maior ou igual a +0,5 para os eventos de EN e menor ou igual a -0,5 para eventos de LN. Esse valor é dividido em eventos fraco [(+/-) 0,5 a (+/-) 0,9], moderado [(+/-) 1,0 a (+/-) 1,4], forte [(+/-) 1,5 a (+/-) 1,9] e muito forte [\geq (+/-) 2,0]. A Tabela 1 mostra os anos entre 1950 e 2015 que houve EN e LN com suas respectivas intensidades:

Tabela 1 - Anos de El Niño e La Niña e suas intensidades.

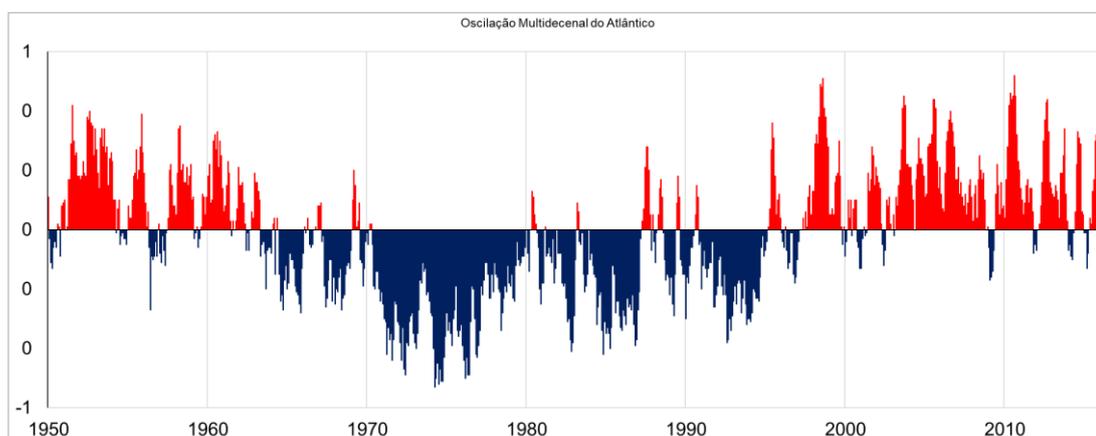
El Niño				La Niña		
Fraco	Moderado	Forte	Muito Forte	Fraco	Moderado	Forte
1951-1952	1963-1964	1957-1958	1982-1983	1950-1951	1955-1956	1973-1974
1952-1953	1986-1987	1965-1966	1997-1998	1954-1955	1970-1971	1975-1976
1953-1954	1987-1988	1972-1973	2015	1964-1965	1998-1999	1988-1989
1958-1959	1991-1992			1967-1968	1999-2000	
1968-1969	2002-2003			1971-1972	2007-2008	
1969-1970	2009-2010			1974-1975	2010-2011	
1976-1977				1983-1984		
1977-1978				1984-1985		
1979-1980				1995-1996		
1994-1995				2000-2001		
2004-2005				2011-2012		
2006-2007						

Fonte (GGWS, 2020)

3.2.2. Oscilação Decenal do Pacífico

A Oscilação Decenal do Pacífico (ODP), identificada por Mantua *et al.* (1997), possui um padrão de anomalias de temperatura da superfície do mar similar ao ENOS, mas com maiores amplitudes espaciais e temporais (Figura 8). Uma mudança climática que ocorreu no oceano Pacífico em meados da década de 1970 definiu um regime frio, que prevaleceu de 1947 a 1976, para um regime quente de 1977 em diante (Mantua *et al.*, 1997).

Figura 8 – Série temporal da Oscilação Decenal do Pacífico para o período de 1950 a 2015.



Fonte (ESRL/NOAA, 2020)

Kayano e Oliveira (2008), fizeram a diferença entre as fases da ODP para os

padrões entre a correlação de chuva da América do Sul e os índices de TSM do Pacífico Equatorial Leste, do Atlântico Tropical Norte, Sul e Sudoeste. Observaram que esses índices entre a fase fria (1948-1976) e quente (1977-2002) da ODP; para o Pacífico Equatorial Leste a correlação fica mais significativos durante a fase quente do que a fase fria da ODP, para o Brasil as Regiões Norte e Nordeste aumentam essa correlação negativa e para o sul do país aumenta a correlação negativa.

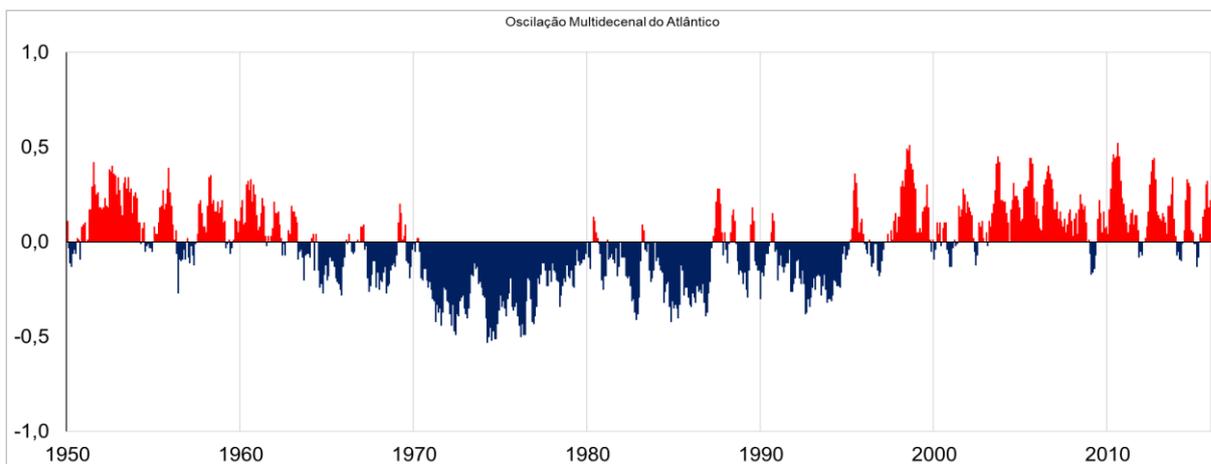
Quando Kayano e Oliveira (2008) analisaram para o Atlântico Tropical Sul na fase fria a correlação positiva era mais significativa no Nordeste brasileiro. Enquanto na fase quente a região Norte do Brasil tinha esse padrão positivo significativo. Tanto o Atlântico Tropical Norte quanto para o Sudoeste eles respondiam melhor durante a fase quente, deixando o Norte-Nordeste do país com correlações negativas significativas. Agora, na fase fria o Atlântico Tropical Norte não tinha tanta resposta e o Sudoeste no noroeste e sul do país tinha uma correlação positiva expressiva.

3.2.3. Oscilação Multidecenal do Atlântico

A Oscilação Multidecenal do Atlântico (OMA) é um índice de série contínua de variabilidade decenal da TSM que ocorre no Oceano Atlântico norte e oscila a cada 20 a 40 anos, Figura 9 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Através de um índice criado por Enfield *et al.* (2001), é calculado as anomalias da TSM entre a região do Golfo do México e a Baixa da Islândia, que é padronizada os dados interpolados em 5° x 5 graus desde 1856 até o presente, esse índice é semelhante com a ODP, devido ser de baixa frequência e possuir duas fases diferentes, fase quente e fria, mas com um período maior do que o ENOS (MOLION, 2005; SIQUEIRA, 2012; SANTOS, 2013; FRAJKA-WILLIAMS *et al.*, 2017).

Santos (2013) notou que a OMA influencia de forma significativa o regime de precipitação mensal sobre a América do Sul. A correlação entre o índice da OMA e a precipitação apresentou um padrão único de distribuição espacial dos coeficientes de correlação nos dois modos da OMA, modo positivo (de 1927 a 1964) e modo negativo (de 1965 a 1995).

Figura 9 – Série temporal da Oscilação Multidecenal do Atlântico para o período de 1950 a 2015.



Fonte (ESRL/NOAA, 2020)

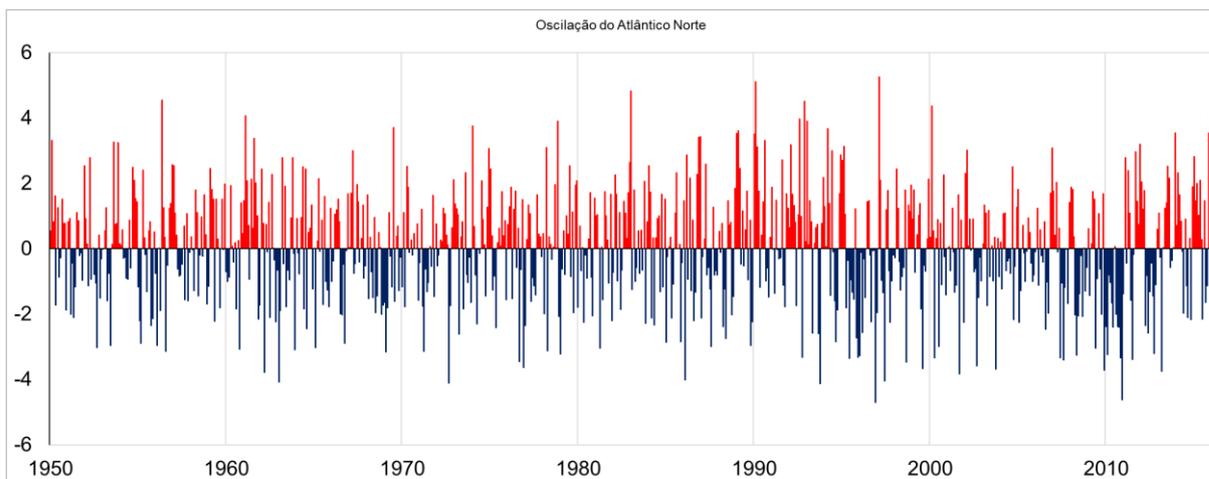
Jones e Carvalho (2018), estudaram a relação entre a OMA e variações de baixa frequência (decenais e multidecenais) nos JBN da AS. Notaram que durante a fases negativas da OMA houve um aumento de atividade de JBN que estão associadas as anomalias negativas de chuva sobre o norte da Amazônia e a ZCIT no Atlântico.

E é mais influente entre maio e setembro, devido ao aumento dos ventos de baixo nível (850 hPa) por toda a extensão do leste andino que intensifica os JBN, que na área de saída dos JBN intensifica a chuva sobre o sul do Brasil, Uruguai e norte da Argentina.

3.2.4. Oscilação do Atlântico Norte

A Oscilação do Atlântico Norte (OAN), Figura 10, é um índice de fluabilidade climática do campo de pressão que consiste em duas fases positiva (vórtice polar Ártico forte) e negativa (vórtice polar Ártico fraco), ou seja, é uma troca austral de massa atmosférica em grande escala, que pode ser verificado através de um índice da diferença da Pressão ao Nível Médio do Mar (PNM) entre a Islândia e os Açores ou pelo índice de diferença da PNM entre Lisboa e a Islândia ou ainda pela diferença entre Gibraltar e a Islândia (RAFFERTY, 2011; SANTOS, 2013).

Figura 10 – Série temporal da Oscilação do Atlântico Norte para o período de 1950 a 2015.



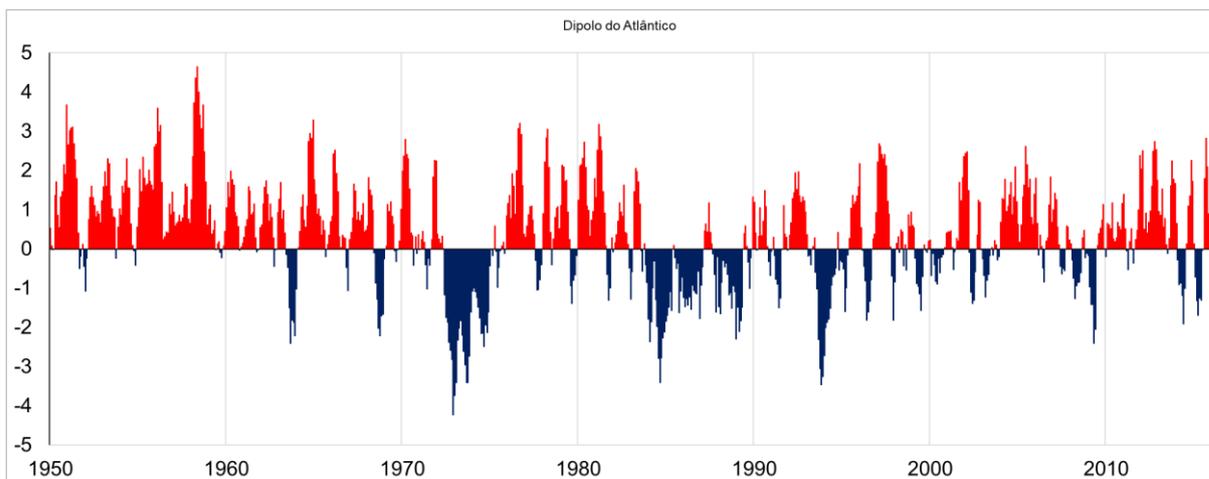
Fonte (ESRL/NOAA, 2020)

Quando Santos (2013) relacionou a precipitação com a OAN mostrou o mesmo padrão da correlação da precipitação com o índice da OMA durante o modo positivo da OMA. Durante o modo negativo da OMA, as correlações da precipitação com o índice da OAN demonstraram um padrão diferente mostrando que pode haver um outro fenômeno que ao interagir com a OAN pode afetar diferentemente a precipitação sobre a América do Sul.

3.2.5. Dipolo do Atlântico

O fenômeno do Dipolo do Atlântico (DA), tem importante influência na climatologia da região tropical, Figura 11. Ele caracteriza-se por oscilações da TSM, em fases opostas nas regiões ao norte e ao sul do Equador. Estas oscilações determinam gradientes anormais de temperatura na região tropical, com importantes consequências climáticas e econômicas, em particular com relação a seca no NE do Brasil e na região do Sahel na África. Calcula-se o DA entre a diferença das médias das anomalias de TSM das regiões norte (entre 20°N e 5°N) e sul (entre 5°N e 12°S) do Equador (SERVAIN, 1991).

Figura 11 – Série temporal do Dipolo do Atlântico para o período de 1950 a 2015.



Fonte (ESRL/NOAA, 2020)

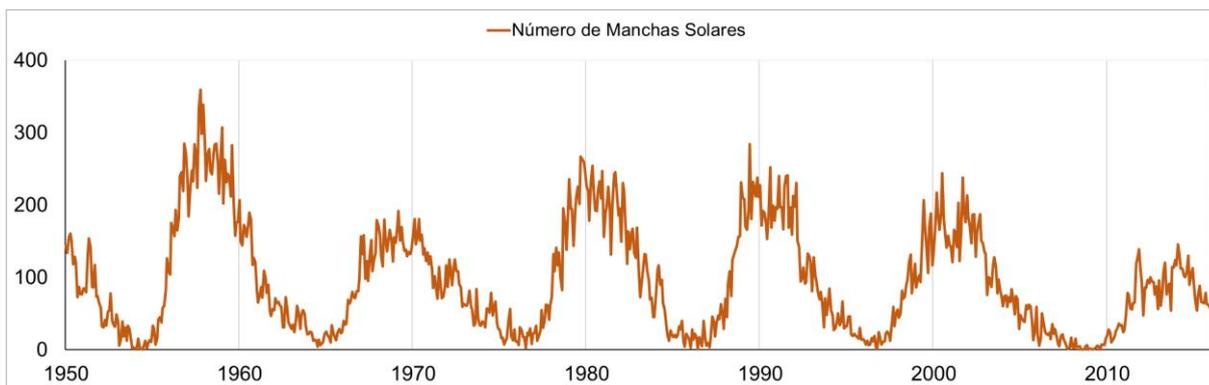
Ele tem interação oceano-atmosfera através da mudança anômala da TSM na região tropical do Oceano Atlântico, quando a região norte tropical do oceano estão mais aquecidas e a região sul tropical do oceano estão mais frias é chamada de fase positiva do DA e pode haver consequências de secas para o Brasil, quando a região norte tropical do Atlântico estão mais frias e o sul tropical do Atlântico mais quentes, temos a fase negativa do DA e pode haver aumento de chuvas significativas para o Brasil (SILVA NÓBREGA *et al.*, 2016).

3.2.6. Ciclos de Manchas Solares

O Ciclo de Manchas Solares (CMS), Figura 12 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, foi descoberto por Samuel Heinrich Schwabe (1843), ele observou manchas solares na “superfície” do Sol que tem variabilidade anual e ressurgem em intervalos por volta de 11 anos. Através desse ciclo há aumento e diminuição no número de manchas solares, que tem um período em torno de onze anos – ciclo de 11 anos ou ciclo Schwabe (UCAR, 2021).

Podem estar associados ao clima terrestre com correlação forte nas mudanças e variações na temperatura global em longo prazo, ter uma atividade definida com o ciclo de onze anos no número de manchas solar, mas pode variar ao longo do tempo. E a duração dos CMS varia entre 80 e 90 anos (LASSEN e FRIIS-CHRISTENSEN, 1995).

Figura 12 – Número de Manchas Solares para o período de 1950 a 2015.



Fonte (NGDC/NOAA, 2020)

Quando há muitas manchas no Sol, referencia-se por máximo solar que é um pico na contagem de manchas solares e quando há um mínimo solar é o período em que aparecem poucas manchas solares (UCAR, 2021). As manchas solares são formações magnéticas que surgem escuras na superfície do Sol, que são regiões mais frias do que a fotosfera solar adjacente. Uma mancha solar é composta pela umbra que é um núcleo escuro e a penumbra que é um halo menos escuro, onde se distingue as manchas dos poros que são comumente menores (ECHER *et al.*, 2003; SOLANKI, 2003).

3.3. Eventos Extremos

Por apresentar um sistema não linear, o planeta Terra passa por períodos de decréscimo e aumento de temperatura ao longo da sua história, com oscilações entre uma série de episódios glaciais e interglaciais, durante os quais as geleiras continentais têm alternadamente avançado e recuado à medida que a temperatura da Terra eleva ou abaixa. Uma dessas causas são provocadas por eventos externos, a variabilidade da atividade solar tem uma contribuição significativa para a mudança do clima da Terra, conjugada a outros fatores, como a ação dos raios cósmicos e a formação de nuvens baixas (PORTUGAL e PACINI, 2013), e um desses eventos podem ser causados por extremos de seca e cheia. Esses eventos extremos de tempo e clima também perfaz a variabilidade climática, variam desde dias até milênios e são eventos de impactos significativos (MARENGO, 2009).

Os eventos extremos de secas e de precipitação alteram o dia a dia das pessoas, impactam as economias dos países, produzem vítimas fatais e danos à

infraestrutura (SILVA DIAS, 2014), os prejuízos socioeconômicos são enormes, em algumas circunstâncias há perda de vida e danos materiais que chegam a milhões de reais.

Uma das principais causas de tais impactos é a falta de planejamento governamental, além da ocupação inapropriada de regiões (SANTOS e SIQUEIRA, 2011), e os eventos extremos são de particular relevância para a sociedade devido ao seu alto impacto nos setores público e privado (BELLPRAT *et al.*, 2015). Os eventos extremos de seca são mais nocivos a população, pois na maioria dos casos, acompanha surtos de doenças provocada pela longa estiagem, crise hídrica, falta de alimento e morte, como citado anteriormente.

Na região Amazônica, através de registros de anéis de árvores, foi possível observar os períodos de secagem desde 1819 e notaram que a frequência de secas extremas varia de 5 a 6 anos (JENKINS, 2016). Zou *et al.* (2015), notaram que os períodos secos no Noroeste da Amazônia são influenciados por eventos El Niño, e no sudoeste da Amazônia são afetados pelo aquecimento anômalo da TSM no Atlântico Norte, com base nas graves secas de 2005 e 2010.

No Nordeste do Brasil o fenômeno ENOS causa impactos na região, dependendo da intensidade do evento, pode resultar em secas severas, interferindo as atividades humanas. Também pode ocorrer pelas variações na circulação de grande escala e por mecanismos externos ao sistema terra-atmosfera-oceano (MOLION e BERNARDO, 2000).

Os anos de seca no Nordeste tem aumentado com o passar do tempo, não por conta do aumento do evento e nem dos fenômenos relacionados, e sim pelo aumento populacional e pelas áreas de riscos, isto faz com que aumente a vulnerabilidade da região (DE MELO, 1999).

A região Sudeste do Brasil sofreu com uma crise hídrica que deixou a população à mercê da estiagem. Para Coelho *et al.* (2015), Marengo *et al.* (2015) e Nobre *et al.* (2015), a causa principal para a grande falta de chuva, no Sudeste do Brasil, foi a atuação de um intenso, persistente e anômalo sistema de alta pressão atmosférica que prejudicou o transporte de umidade da Amazônia, assim como a passagem/desenvolvimento dos principais sistemas causadores de chuva, como a Zona de Convergência do Atlântico Sul e as frentes frias.

Coelho *et al.*, (2015), analisaram a TSM e notaram que perto da costa do sudeste do Brasil apresentou forte associação negativa com a precipitação. A

resposta da circulação local foi associada ao movimento de subsidência no Sudeste do Brasil, contribuindo para as significativas anomalias negativas de precipitação.

Já Pereira Filho (2015), analisou a escassez hídrica do Brasil e observou que a Alta Subtropical do Atlântico Sul estava intensificada, fazendo com que a região Sudeste tendesse a chover menos, e que o principal fator foi o resfriamento do Polo Antártico durante os últimos anos, tendo intensas massas de ar polar mais frio e seco adentrando a América do Sul. Uma atmosfera mais fria e mais seca é mais estável e produz menos chuvas (MOLION e BERNARDO, 2000).

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2019), é comum as chuvas variarem a cada ano, por exemplo, na região do Semiárido brasileiro apresenta maior variações do que no Sudeste do Brasil. Para isso, os órgãos responsáveis constroem obras de infraestrutura de segurança hídrica para reduzir os impactos de cheias e secas; ou seja, são construídos reservatórios artificiais para potencializar a disponibilidade de água, quando em períodos úmidos armazenam água e em períodos secos liberam parte do volume que foi armazenado no período mais chuvoso.

Também a fluvidosidade no país sofre variações que são relacionadas a precipitação, que se observa períodos secos e chuvosos em grande parte do Brasil, que no final do período de estiagem nota-se vazões muito abaixo da média ou nenhuma vazão, que tem relação com variações de precipitação e escoamento interanual, causada por anos mais secos e mais chuvosos (ANA, 2019).

Portanto, são necessários o uso de reservatórios ou açudes, para armazenar água em períodos úmidos e disponibilizá-la em períodos de estiagem, mesmo em anos que não foram secos, a precipitação pode ser bem menor que podem diminuir muito a vazão em uma determinada Bacia, corriqueira na região semiárida, isto também ocorre em períodos chuvosos dentro do ano, que traz enormes prejuízos (ANA, 2016). Esses reservatórios artificiais e barragens servem para acumular o volume hídrico de várias finalidades em geral, por exemplo, irrigação, aquicultura, geração de energia elétrica, abastecimento público, etc. (ANA, 2019).

3.4. Modelo Hidrológico

Modelos hidrológicos são caracterizações simplificadas do sistema do mundo real e representações conceituais de uma parte do ciclo hidrológico; usualmente, os modelos hidrológicos são definidos por variáveis de estado ou prognóstico que

definem a dinâmica de um sistema, e parâmetros como quantidades que caracterizam o sistema. (MORADKHANI e SOROOSHIAN, 2009).

Ou seja, é uma forma de facilitar a representação de algum sistema através de uma linguagem, com objetivo de entender e encontrar respostas com diferentes entradas. Através do modelo é simulado para obter a representação do sistema, por isso, há etapas a se fazer; como o ajuste que determina quais os parâmetros de entrada e saída de um determinado sistema, a verificação que através desta averigua quais os parâmetros a serem ajustados em diferentes períodos, e o prognóstico onde simula vários cenários que se desejam a estimar a saída do modelo (TUCCI, 1998; TUCCI e MENDES, 2006).

de Oliveira *et al.* (2016) citam que o conceito de um modelo hidrológico é a influência de diversos sistemas que interagem entre si, como a água, o clima, o solo e o uso da terra. Em estudo, utilizaram o Modelo de Grandes Bacias (MGB-IPH) para simular as vazões da bacia do Alto Teles Pires, situada no Estado de Mato Grosso, para diagnosticar e obter respostas da sua disponibilidade hídrica. O resultado obtido foi que o modelo subestimava os maiores e menores picos de cheias, mas eficiente em reproduzir o hidrograma.

Segundo Moradkhani e Sorooshian (2009), a previsão hidrológica tem bastante influência das incertezas nos dados de entrada (que podem ser determinísticos), a resposta do sistema observado (devido a erros na medição das grandezas físicas), imperfeição da estrutura do modelo e valores de parâmetros resultantes da calibração do modelo que é profundamente afetado por fontes de incerteza.

Para trabalhar com essas incertezas, os modelos de Redes Neurais Artificiais (RNA) se mostram flexíveis e tem capacidade de modelagem de processos não-lineares complexos, onde são amplamente aplicados na previsão e controle de sistemas não-lineares (HSU e SOROOSHIAN, 2009). Devido a sua utilidade e eficiência, os modelos de RNA são utilizados para resolver problemas dos quais os processos envolvidos são difíceis de descrever através das equações físicas e matemáticas (SANTOS, 2001).

Para Devi *et al.* (2015), o melhor modelo é aquele que seus resultados estão próximos da realidade com o uso de menos parâmetros e complexidade do modelo, e esses parâmetros é que definem quais são as características do modelo, por exemplo, de escoamento pode ser definido como um conjunto de equações para auxiliar na estimativa de escoamento como função de vários parâmetros que descrevem as

características das bacias hidrográficas.

Através das previsões dos modelos podemos entender o comportamento do sistema e entender vários processos hidrológicos. Ainda ressaltam que os modelos hidrológicos são hoje considerados como uma ferramenta importante e necessária para o gerenciamento de recursos hídricos e ambientais (DEVI *et al.* 2015).

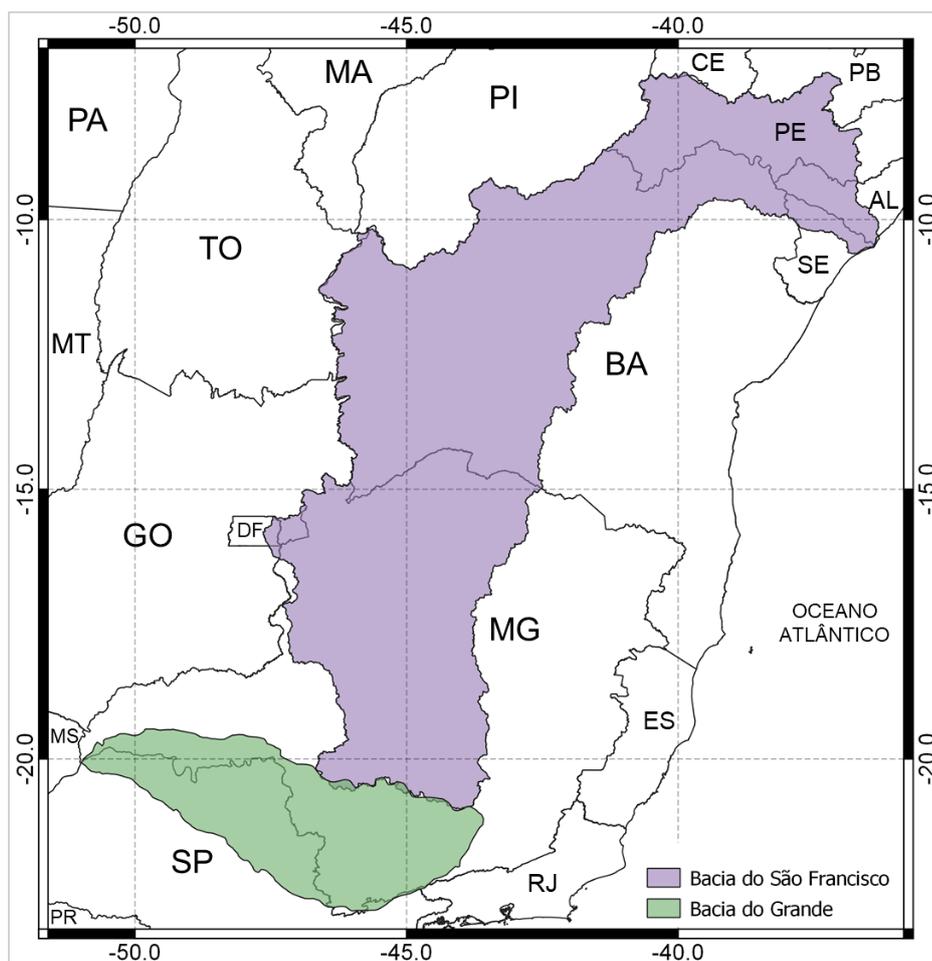
4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Área de estudo

O Brasil é bem diversificado, possui grande extensão latitudinal e diversas formas de relevo que favorecem o desenvolvimento e atuação de diferentes sistemas atmosféricos, e isso contribui para a formação de 8 regimes de precipitação (REBOITA *et al.*, 2010).

A região hidrográfica do Rio São Francisco (Figura 13) foi dividida em quatro regiões fisiográficas que são o Alto, Médio, Submédio e Baixo São Francisco, devido a semelhança nessas regiões. Em torno de 60% encontra-se no polígono das secas (quase toda Região Nordeste e norte de Minas Gerais). O clima varia entre úmido no sul e sudoeste e semiárido e árido no norte da Bacia (HERMUCHE, 2002).

Figura 13 – Localização da Bacia do Rio São Francisco e da Bacia do Rio Grande.



Fonte (do autor)

A Bacia do Rio Grande é uma das sub-bacias da Bacia do Rio Paraná, localizada entre o sul das Minas Gerais e norte de São Paulo e área de aproximadamente 143.000 km². O Rio Grande nasce na Serra da Mantiqueira em Minas Gerais e desagua no Rio Paraná em São Paulo (ARPA, 2020; CEMIG, 2020).

4.2. Base de dados

Foram coletados os dados de chuva observados da Agência Nacional de Água (ANA), os dados relativos aos índices dos Oceanos Pacífico (ODP e ION) e Atlântico (OMA, OAN e DA) e do número de manchas solares (CMS). Os dados estão compreendidos para o período de 1950 a 2015 (65 anos de dados).

Os conjuntos de dados dos índices climáticos estão disponíveis no *Earth System Research Laboratory da Physical Science Division / National Oceanic and Atmospheric Administration* (ESRL/PSD/NOAA). Para os dados de número de manchas solares, os dados estão disponíveis no *National Geophysical Data Center / National Oceanic and Atmospheric Administration* (NGDC/NOAA).

4.3. Filtragem e escolhas dos dados da Agência Nacional de Águas

A Agência Nacional de Águas (ANA) possui em sua base de dados, conhecida como Hidroweb, 10.637 estações pluviométricas registradas. Contudo, muitas apresentam falta de consistência das informações, falhas nos registros das medições de chuvas, período muito curto das medições etc. Trabalhar com dados pluviométricos é um tanto desafiador, pois há o risco de falhas em uma série longa de dados, um período curto de registro para uma estação histórica, etc.

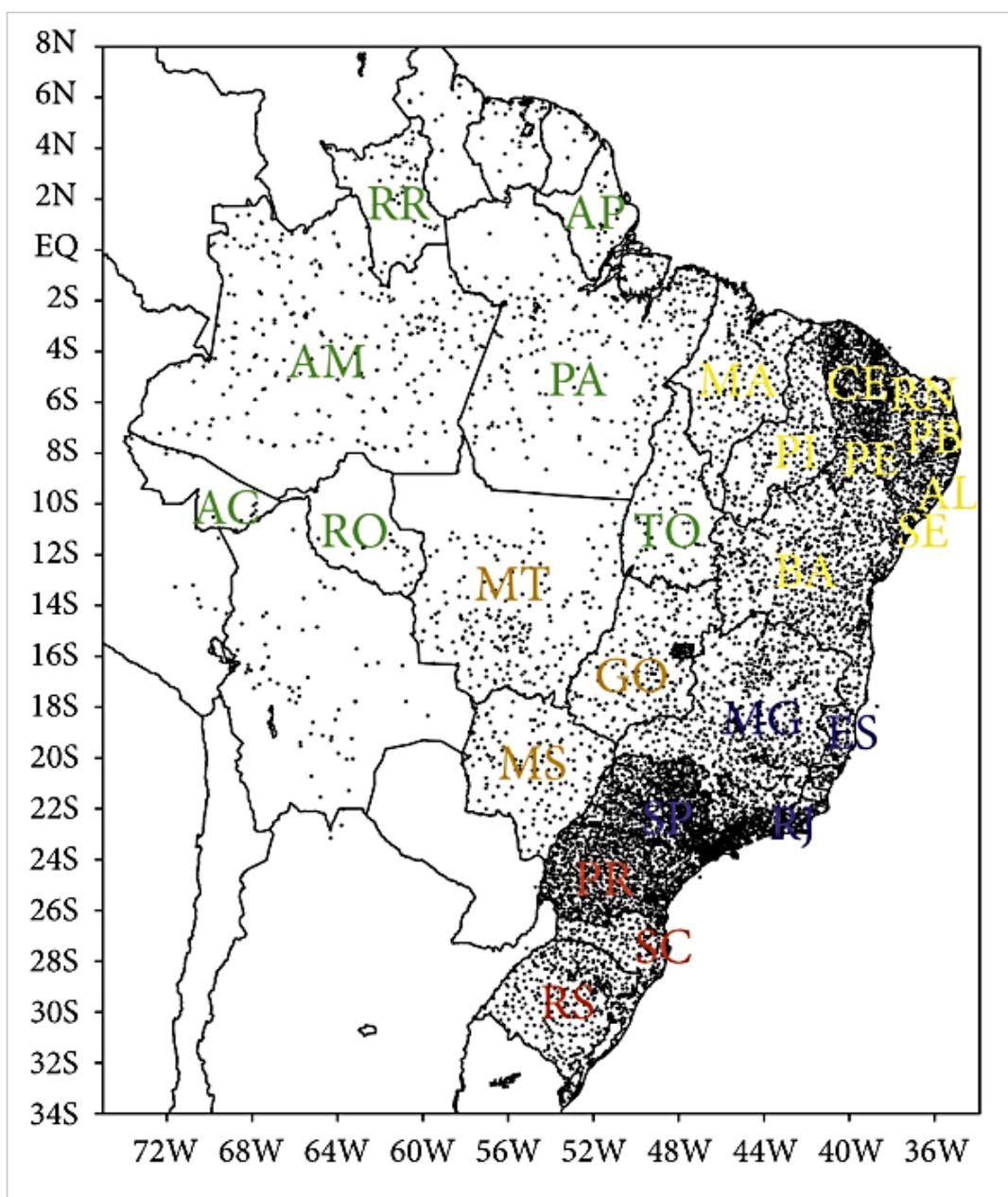
Por isso, a investigação nos registros dos dados de chuvas requer paciência e análise estatística. Um dos maiores problemas no Brasil, que há a desigualdade de distribuição de pluviômetros em todo território, é o que podemos observar e corroborar em Pereira Filho *et al.* (2018), a Região que possui menos pluviômetros é a Região Norte e a costa brasileira – desde a Região Nordeste a até a Região Sul – possui mais estações pluviométricas, principalmente nos Estados do Ceará e São Paulo (Figura 14).

Por esse motivo se faz necessário uma filtragem das informações que estão disponíveis na base de dados ANA para que em um segundo momento selecionar as

estações aptas para o estudo em questão. A Figura 15 a seguir mostra a localização geográfica das estações.

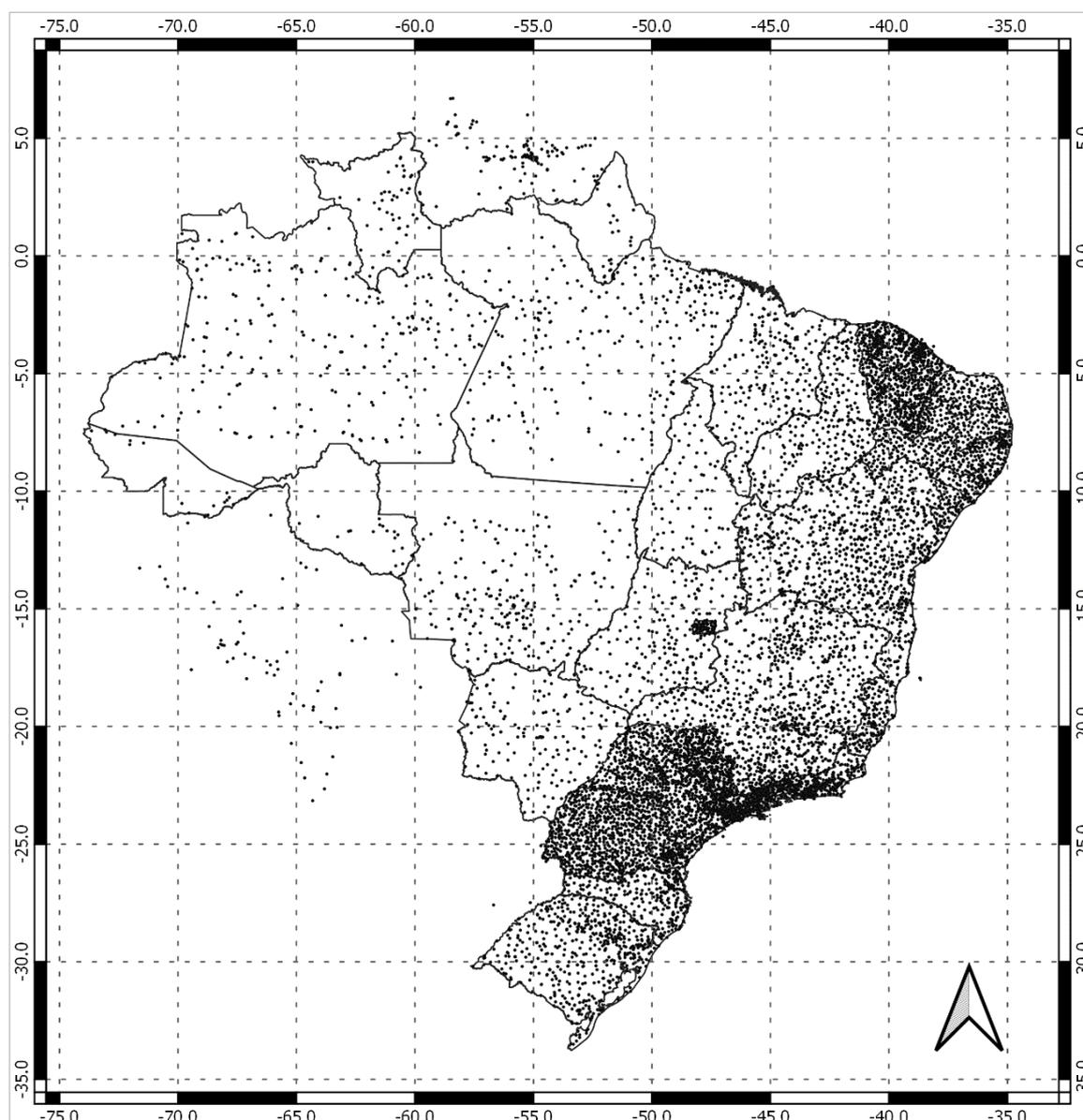
Na primeira filtragem, notou-se que os arquivos de textos com tamanho menores que 100 kilobytes (KB) não possuíam informações suficientes para serem usadas na realização do estudo. Chegou-se então com a aplicação desse filtro ao 3.427 estações que estavam aptas para a realização do estudo. Esse valor de 3.427 estações representa cerca de 32% do valor total das 10.637 estações pluviométricas disponibilizadas no Hidroweb.

Figura 14 – Distribuição espacial dos pluviômetros (pontos) no Brasil por regiões.



Fonte (Pereira Filho *et al.*, 2018)

Figura 15 – Localização geográfica do conjunto de dados das estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA).



Fonte (do autor)

Observou-se (Figura 15) que a maior parte das estações com boas informações nessa primeira filtragem estão localizadas próximo a região costeira do Brasil. Nos estados das regiões Sul, Sudeste e Nordeste do país, corroborando com os estudos de Pereira Filho *et al.* (2018).

Na segunda etapa de filtragem, acrescentou-se como filtro as estações que apresentavam, como ano inicial dos dados, valores de medição anteriores a 1951. Chegando ao total de 1.598 estações selecionadas, aproximadamente 47% do valor de 3.427 das estações na primeira filtragem e 15% do valor total de 10.637 estações

disponibilizadas pela ANA.

A segunda filtragem, notou-se o mesmo padrão observado na figura anterior. As melhores estações encontram-se localizadas próximo à costa do país e nas regiões Sudeste, Sul e Nordeste. A última etapa de filtragem (Figura 16), baseou-se nas diferentes regiões de ciclos anuais de precipitação no país. Como observado na figura anterior, a maior densidade de estações está localizada próximo a região costeira do país, isto é, nas classificações das regiões R4, R5, R6 e R7 da América do Sul, segundo Reboita *et al.* (2010), figura 1.

Figura 16 – Localização geográfica do conjunto de dados das estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA) filtradas pelo tamanho do arquivo texto maior que 100 kilobytes (KB), pelo ano inicial dos dados menor que 1951.



Fonte (do autor)

4.4. Preenchimento dos dados de precipitação

O uso de dados de chuvas requer muito cuidado e minuciosidade, porque há falhas nos registros desses dados e é devido, segundo Bier e Ferraz (2017), pela falta de manutenção do equipamento de coleta a até a ausência de um profissional. Para isso, o uso de ferramentas que preencham esses dados é de suma importância, porque nos dá a ideia de como é o comportamento da região de estudo. E as ferramentas matemáticas utilizadas são ou método estatístico ou método algoritmo.

Paulhus e Kohler (1952) utilizaram métodos de preenchimento de dados; a equação de regressão (mínimos quadrados) é aplicada quando a informação está disponível em todas as estações e o método da média das três estações (ponderação regional) é baseada na precipitação média de 3 ou mais estações. O que notaram e corroboraram com Horton (1917), é que a ponderação regional é satisfatória do que a de regressão dos mínimos quadrados.

Para o período, foi necessário o uso de preenchimento de falhas com o método Ponderação Regional. Esse método utiliza pelo menos 3 estações vizinhas, com série histórica mensal e anual maior que 10 anos.

$$P_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Pm_x}{Pm_i} P_i \quad (1)$$

onde:

- O P_x é o dado mensal faltante;
- O P_i é o dado da estação vizinha;
- O Pm_x é o dado médio mensal da estação faltante;
- O Pm_i é o dado médio mensal da estação vizinha;
- E n é o número de estações vizinhas.

4.5. Análise de Agrupamento

A Análise de Agrupamentos ou de *cluster* classifica indivíduos por meio da homogeneidade dos dados, que participam de um mesmo grupo devido a sua identidade parecidas. Os indivíduos com analogias semelhantes são classificados de similares e os que possui heterogeneidade são chamados de dissimilares. Para

identificar a semelhança entre os indivíduos, se quantifica através da proximidade dos similares e dos dissimilares (FERREIRA, 2011).

Se os valores forem maiores que zero, ou seja, quanto maior este número mais ele vai ser semelhante e para valores próximos a zero não será semelhante. E para os dissimilares, é o inverso, quanto maior os dados medidos, menos semelhante e quanto menores forem, mais semelhantes (FERREIRA, 2011).

Ou seja, a Análise de Agrupamento trata da separação de dados em grupos cujas identidades não são conhecidas antecipadamente. Esse estado de conhecimento mais limitado contrasta com a situação dos métodos de discriminação, que exigem um conjunto de dados de treinamento pelo qual a participação no grupo é conhecida. A análise de *cluster* é principalmente uma ferramenta de análise de dados exploratória, e não uma ferramenta de conclusão. Dada uma amostra de vetores de dados x definindo as linhas ($n \times K$) de uma matriz de dados $[X]$, o procedimento definirá grupos e atribuirá associações a grupos em diferentes níveis de agregação (WILKS, 2006).

4.6. Análise de Componente Principais (ACP)

Pearson em 1901 iniciou e Hotelling em 1933 ampliou os conhecimentos da ACP. É uma técnica multivariada utilizada para destacar e identificar as variações com padrões fortes através de um conjunto de dados, que facilita a interpretação e visualização (FERREIRA, 2011; SETOSA, 2015).

Segundo Wilks (2006), esta técnica estatística multivariada é muito utilizada em Meteorologia. Tornou-se popular por Lorenz (1956) que analisou os dados atmosféricos e deu o nome da análise de função ortogonal empírica (EOF). A ACP diminui um enorme número de variáveis da série de dados para uma série com menos e novas variáveis.

As novas variáveis são combinações lineares dos dados originais e são escolhidas para representar a fração máxima possível da oscilação dentro dos dados de origem. É incorreto chamar a ACP de análise fatorial, apesar de ser um método estatístico multivariado relacionado, ambos são distintos. Enquanto a ACP utiliza todas as variáveis que não podemos observar diretamente (latentes), a análise fatorial explica todas as correlações usando poucas variáveis latentes (WILKS, 2006; FERREIRA, 2011).

4.7. Análise Exploratória de Dados (AED)

Em meteorologia e climatologia, a quantidade de informação das variáveis meteorológicas que se têm à disposição é, geralmente, reduzida para avaliar a fenomenologia nas diversas escalas espaciais e temporais. Tukey (1977) descreveu a AED como um método que tem por objetivo observar e analisar o comportamento dos dados através da criação de gráficos e outras formas de análise estatística, como por exemplo, desvios padrões, anomalias etc., facilitando o entendimento pela parte dos seres humanos, pois, algumas vezes, a quantidade e o volume de dados é muito grande para os limites da percepção humana.

Antigamente, esse método era aplicado manualmente através de desenhos que, muitas vezes, não representavam bem o que queria se expor. Nos dias atuais, com o advento dos computadores, a facilidade na sua aplicação fez com que essa técnica passasse a ser utilizada amplamente pelos meteorologistas e em outras áreas. Programas computacionais facilitam essa disposição e ajudam no entendimento das series temporais (SANTOS, 2013).

4.8. Anomalia de Chuva

A variabilidade da precipitação (ou seja, anomalias), definida como desvios da precipitação anual das médias de longo prazo. A anomalia de chuva mostra através da variabilidade uma flutuação extrema de um dado em uma série temporal, com desvios marcantes fora da amostra observada da flutuabilidade meteorológica (ALBUQUERQUE *et al.*, 2010). Isto é, ela destaca a variabilidade de chuva em diferentes escalas de tempo da estação e possibilita analisar os ciclos que alteram a pluviosidade daquela região (SILVA, 2019).

$$A = P_i - P_m \quad (2)$$

onde:

A é a anomalia do mês;

P_i é a precipitação do mês i ;

P_m é a precipitação média do conjunto de dados do mês i .

4.9. Análise de Ondeleta

Ondeletas é um tipo de função de base matemática que analisa a intensidade espectral da série de dados não-estacionários. A análise de Fourier analisa série de dados estacionários, então Morlet em 1982, desenvolveu a Transformada em Ondeletas para estudar e analisar os dados que ocorrem na natureza que são não-estacionários; para determinada aplicação existe dois tipos de ondeletas, a ondeleta discreta que decompõem e filtra qualquer conjunto de dados e ela não estimula frequências entre escalas, e a ondeleta contínua são usadas para visualizar através de um diagrama em 3 dimensões a relação que há entre elementos de frequências distintas em função da escala de tempo do sinal não-linear a ser estudado. A função ondeleta, tem duas funções, a Morlet (é mais usado por se aproximar das características não-lineares) e o Chapéu Mexicano (BOLZAN, 2004).

Análise de Ondeletas é um ferramentas que facilita a visualização das variações localizadas de energia de um conjunto de dados. Através desse instrumento tornou fácil a interpretação dos modos que dominam nas escalas de tempo (TORRENCE e COMPO, 1998).

As técnicas matemáticas da transformada em ondeleta são baseadas na teoria de grupos e nas representações quadradas integráveis, que aceitam o desdobramento de um sinal ou campo no espaço, na escala e na direção. As ondeletas são funções de análise que estão localizadas no espaço. Então dilata ou contrai a ondeleta para decompô-la, antes de haja convolução com o sinal. As transformadas em ondeletas foram aplicadas principalmente ao processamento de sinais, codificação de imagens e análise numérica, e ainda estão evoluindo (FARGE, 1992). Para mais detalhes, consultar Torrence e Compo (1998).

4.10. Análise de Ondeleta Cruzada

Para um uso mais complexo nos dados, utiliza-se a Transformada de Ondeleta Cruzada (TOC) para possibilitar a semelhança e correlação entre os sinais, ou seja, ela permite observar se a série está em coerência ou em diferença de fase (VIERA e BOLZAN, 2008; ODA, 2010; VARANIS e PEDERIVA, 2011; BLAIN e KAYANO, 2011).

A transformação de ondeleta cruzada analisa duas séries temporais periódicos e não-estacionários que podem ter relação entre elas e é baseada na transformada

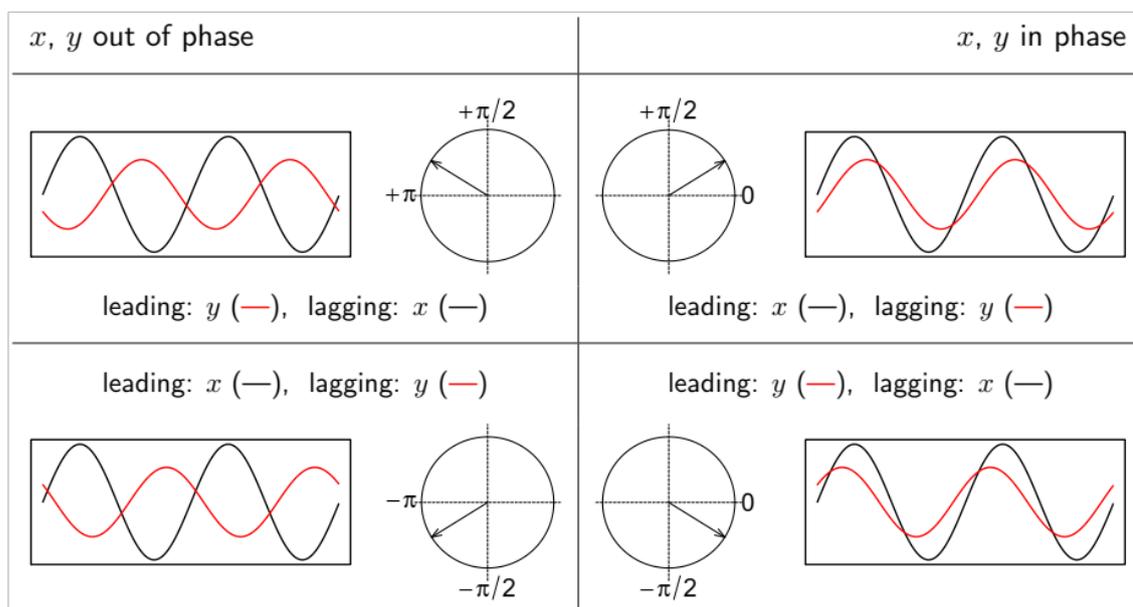
de ondeleta (VELEDA *et al.*, 2012).

A utilização da análise de ondeleta cruzada tem um papel importante de comparar o conteúdo de frequência de duas séries temporais, fazer conclusões sobre entre a série em determinados períodos e de intervalos de tempo. Para analisar se as séries temporais estão em fase ou não, se analisa através da posição das setas exibidas na imagem do Espectro de Potência da Ondeleta Cruzada (RÖSCH e SCHMIDBAUER, 2018).

Segundo Rösch e Schmidbauer (2014; 2018), a TOC pode ser comparada a covariância (relação entre duas variáveis), mas ela depende da unidade de medida do conjunto de dados e dificultar a sua interpretação ao grau de associação entre as séries, então a coerência de ondeletas pode ajudar quanto a interpretação.

Para interpretar quanto a relação entre as duas séries temporais observa-se através da coerência de ondeleta (Figura 17), o eixo das abscissas (ordenadas) representa o tempo (escala de tempo), a escala de cores representa a magnitude do R^2 , a linha branca são áreas de coerência significativa, as setas indicam a relação entre as séries temporais.

Figura 17 – Diferença de fase e sua interpretação.



Fonte (RÖSCH e SCHMIDBAUER, 2018).

A relação entre as fases se dá pelo sentido das setas nas imagens de TOC. As séries temporais em fase (fora de fase) ou correlação positiva (negativa) se as setas

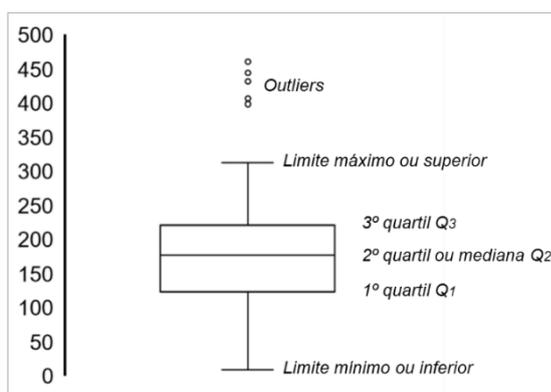
estiverem apontando para a direita (esquerda) e a posição das setas em cada quadrante indicam qual das séries estão liderando. Um valor 0 significa que os ciclos se movem juntos em determinados períodos (VACHA e BARUNIK, 2012; AUTH, 2013; HANIFF e MASIH, 2016).

Uma diferença de fase de $\pm\pi$ indica que os ciclos da série temporal são deslocados em 180° , ou seja, representando uma correlação perfeitamente negativa (y ou x liderando). As setas que apontam para cima significam que y (ou x) série temporal está à frente da segunda em 90° , enquanto as setas que apontam para baixo indicam que x (ou y) da série temporal está à frente da primeira em 90° (VACHA e BARUNIK, 2012; AUTH, 2013; HANIFF e MASIH, 2016).

4.11. *Boxplot* ou Diagrama de Caixa

O diagrama *boxplot* (Figura 18) é um dos métodos quantitativos de AED, e é conhecido além disso de desenho esquemático e é definido pelo primeiro e terceiro quartil e pela mediana. Para interpretação, há dois limites um inferior e um superior, o que estiver abaixo ou acima desses limites são chamados de *outliers*, a mediana que é o valor central (NAGHETTINI e PINTO, 2007).

Figura 18 – Esquema de um diagrama de caixa (boxplot).



Fonte (do autor)

Isto é, através dos valores mínimos e máximo e medianas através de retângulo que são os 1º quartil que representa 25% do conjunto de dados, 2º quartil ou mediana que representa 50% do conjunto de dados e 3º quartil que representa 75% desse conjunto de dados, e pelos outliers que são os extremos (OLIVEIRA e GALVANI, 2017).

4.12. Índice de Precipitação Padronizada

O Índice de Precipitação Padronizada (IPP) é uma metodologia muito utilizada para quantificar extremos de seca e chuva de um determinado local de estudo. McKee *et al.* (1993) analisou os dados de precipitação mensal normalizada através da função de distribuição de probabilidade que descreve as séries temporais. Quando o valor atinge -1 ou +1, é que naquele ponto se inicia a seca ou a cheia e termina quando o valor volta a ficar positivo ou negativo, respectivamente (BLAIN *et al.*, 2010; BLAIN e KAYANO, 2011; CPTEC, 2020). Como podemos observar na Tabela 2:

Tabela 2 – Valores do Índice Padronizado de Precipitação e Classes de seca e de umidade.

Índice de Precipitação Padronizada	Interpretação
≥ 2,00	Extremamente Úmido
1,50 a 1,99'	Severamente Úmido
1,00 a 1,49	Moderadamente Úmido
0,00 a 0,99	Umidade Inicial
0,00 a -0,99	Seca Inicial
-1,00 a -1,49	Moderadamente Seco
-1,50 a -1,99	Severamente Seco
≤ -2,00	Extremamente Seco

Fonte (MCKEE *et al.*, 1993)

O IPP, segundo o *European Drought Observatory – EDO* (2020), é um indicador para detectar e distinguir secas meteorológicas. Através da anomalia de chuva e baseado numa comparação dos valores de chuva total para um determinado período de acumulação de interesse, isto é, 1, 3, 12 meses (IPP-1, ..., IPP-12, refere ao período de acumulação de 1, ..., 12 meses), com registro histórico de longo prazo.

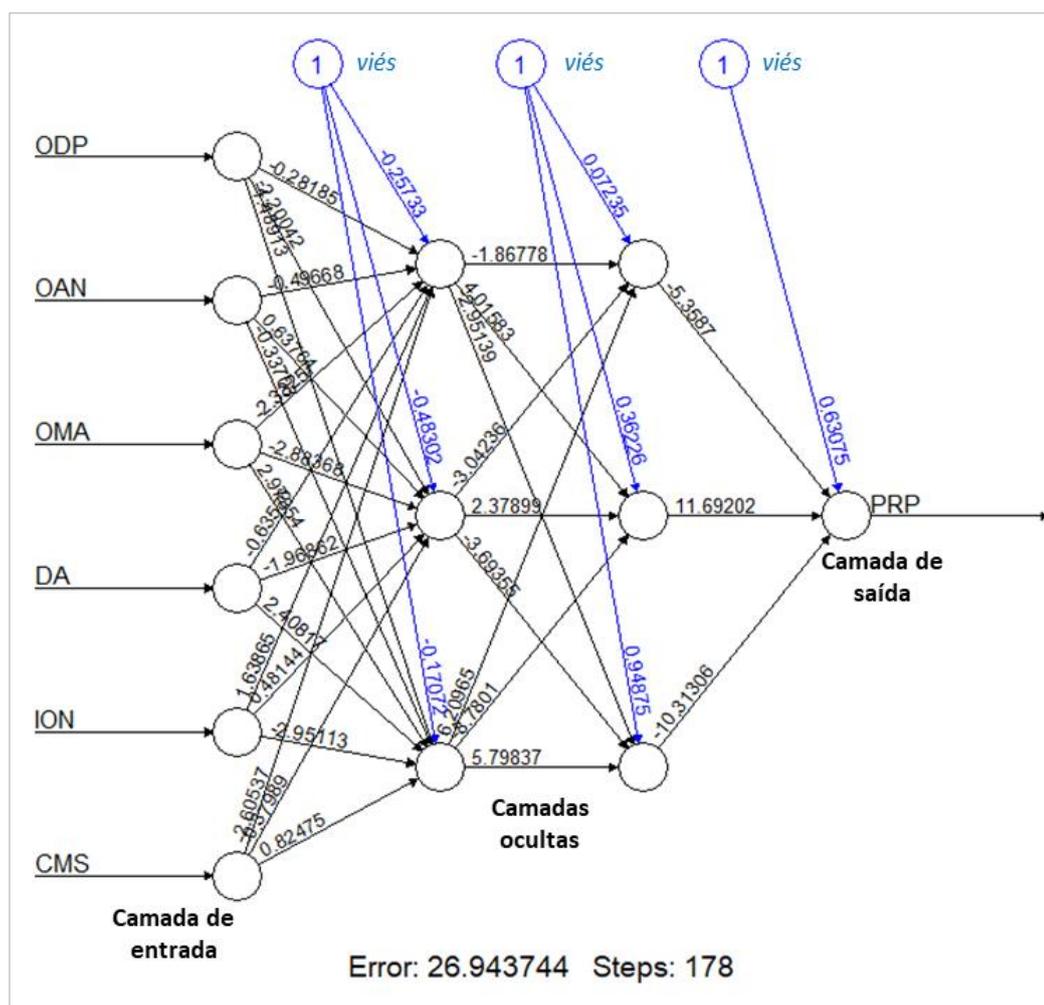
Para secas severas (excesso de chuva) o indicador IPP diminui abaixo (aumenta acima) de -1,0 (1,0), que estão em unidades de desvio padrão da média de longo prazo. Ou seja, o IPP mostra que a intensidade do desvio padrão da média é uma medida de probabilidade do grau de gravidade de um evento úmido ou seco da região de estudo (EDO, 2020). O IPP para este estudo foi calculado para o período de acumulação média de 7 meses (IPP entre 3 e 12 meses é um indicador para fluxo reduzido e armazenamento do reservatório), EDO, 2020.

4.13. Redes Neurais Artificiais

A Rede Neural Artificial (RNA) é baseada pela estrutura cerebral do ser humano, e seu processamento de informações é distinto de um computador convencional. O cérebro humano é um ultra computador complexo, não linear e paralelo, devido a sua aptidão de realizar tarefas de diversos entendimentos de maneira rápida através dos neurônios (HAYKIN, 1998).

A Figura 19 exemplifica o treinamento da RNA, precisa-se inserir os dados de entrada para treinar os neurônios da camada de entrada, e após isso observa-se a propagação do sinal na camada oculta e na camada de saída. O viés (ou *bias*) é uma unidade especial que deve conter na camada de entrada; ela possibilita aumentar os graus de liberdade para adaptar a informação que fornece (IBM, 2020).

Figura 19 – Exemplo de uma simples rede neural com camada de entrada, camada oculta e camada de saída.



Fonte (do autor)

A RNA tem alta capacidade para modelar sistemas dinâmicos em diversas áreas científicas, isto é, uma bacia hidrográfica. E uma de suas vantagens em modelar um sistema hidrológico é não necessitar de informações dos processos físicos de uma BH, por exemplo, transformar chuva em vazão sem conhecê-la. Por isso a modelagem em RNA é de grande utilidade devido a sua eficiência para resolver problemas que são de alta complexidade de descrever através de equações físicas (SANTOS, 2001).

A utilização das RNA para fazer previsões em diversos assuntos, seja no âmbito análise de mercado financeiro (CORRÊA *et al.*, 2005), comercialização (DECKER, 2014) e contratos (TEIXEIRA, 2017) de energia elétrica, previsão de vazão (BATISTA, 2009), previsão climática (ANOCHI e VELHO, 2015) e de precipitação (DANTAS *et al.*, 2016), etc.

Para isso são utilizadas arquiteturas (tipos) voltados ao objetivo do estudo. Por exemplo, rede neural recorrente, memória de curto-prazo longa, cadeias de Markov, rede neural convolucional, dentre outros. Nesse trabalho foi utilizada o algoritmo neuralnet do tipo resiliente *backpropagation*, que permite flexibilizar as configurações através da personalização da função de erro e ativação, ele é rápido e não requer tanto ajuste quanto a retropropagação clássica. E para treinar a RNA foi o rprop+ que se refere à retropropagação resiliente com *backtracking* de peso (GÜNTHER e FRITSCH, 2010).

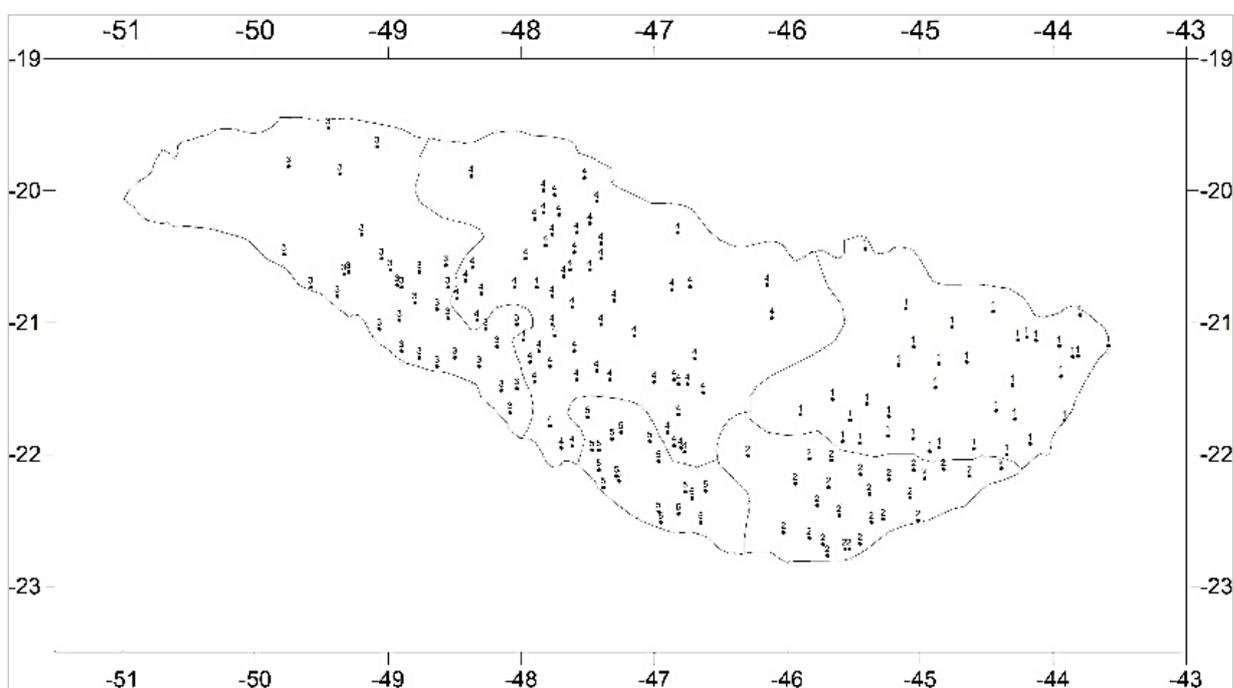
Para a modelagem de série temporal fez-se testes a serem satisfeitos, para saber os resíduos, autocorrelação, estacionaridade, dentre outros. Utilizou-se o modelo *Autoregressive Integrated Moving Average* (parâmetros não sazonais x parâmetros sazonais) – ARIMA (p,d,q)x(P,D,Q) para comparar com o modelo de RNA, e eles baseiam-se em autocorrelações presentes nos dados, isto é, captura várias estruturas temporais padrão que são organizações com o padrão de tempo no conjunto de dados de entradas. Faz-se testes para autocorrelação verificar se os valores são correlacionados entre si, se existe presença na autocorrelação, as estimativas dos mínimos quadrados, se houve variância mínima. E após o ajuste do modelo ARIMA, a estatística Ljung-Box junto com a autocorrelação observa-se a estacionaridade, resíduos, autocorrelações significativas, ou seja, testa a falha do ajuste do modelo (COGHLAN, 2018).

5. RESULTADOS

5.1. Análise do Comportamento da Chuva na Bacia do Rio Grande

A Figura 20 mostra os 174 pontos utilizados dos postos pluviométricos na Bacia do Rio Grande, e através destes foram realizadas as análises estatísticas para avaliação diagnóstica da área de estudo.

Figura 20 – Distribuição dos postos pluviométricos da Bacia do Rio Grande.

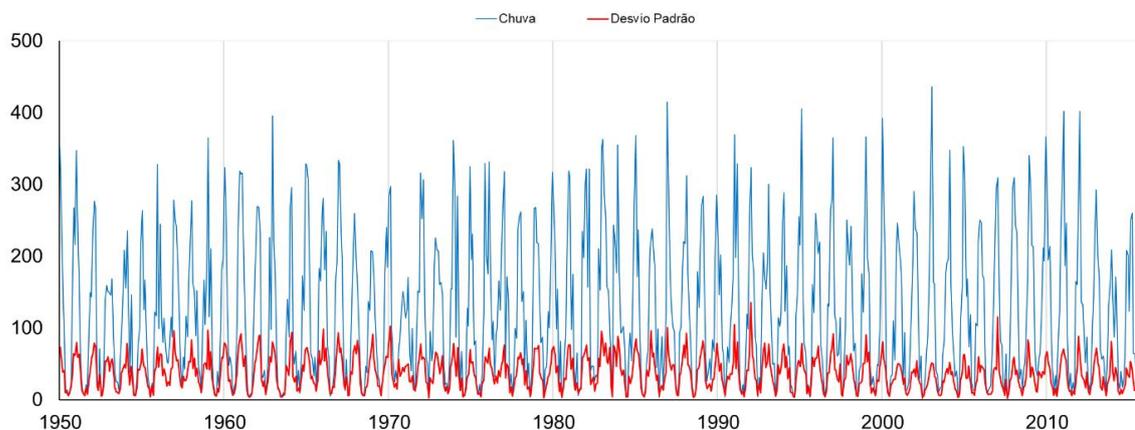


Fonte (do autor)

A Figura 21 mostra a chuva média mensal e o desvio padrão dos 174 postos analisados da Bacia do Rio Grande para o período de 1950 a 2015. Observou-se a variabilidade anual das chuvas representada pela média da bacia, apresentou períodos secos/chuvosos bem definidos ao longo do ano.

O desvio padrão apresentou baixa amplitude na média de todas as 174 estações estudadas para toda a série temporal mostrando um regime de chuva homogêneo sobre a bacia. Essa região hidrográfica é abastecida pelos sistemas frontais, ZCAS, brisas e fenômenos locais. Corroborando com o estudo de Pereira Filho *et al.* (2018).

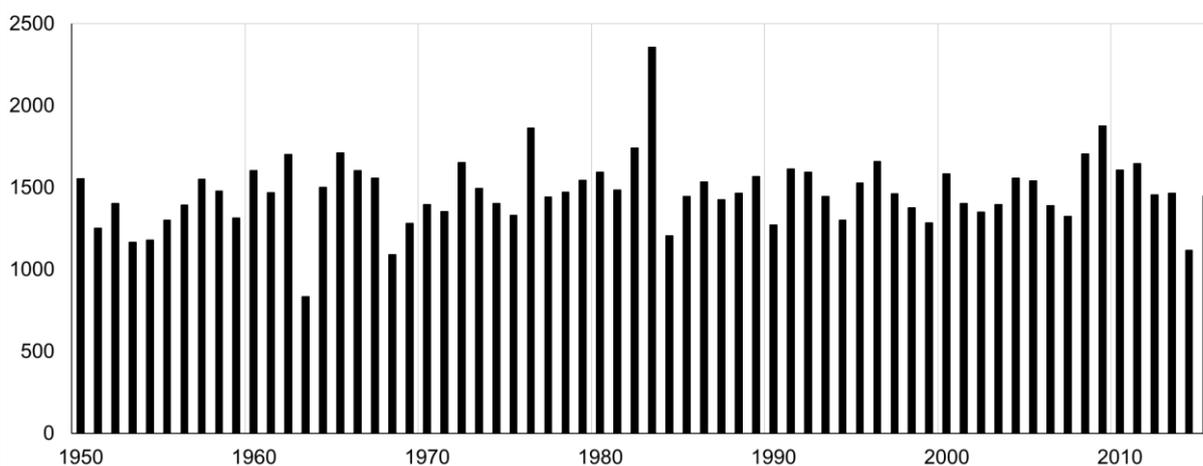
Figura 21 – Série temporal da chuva média mensal (linha azul em mm) e o desvio padrão (linha vermelha) da média das 174 estações da Bacia do Rio Grande para o período de 1950 a 2015.



Fonte (do autor)

Observando a Figura 22, o ano de 1963 foi o mais seco com chuva anual de aproximadamente 836 mm e o ano de 1983 foi o mais chuvoso superando 2.300 mm em todo o conjunto de dados. E recentemente (2013-2015) houve uma seca no Sudeste do Brasil que afetou toda a população da região (SILVA DIA, 2014; PEREIRA FILHO, 2015; COELHO *et al.*, 2015; MARENGO *et al.*, 2015; LUIZ SILVA *et al.*, 2015; NOBRE *et al.*, 2015), e pode-se observar que o ano de 2014 foi o pior entre 2013 e 2015, com chuva anual total chegando um pouco mais de 1.111 mm. Salientando que nestes anos houve o EN de intensidade forte para o ano de 1983 e EN de intensidade moderada como pode ser observado na tabela 1.

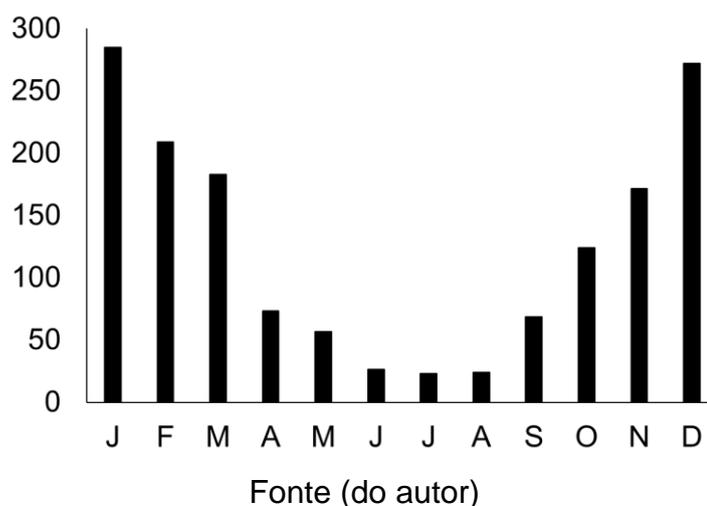
Figura 22 – Série temporal da chuva total anual (mm) da média das 174 estações da Bacia do Rio Grande para o período de 1950 a 2015.



Fonte (do autor)

A chuva climatológica da Bacia do Rio Grande, Figura 23, mostra que ela tem o período chuvoso entre novembro e março, que há a atuação da ZCAS e fortes entradas de FF, CCM, LI, fenômeno local e efeito de brisas e o período seco entre maio e outubro há entradas de massas de ar frias que ajudam a enfraquecer as chuvas que adentram a região hidrográfica.

Figura 23 – Média climatológica (mm) de 1981 a 2010 da média das 174 estações da Bacia do Rio Grande.

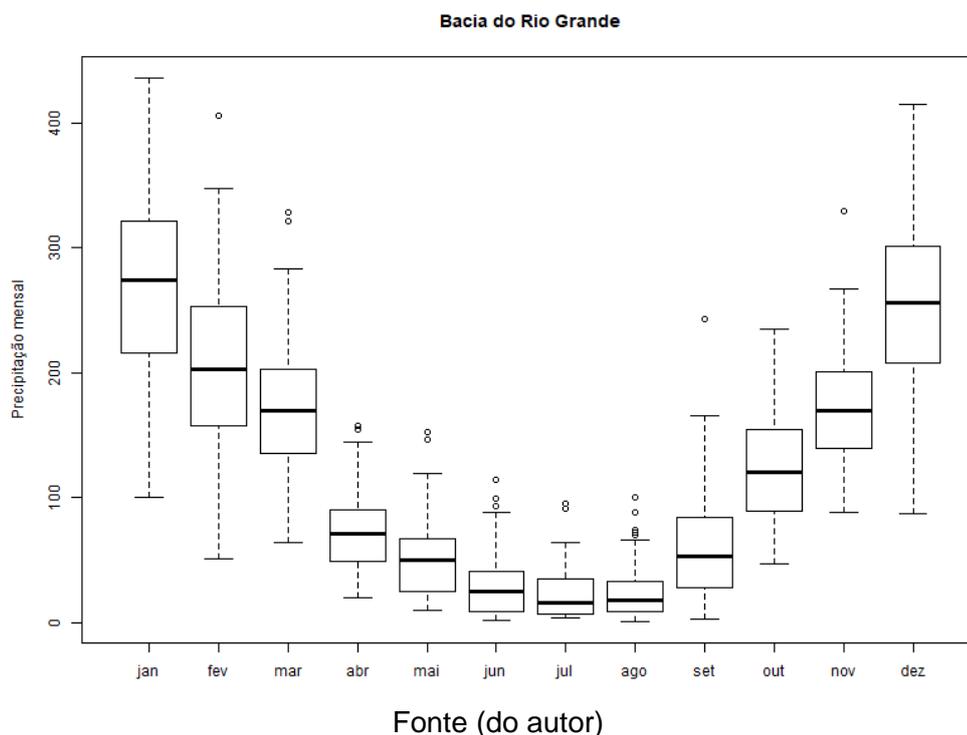


Ao analisar a Figura 24 notou-se uma semelhança com a Figura 23, novembro a março o período chuvoso e maio a outubro o período seco. O *Boxplot* da Bacia do Rio Grande observou-se grande amplitude no período chuvoso da bacia, em alguns momentos a chuva realizada foi próximo ao que se é observado durante o período seco.

Notou-se também, que a amplitude entre o mês mais seco e o mais chuvoso dentro do próprio período chuvoso é bem extremo, por exemplo, no mês de janeiro observou-se claramente um valor mínimo de 99,7 mm e um máximo de 436,4 mm. Já no período seco, essa amplitude é bem menor que vai de 0,8 mm a 100,6 mm no mês de agosto.

A representação do IPP para a Bacia do Rio Grande, Figura 25a-b, mostra que no final da década de 50 a até o final da década de 2000 no período seco, houve registro de período que foi de moderadamente seco a extremamente seco, principalmente entre 1993 e 2003.

Figura 24 – Diagrama de caixa (*Boxplot*) da Bacia do Rio Grande para o período de 1950 a 2015 da média das 174 estações.



Observou-se entre os anos de 1982 e 1983, EN com intensidade muito forte, no período seco o valor do IPP de 0. Já quando observamos os meses do período chuvoso, notou-se que ficou entre severamente e extremamente úmido. Entre os anos de 1955 e 1958 e de 1970 a 1972 não houve extremos. Esses anos são considerados anos de transição. Os próximos anos são os considerados mais chuvosos ou secos. Os anos entre 2010 e 2015 mostraram-se um período intenso de seca o que se assemelha no período de 1970 a 1972.

Ao fazer a frequência de ocorrência das classes de seca e de umidade do IPP na Figura 26, observamos a conexão com as figuras 22 e 23. De novembro a março a presença de chuvas e de abril a setembro a ausência dela. É interessante notar que fevereiro e março começam a iniciar o período seco e quando se inicia o início do período seco em abril, há uma redução da umidade inicial e um aumento de seca inicial.

Os meses de junho a setembro são os meses com mais presenças de seca inicial e chega a períodos de extremamente seco. Quando começa a transição entre setembro e outubro há o início de umidade inicial, e quando chega a novembro já não há mais frequência de seca, tendo um período chuvoso até janeiro bem úmido.

Figura 25 – Representação da (a) série temporal e (b) gráfico pseudo-3D do índice de precipitação normalizada da média das 174 estações da Bacia do Rio Grande entre 1950 e 2015.

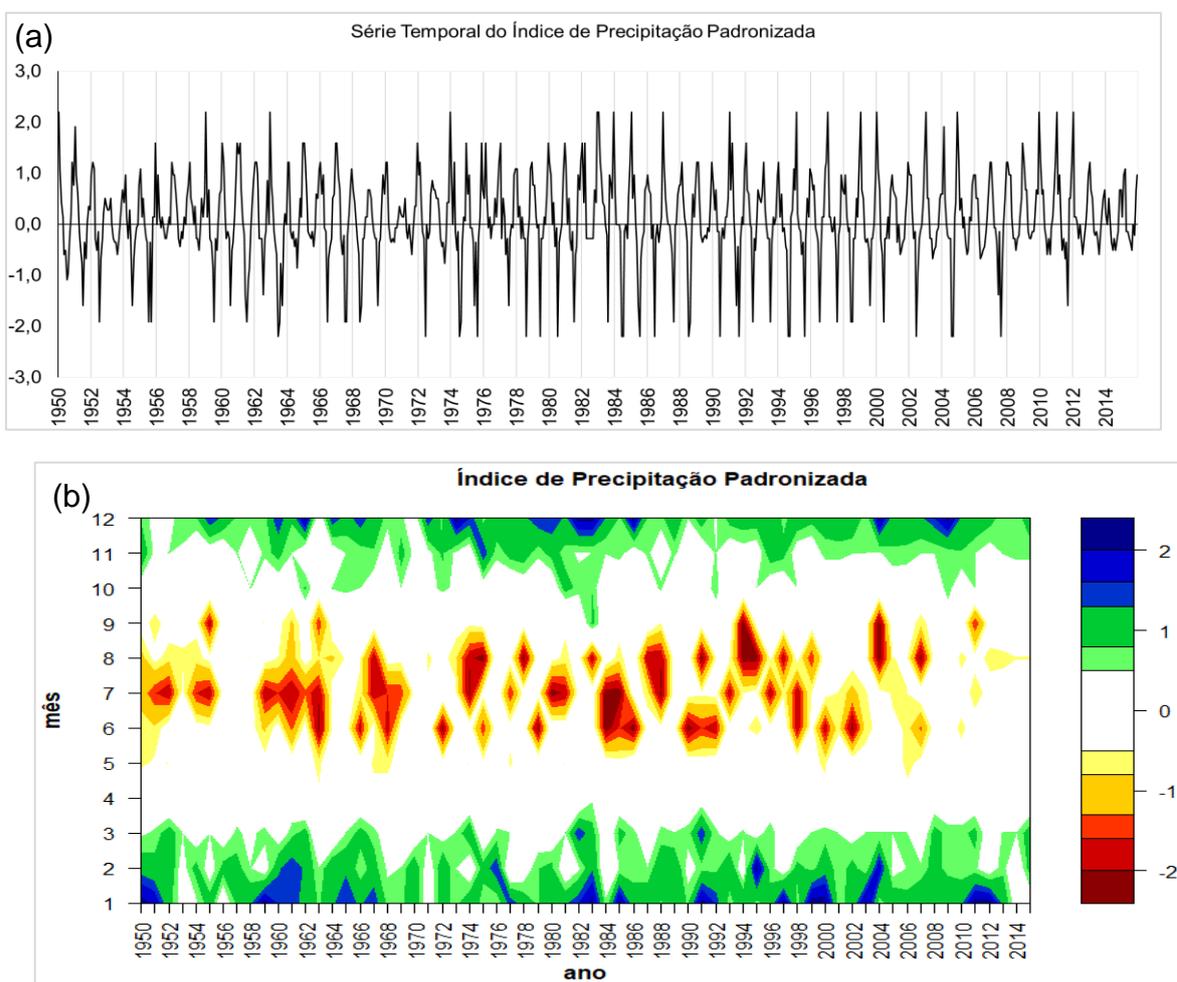
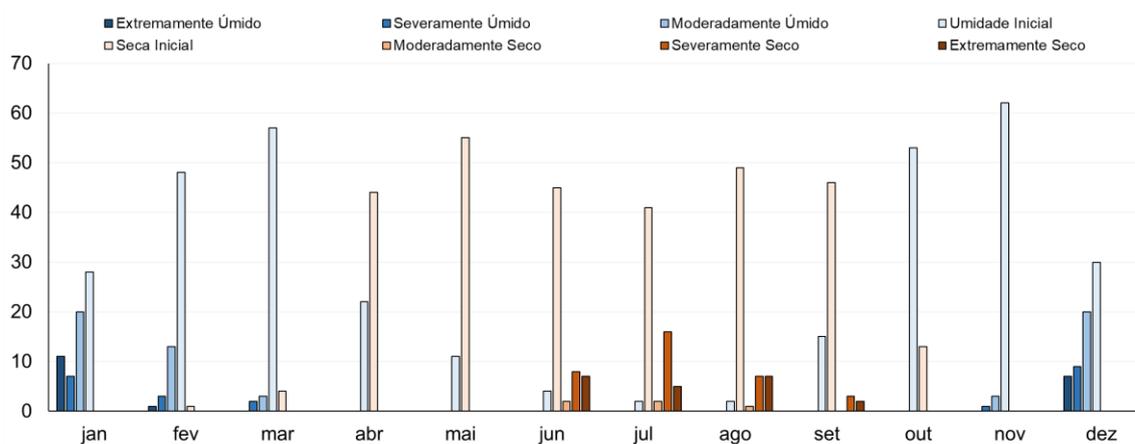


Figura 26 – Frequência em número de meses das classes do índice de precipitação padronizada da média das 174 estações da Bacia do Rio Grande entre 1950 e 2015.



Na Figura 27a, chuva climatológica (1981 a 2010) da Bacia do Rio Grande, observou-se que na cabeceira da bacia, extremo leste, a chuva supera os 1650 mm, mas notou-se que há pontos inferiores a 1500 mm, que é observado em toda a bacia. A região central, extremo nordeste e sudeste as chuvas são em torno de 1500 mm a 1800 mm. Aparentemente as chuvas são bem distribuídas ao longo de toda a bacia. Confirmando a Figura 3, climatologia de chuva acumulada mensal anual.

Para realizar as regiões homogêneas (RH) da Figura 27b foi aplicado o método aglomerativo hierárquico de Ward (1963) que resultou em cinco fatores comuns que explicaram 91,46% da variância total dos dados, mas apenas os três primeiros fatores foram os mais expressivos que explicaram 86,68% da variância total da chuva média mensal dos 174 postos pluviográficos, que possibilitou classificar a Bacia do Rio Grande em cinco regiões homogêneas de chuva, Tabela 3.

Tabela 3 – Autovalores e total da variância explicada para a chuva média mensal no Bacia do Rio Grande.

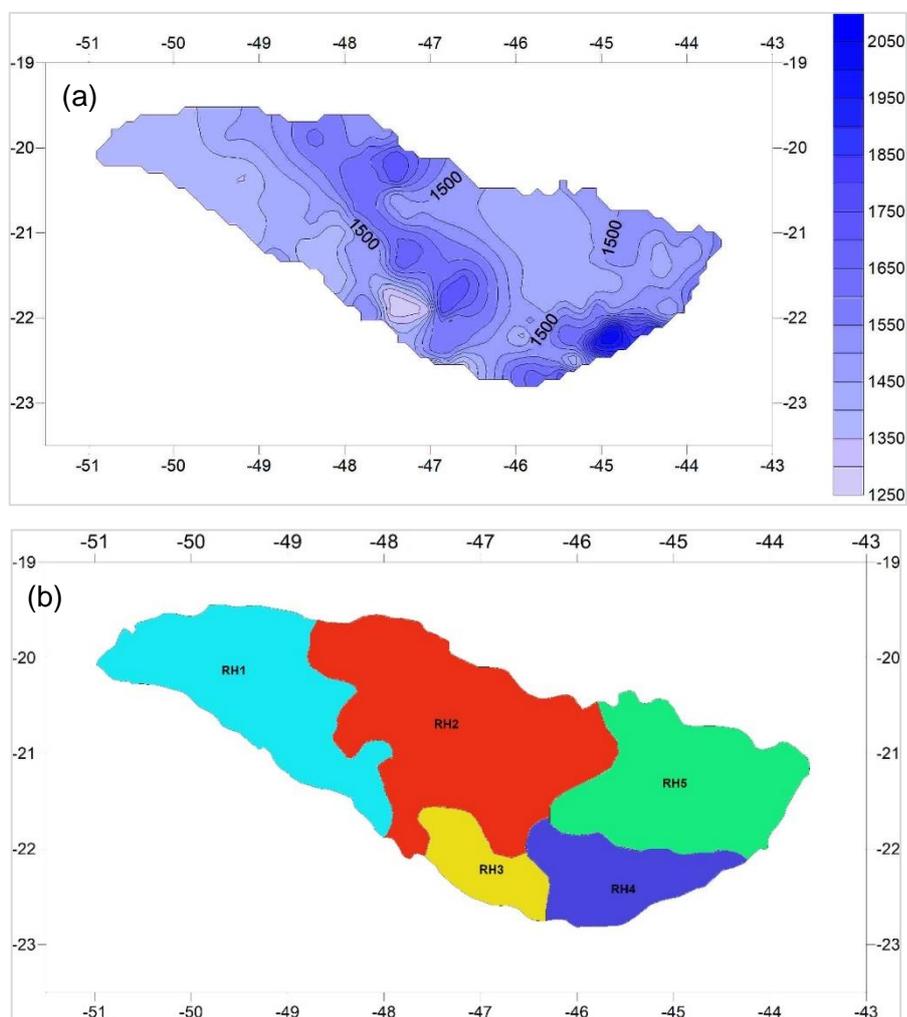
Componente Principal	Fatores não rotacionados			Fatores rotacionados		
	Autovalor	Variância Explicada (%)	Variância Acumulada (%)	Autovalor	Variância Explicada (%)	Variância Acumulada (%)
1	149,028	85,648	85,648	52,786	30,337	30,337
2	4,426	2,544	88,192	51,754	29,744	60,081
3	3,358	1,930	90,122	46,289	26,603	86,684
4	1,327	0,763	90,885	6,777	3,895	90,579
5	1,012	0,582	91,467	1,545	0,888	91,467
...
174	...	....	100	...	...	100

Fonte (do autor)

A RH1 corresponde o oeste da bacia composta por 18 estações, onde a chuva varia de 1.400 a 1.500 mm/ano. A RH2 possui 61 estações, tem chuvas em torno de 1500 mm/ano. A RH3 é composta por 33 estações, possui a menor distribuição de chuva no lado oeste, 1.250 mm/ano. O lado leste possui chuvas de 1.500 mm/ano. Essas regiões têm influência de fenômenos locais, sistemas frontais, CCM e ZCAS.

A RH4 possui chuvas que superam aos 2.000 mm/ano e há 26 estações e na RH5, com 36 estações, é semelhante a RH4 em comportamento de chuvas e estas duas RH ficam acima de 2.000 metros de altitude (MARCUIZZO, 2017). As chuvas que abastecem essas duas RH são as que abastecem as outras RH, mas também são abastecidas pelas brisas de vale-montanha.

Figura 27 - (a) Distribuição espacial dos totais médios anuais da chuva e (b) Regiões Homogêneas da chuva obtidas da aplicação do método de agrupamento de Ward aos principais fatores comuns espaciais da média das 174 estações da Bacia do Rio Grande.



Fonte (do autor)

Ao analisar os padrões espaciais associados aos três primeiros fatores da tabela 4, notou-se que os padrões espaciais das Figura 28a,b,c definem a distribuição de chuva na Bacia do Rio Grande. O padrão espacial da primeira Componente Principal (CP) explicou 30,34% da variância da chuva média mensal.

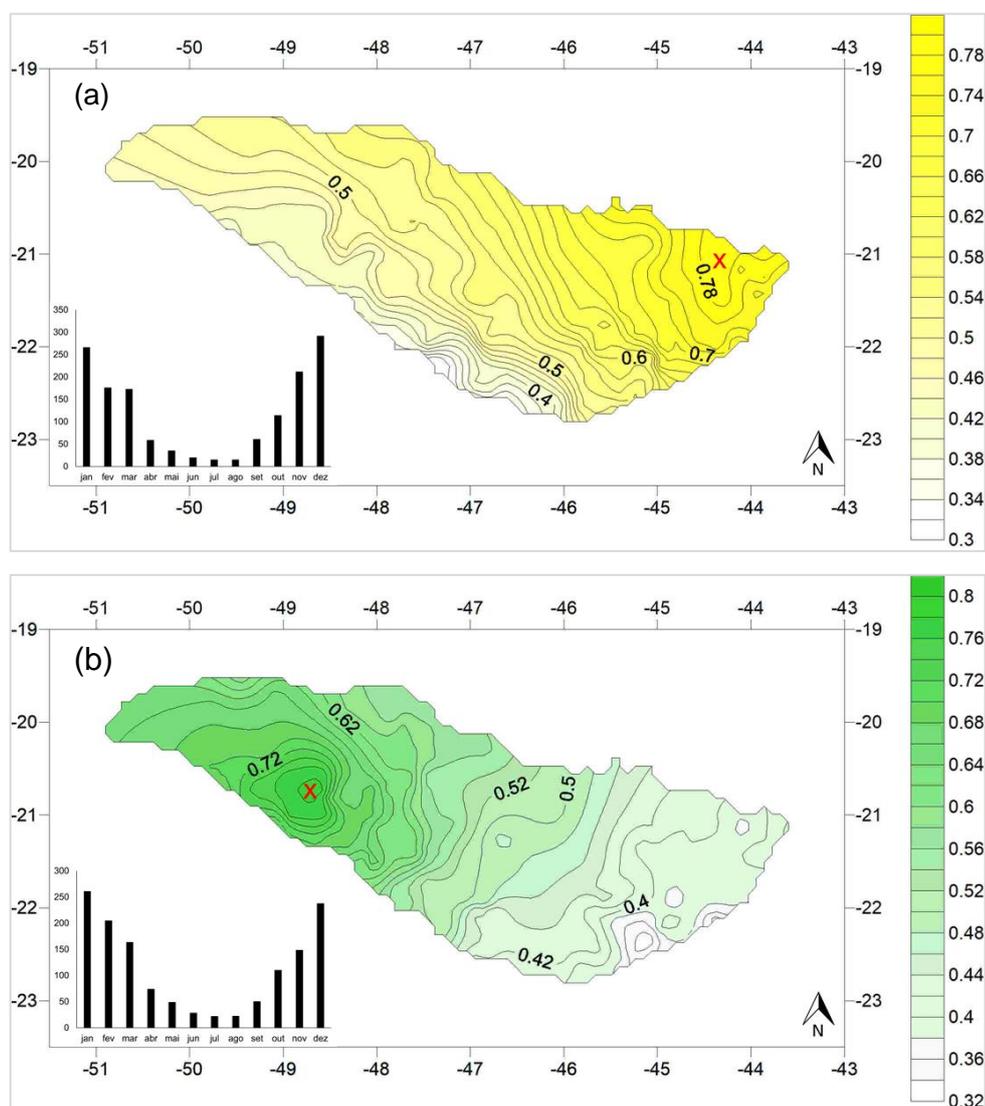
Observou-se que as maiores contribuições para esse primeiro fator de contribuição superior a 0,7 se encontra no sudeste e nordeste da bacia, que correspondem as maiores chuvas nessa região. Este padrão evidencia chuvas oriundas de brisa vale-montanha, a atuação de ZCAS e SF. O período seco é entre abril e setembro e o chuvoso entre novembro e março, que corresponde aos sistemas atuantes nessa região.

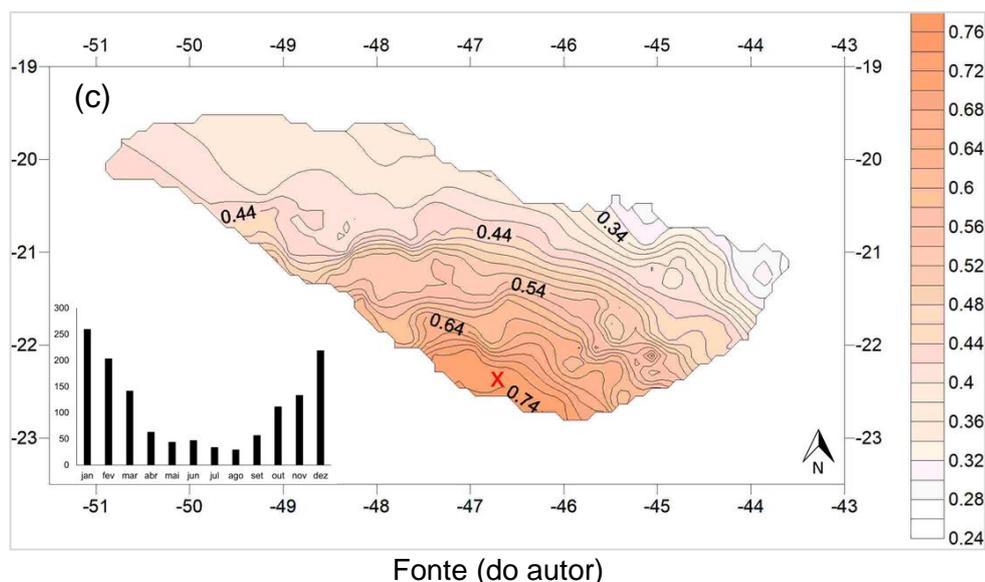
A segunda CP explicou 29,74% da variância da chuva média mensal e notou

que as maiores contribuições se encontram no noroeste e principalmente no sudoeste da bacia, chegando a contribuições superiores a 0,7, que podem estar relacionadas a ZCAS, efeito local, CCM e SF. Seu período chuvoso e seco é semelhante ao da primeira CP.

Para a terceira CP explicou 26,60% da variância da chuva média mensal, e para esta região as maiores contribuições superiores a 0,7 ficou no sul da bacia, onde há a atuação de SF, ZCAS e o efeito de vale-montanha. Essa região, os dois períodos são semelhantes as duas anteriores CP, sendo a estação seca um pouco mais chuvoso.

Figura 28 – Padrão espacial do (a) primeiro, (b) segundo e (c) terceiro fator temporal e gráfico da chuva de cada fator (x) da Bacia do Rio Grande.





5.2. Análise Espectral da Bacia do Rio Grande

Depois de analisar a distribuição do comportamento da chuva na Bacia do Rio Grande, serão analisadas as relações espectrais entre a chuva e os índices climáticos que podem estar relacionados com o comportamento da pluviosidade da região hidrográfica. Optou por não verificar por Regiões Homogêneas (RH) e sim a Bacia completa, devido a Bacia do Rio Grande (BRG) apresentar tamanho reduzido e resultados semelhantes; conferir as figuras das RH no Anexo A.

A Figura 29e observamos o comportamento da chuva durante o ano, observou-se que seu período seco é entre abril e outubro e o período chuvoso se inicia em novembro-dezembro e vai até março. Na série temporal de anomalia de chuva (Figura 29a) observou que os anos de 1956, 1963, 1971, 1974, 1977, 2014 e 2015 apresentaram anomalias negativas durante o período chuvoso, 87mm, 114mm, 87mm, 51mm, 142mm e 124mm, respectivamente.

E os anos que apresentaram anomalias positivas foram durante o período chuvoso foram os de 1962, 1975/76, 1982/83, 1986, 1991, 1995, 2003/04 e 2011/12, com exceção de 1983, ano de EN muito forte, que apresentou durante o período seco, e respectivos registros de chuva de 329mm, 332mm, 322mm, 243mm, 415mm, 329mm, 406mm, 436mm, 348mm, 402mm e 402mm.

Ao cruzar os dados de anomalia de chuva BRG e do ION na Ondeleta Cruzada, observou núcleos com alta periodicidade de 1 e 8 anos entre os anos de 1960 e 1990, principalmente com período de 2 anos mais significativo, que é relativo aos anos de

EN e LN que ocorrem por volta de 2 e 7 anos.

Durante esse período de 1960 a 1990, houve uma grande influência dos fenômenos ENOS no regime de precipitação da Bacia do Grande, já após o período de 1990 não fica tão evidente essa relação entre a chuva e o ION. Também notou que há uma relação com o ciclo de manchas solares que o seu máximo acontece no período de 11 anos e essa interação é bem notável entre os anos de 1960 e 2015.

O início da década de 1950, Figura 29d, observou-se um núcleo significativo de 2 anos. Onde há uma correlação negativa, fora de fase, e a chuva liderando, ou seja, nesse caso o ION não teve influência na pluviosidade da BRG. Mas ao analisar o núcleo que fica entre os ciclos de 4 a 8 anos, há uma influência entre o ION e a BRG no ciclo de 7 anos, o ION lidera a partir de 4 anos e quando se aproxima ao ciclo de 8 anos eles tendem a correlacionar positivamente, mas a chuva tende a liderar e não ter relação entre eles, mas enfatizando que esse núcleo não se encontra no cone de influência.

Entre 1950 e 1960, verifica-se que a interação com a chuva se dá entre os ciclos próximo de 4 e 8 anos, onde a periodicidade de 3,5 anos a até 7 anos estão em fase, com correlação positiva e no final dos anos de 1950 elas se movem juntas, tendo uma correlação positiva perfeita (3,5 anos). Mas no ciclo de 7 anos, notou-se que o sinal se inverte, o ION lidera ficando fora de fase e no fim dos anos 50 ela tem uma correlação negativa perfeita durando a até mais ou menos 1965. E para o ciclo de 8 anos, esse sinal é inverso, isto é, em fase, chuva liderando e correlação positiva.

Observando a década entre 1960 e 1990, houve um sinal altamente energético durante esse período para os ciclos entre 1 e 16 anos, com ênfase entre 2 e 7 anos. A década de 60, o ION apresentou mais sinais positivos (Figura 29b) do que negativo, que em 1963-1964 houve um EN moderado, 1965-1966 EN forte, 1964-1965 e 1967-1968 LN fraco e 1968-1969 e 1969-1970 um EN fraco.

No ciclo de 2 anos, o sinal tem uma correlação negativa perfeita, onde a chuva lidera no ciclo de 1,5 anos e quando se aproxima no ciclo de 2 anos se torna perfeitamente negativa e ao aumenta o ciclo o ION começa a liderar, apresenta correlação negativa e fora de fase. E no ciclo próximo de 4 anos, esse sinal inverte, ficam em fase, correlacionados positivamente e o ION liderando.

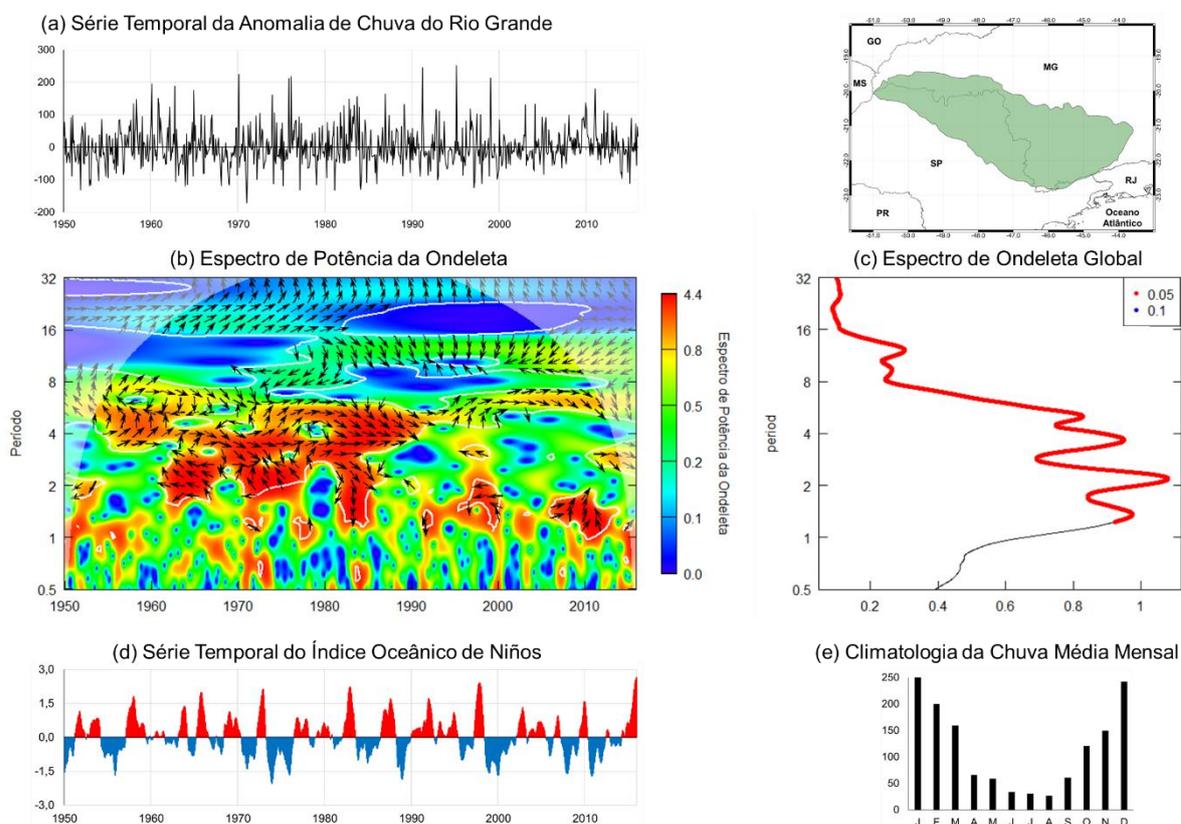
O ano de 1982-83, EN muito forte, foi o mais chuvoso no Brasil e notou-se na Figura 29b que o sinal aponta para baixo em torno do ciclo entre 1 e 2 anos. Isso corresponde o ION lidera sobre a chuva do BRG, com correlação negativa e

corresponde $\frac{1}{4}$ do período que é em torno de 3 meses para a chuva ter uma resposta sobre a bacia. Esse sinal começa a está em fase e se moverem juntas ao se aproximar do ciclo de 4 anos e volta o ION a liderar quando passa a aumentar o ciclo, aproximadamente no ciclo de 7 anos, e a corresponder em $\frac{1}{8}$ do período que é em torno de 1,5 mês para ter uma resposta da chuva.

Entre a 1990-2000 e 2004-2015 há núcleos significativos correspondente ao ciclo de 1 a 2 anos, 3 anos, 7 anos e 11 anos. De 1990 a 2000 o ION lidera sobre a chuva, fora de fase no ciclo anual e no ciclo de 2 anos mostra uma correlação negativa perfeita entre as séries e ION de anomalia negativa (d).

Já entre 2004 e 2015 as setas se movem juntas (ION negativo), correlação positiva perfeita, completamente em fase. E próximo a 2010 o sinal muda (ION negativo mudando para positivo), a chuva lidera sobre o ION (defasado 45°), respondendo a $\frac{1}{8}$ do período e a chuva ocorre 3 meses antes. Mas ao observar o ciclo por volta de 3 anos e de 7 anos, ora elas se movem juntas ora o ION lidera sobre a chuva.

Figura 29 - Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Bacia do Rio Grande e o Índice Oceânico de Niños e espectro global, para o período de 1950 a 2015.



Fonte (do autor)

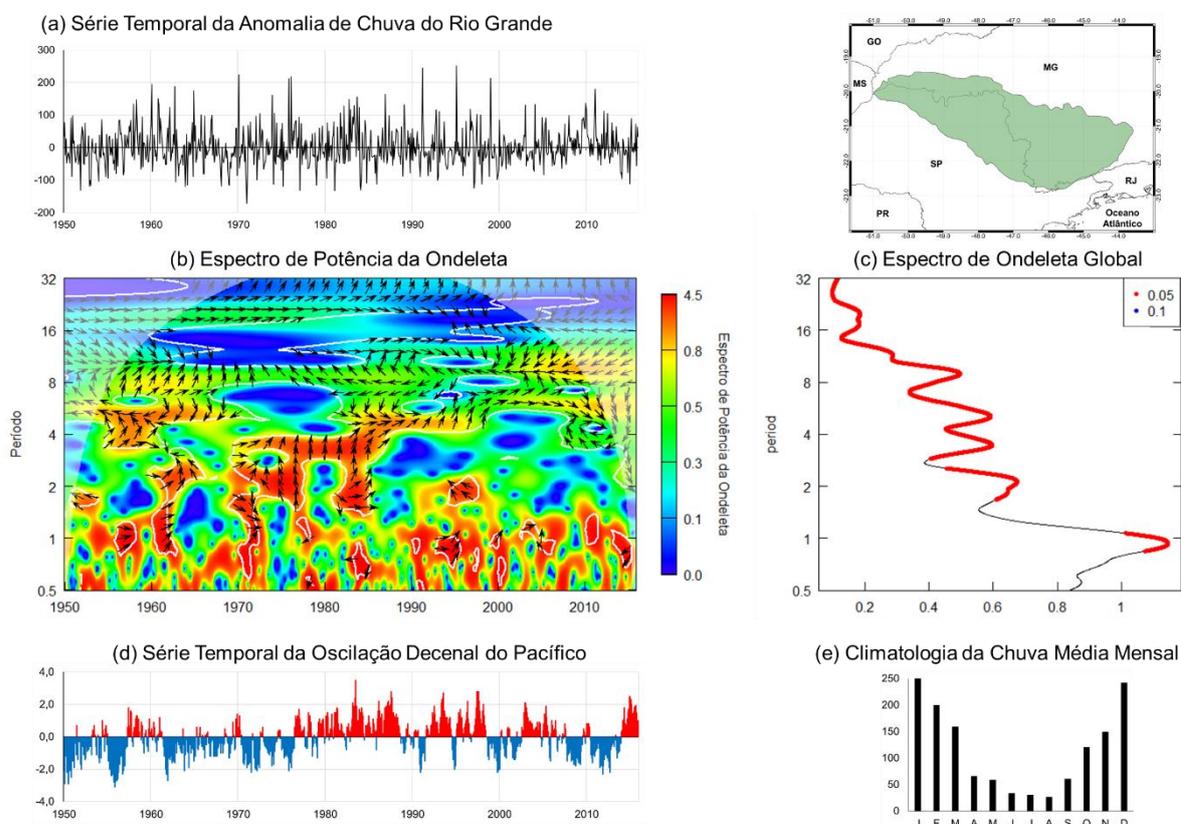
A Figura 30 analisou a anomalia de chuva da BRG e a ODP, a periodicidade mais significativa é a anual, e também para os períodos de 2, 4, 7, 11 anos. Para o cruzamento de dados observou que quando a ODP estava na fase fria (1950-1976) apresentou periodicidades intrasazonal a ciclo de 11 anos, sobretudo quando o Pacífico estava positivo (1957 a 1961, 1970 e 1976).

Quando começa a fase quente da ODP (1977-1998) e após os anos 2000, observou-se um núcleo de maior energia na escala do fenômeno ENOS, principalmente entre o fim da década de 70 e a década de 80. Destacou também que quando o Pacífico estava negativo essa interação entre os ciclos intrasazonais a 7 anos diminuem, sobressaindo fenômenos acima de 7 anos. Frisa-se que o ano de 1983 (EN muito forte) o Pacífico estava bem positivo, que poderia também ter influenciado as chuvas no Brasil nesse ano.

No início da década de 1950 observa um núcleo próximo ao ciclo de 2 anos que as séries se encontram fora de fase, isto é, a chuva e a ODP estão completamente opostas com correlação negativa perfeita. E assim se mostra também no ciclo de 7 anos. Em torno de 1956, o sinal mostra que próximo ao ciclo anual as séries se movem juntas, completamente em fase e correlação positiva perfeita.

No ciclo de 3,5 anos a chuva está defasada (45°) sobre a ODP, correspondendo em $1/8$ do período que equivale a 1,5 mês, que ao se aproximar do ciclo de 7 anos, elas se movem completamente opostas e correlaciona perfeitamente negativa. E nos ciclos de 11 anos e 22 anos as séries estão completamente em fase. Mostra-se semelhante aos ciclos interanual a de 7 anos entre os anos de 1960 e 1972 e 1995 e 2005.

Figura 30 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Bacia do Rio Grande e a Oscilação Decenal do Pacífico e espectro global, para o período de 1950 a 2015.

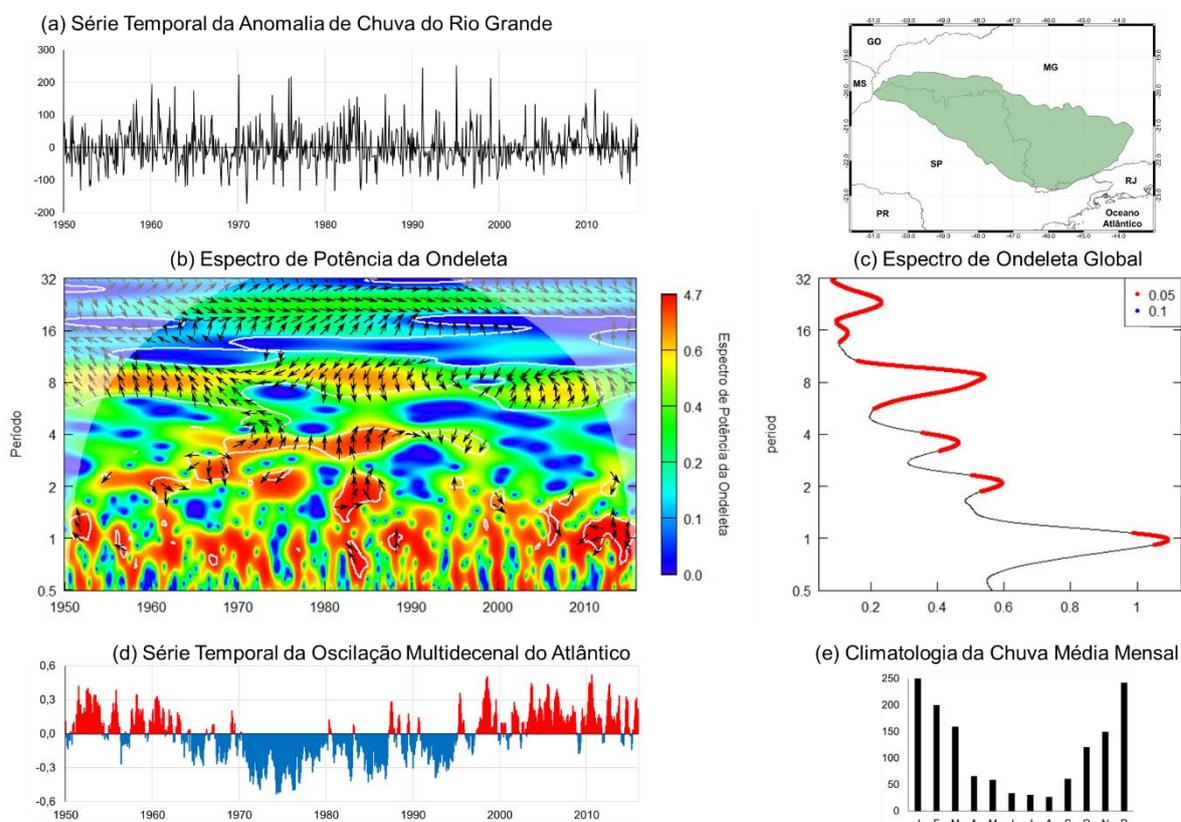


Fonte (do autor)

Excepcionalmente, entre 1970 e 1985 o ciclo entre 2 e 4 anos fica bem evidente, a ODP está defasada 90°, por volta de 3 meses em relação a chuva, e correlação positiva. Ao observar a partir dos anos 2000, o sinal se inverte entre os ciclos de 4 e 32 anos, fica praticamente oposto ao que observamos entre 1950 e fim da década de 1990. E entre 2014 e 2015, quando houve a seca no Sudeste, observa que o sinal no ciclo anual a chuva liderava, e entre o ciclo de 2 e 8 anos a ODP liderava sobre a chuva, movendo opostas nos ciclos de 11 e 16 anos.

Na Figura 31c, também observou-se uma periodicidade evidente mais significativa no ciclo anual, mas existem outros ciclos significativos (2, 4, 11, 16 e 32 anos). Da mesma forma, o ano de 1983 se destaca com os ciclos entre as escalas intrasazonal a 4 anos e 8 e 11 anos e acima de 16 anos, que são ciclos que correspondem a OMA e que se encontra em fase.

Figura 31 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Bacia do Rio Grande e a Oscilação Multidecenal do Atlântico e espectro global, para o período de 1950 a 2015.



Fonte (do autor)

Por volta da década de 60 a 90, se destaca com núcleos bem significativos e observou-se que nesse período o Atlântico Norte encontrava-se no modo negativo (1965 a 1995) e há a interação de periodicidades desde a escala menor a até maiores. Nos modos positivos (1927 a 1964 e a partir de 1996), essa interação entre períodos ficam mais restritas entre as escalas intrasazonal a interanual e acima de 8 anos.

Notou-se que houve anos com ciclos de interação de oscilações de alta frequência (intrasazonais a 4 anos), principalmente entre 2 e 4 anos entre os anos de 1960 e 2000. Observou-se também que o ano de 1983 foi atípico, com periodicidades de interanual a 4 anos bem significativos, onde a OMA no ciclo interanual lidera sobre a chuva, correlação negativa, corresponde a $3/8$ do período que é em torno de 4,5 meses. E entre 7 e 11 anos há uma correlação perfeitamente positiva e se aproximando no ciclo de 11 anos a OMA está avançada 135° (4,5 meses) em relação a chuva.

Entre 2010 e 2015, a periodicidade anual foi significativo em relação aos

demais ciclos, que 2010 a 2011, as séries estavam fora de fase, a OMA avançada 135° (4,5 meses) sobre a chuva, correlação negativa. A partir de 2013 observou-se que a OMA fica defasada 90° da chuva (3 meses) e correlaciona positivamente.

Ao analisar a Figura 32 da componente atmosférica do Atlântico Norte (OAN), constatou que a sua interação é mais intrasazonal e intranual, mas em algumas décadas evidencia ciclos de 2, 4, 7 e de 11 a 16 anos.

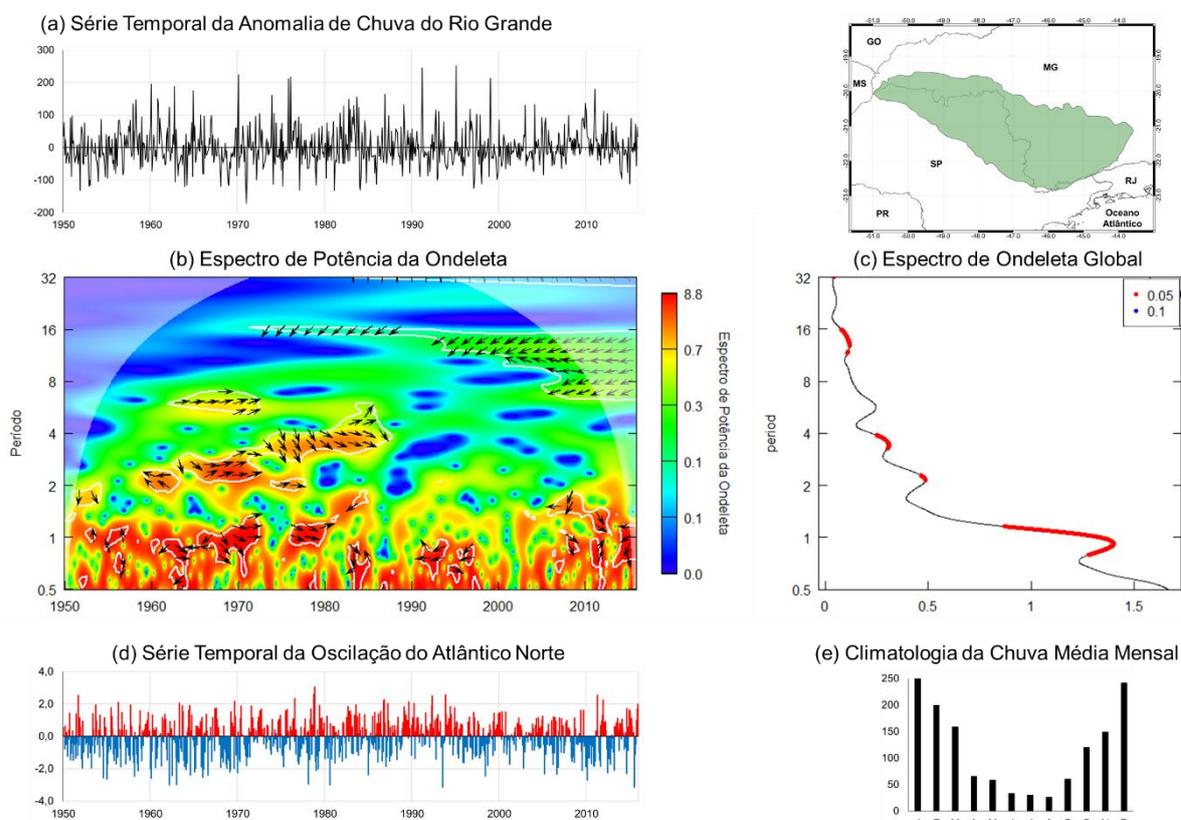
Também entre as décadas de 60 e 90 apontou uma relação entre escalas intrasazonais a 4 anos. Próximo ao ciclo de 2 anos, há uma correlação negativa perfeita, que oscila para a OAN liderando sobre a chuva e tem uma resposta de 4,5 meses em relação a precipitação.

Na década de 60 a década de 80 começou a mostrar ciclos acima de 2 anos, de 7 anos e acima de 20 anos que fica mais energético, principalmente entre 2 e 4 anos. Que por volta de 1963 a 1971, apresentaram anomalias negativas da chuva (Figura 32a) e da OAN (Figura 32d). mostra que as séries se movem juntas, apresentando correlação positiva perfeita, assim como no ciclo de 7 anos.

A partir de 1972 a 1984, a OAN lidera sobre a chuva, apresenta correlação negativa e uma resposta da chuva cerca de 1,5 mês. Observou-se também que o ciclo de 16 anos começa a se mostrar presente a partir dessa data e que no início da década de 1990 aumenta a alta frequência, a mostrar uma correlação perfeitamente negativa, especialmente no ciclo de 11 anos.

A Figura 33, observamos os dados cruzados de anomalia de chuva da BRG e do DA na Ondeleta Cruzada, nessa análise há periodicidades desde intrasazonal a até 32 anos, aproximadamente, com núcleos mais energéticos de 1, 2 e 7 anos entre os anos de 1955 a 1985.

Figura 32 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Bacia do Rio Grande e a Oscilação do Atlântico Norte e espectro global, para o período de 1950 a 2015.



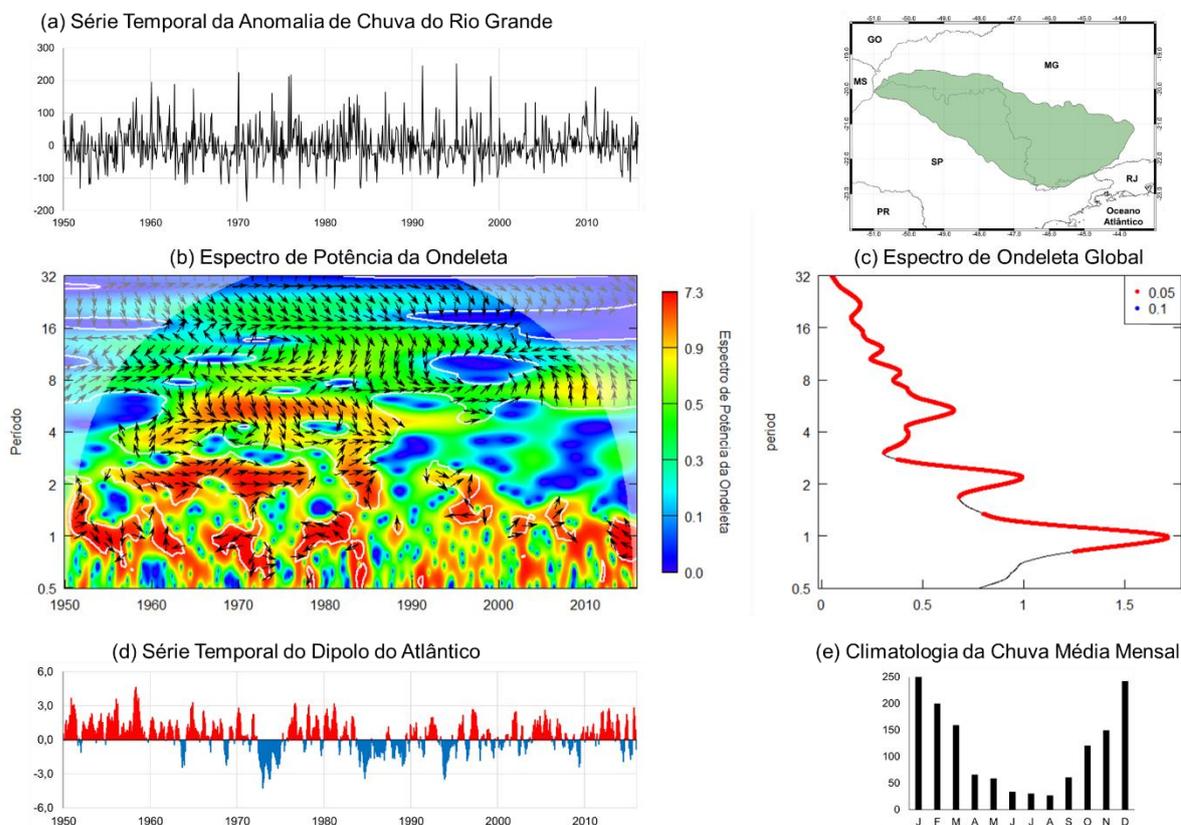
Fonte (do autor)

E as periodicidades que são mais significativas, anual e bianual, entre esses anos as setas estão em fase e observou-se que entre os anos de 1950 e 1972, o DA estava mais positivo entre 1950 e 1972 e isso pode ter possibilitado a entrada de SF na região da Bacia do Grande.

A partir da década de 80, há uma maior oscilação entre o DA positivo e negativo, que observado no EPO não há tanta energia entre os períodos intrasazonais e de 7 anos, principalmente entre 1983 e 1990, quando DA estava negativo que nota uma periodicidade com sistemas acima de 7 anos e quando estava positivo a partir de 1990 há interação com os ciclos intrasazonais e bianuais.

Observando a figura Figura 32b, vê-se que nos ciclos de 2 e 4 anos, tem um comportamento semelhante ao da OAN, mas apresentando núcleos mais energéticos em relação a Figura 31. Salienta-se que a resposta para as chuvas na BRG é mais interativa com o DA do que com a OAN. Há mais interação entre escalas, principalmente nas de alta frequência.

Figura 33 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Bacia do Rio Grande e o Dipolo do Atlântico e espectro global, para o período de 1950 a 2015.



Fonte (do autor)

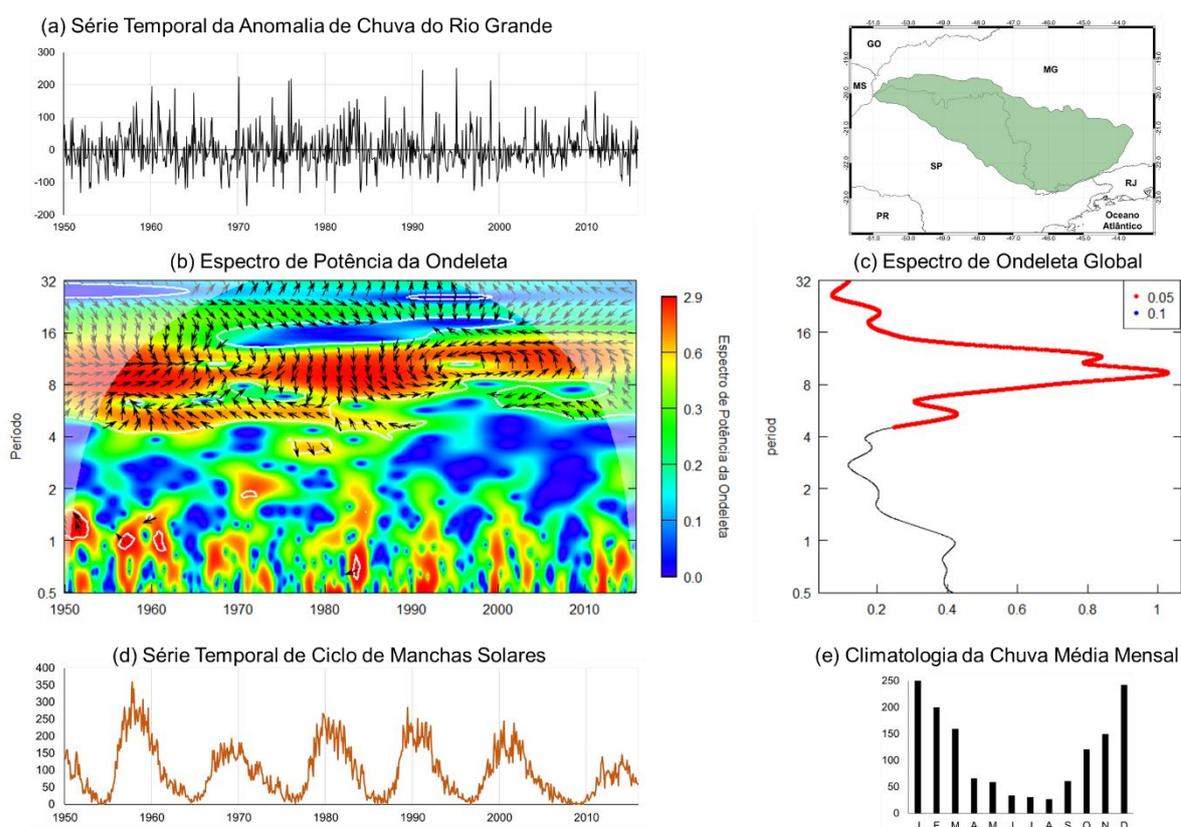
A relação entre a anomalia de chuva na Bacia do Rio Grande e o CMS, Figura 34, notou-se claramente em todo histórico estudado, a influência do CMS em sua periodicidade de 11 anos. Na década de 50 a metade da década de 60, o sinal encontrava-se em fase e ao observarmos a Figura 34d evidencia que o CMS estava bem ativo, comparado os picos máximos de ao longo da série.

E entre a década de 70 e 80 há um atraso por volta de 3 meses entre os dados. Quando começa a década de 90, esse sinal se torna anti-fase que é quando os picos máximos de CMS começam a ser menos ativos, o que corrobora com o fim da década de 60 e o início da década 70. Que dependendo da sua atividade podem estar em coerência ou não.

Em seu ciclo de 11 anos (Figura 34b) há uma mudança entre décadas, por exemplo, entre 1950 e final da década de 1960, houve uma resposta entre as séries que elas se movem juntas, correlacionando perfeitamente positiva, e estão

completamente em fase. Entre 1970 e 1990, o sinal inverte, o CMS está avançado 90° (3 meses) em relação a chuva, correspondendo cerca de 3 meses à frente e correlacionando negativamente. E entre 1990 e 2015, o sinal inverte novamente, correlacionando perfeitamente negativa.

Figura 34 – Espectro de Potência de Ondeleita Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Bacia do Rio Grande e o Ciclo de Manca Solar e espectro global, para o período de 1950 a 2015.



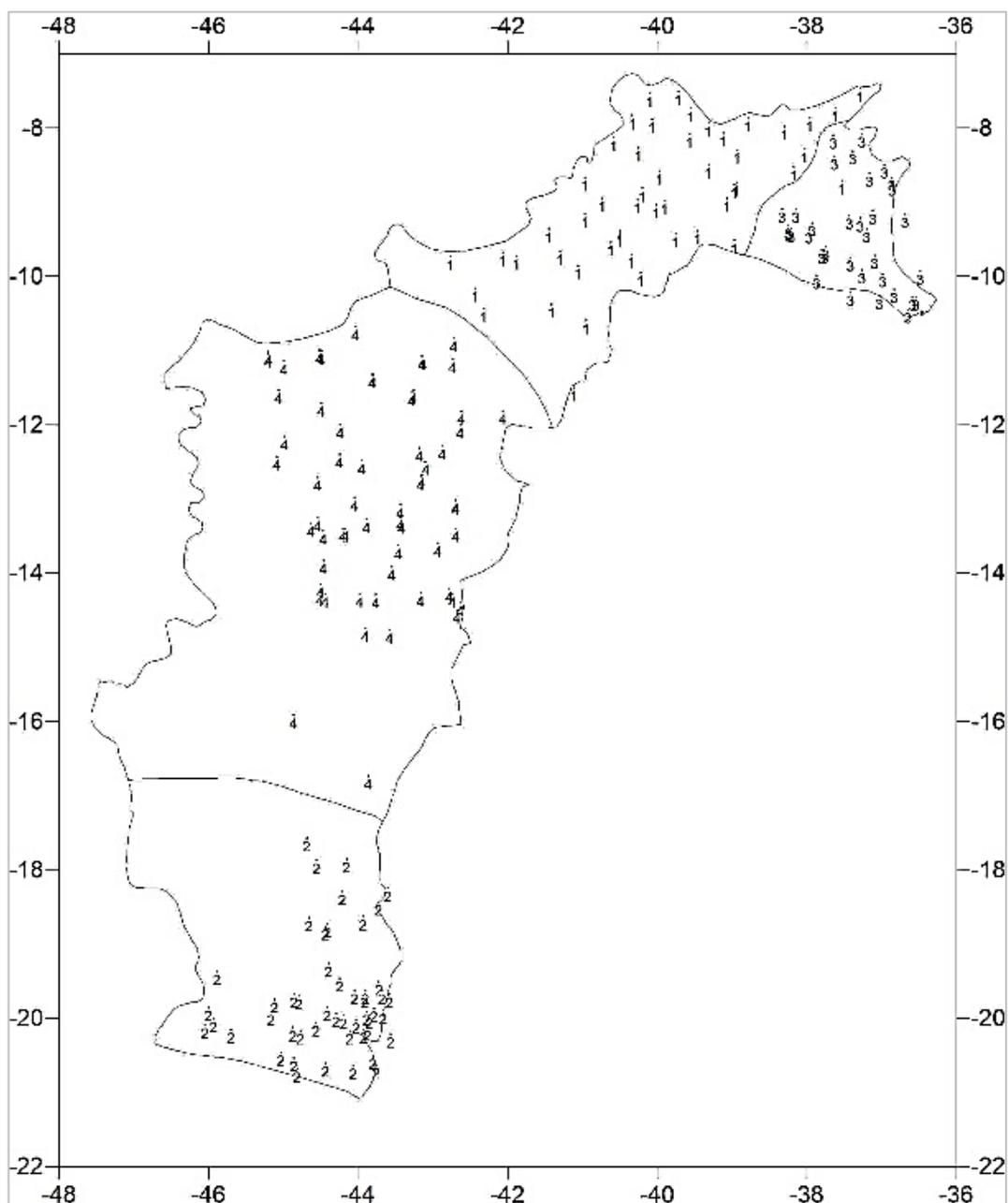
Fonte (do autor)

5.3. Análise do Comportamento da Chuva na Bacia do Rio São Francisco

A Figura 35 mostra os 199 pontos utilizados dos postos pluviométricos na Bacia do Rio São Francisco, e através destes foram realizadas as análises estatísticas para avaliação diagnóstica da área de estudo. A Figura 36 mostra comportamento da chuva média mensal e o desvio padrão dos 199 postos analisados da Bacia do Rio Francisco para o período de 1950 a 2015. Essa bacia é um pouco mais seca e apresenta mais variabilidade e o desvio padrão tem uma alta amplitude na chuva média mensal das 199 estações em relação a Bacia do Rio Grande.

As chuvas que abastecem essa bacia são bem diversificadas, devido a sua posição geográfica que dividem em duas regiões brasileira – Sudeste e Nordeste, no alto São Francisco, que fica no centro de Minas Gerais, os sistemas atuantes são ZCAS, SF, LI, CCM e fenômeno local. No médio São Francisco, que fica entre o noroeste de Minas Gerais e oeste da Bahia, tem os mesmos fenômenos que atingem essa região e a atuação da ASAS e VCAN.

Figura 35 – Distribuição dos 199 postos pluviométricos da Bacia do Rio São Francisco.



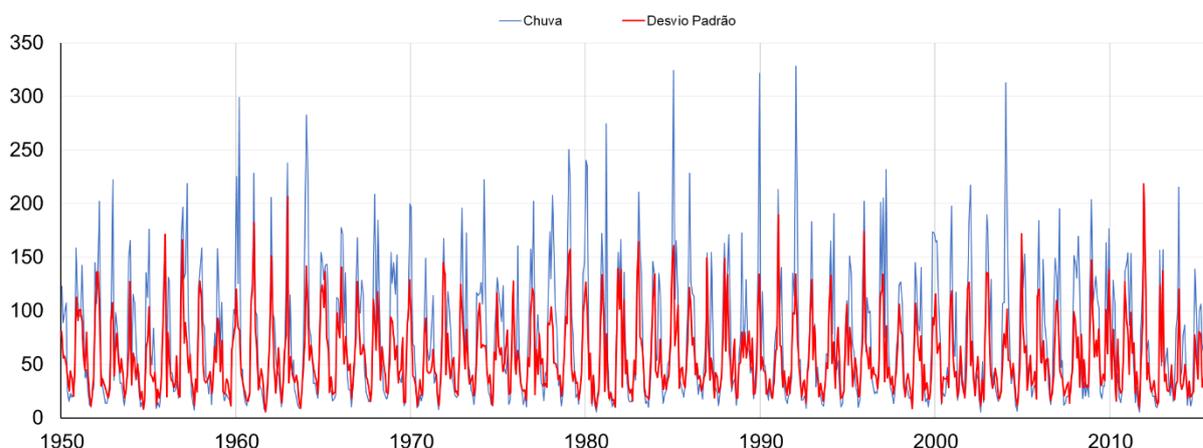
Fonte (do autor)

O submédio São Francisco, localizada entre o norte da Bahia, oeste de Pernambuco e extremo oeste de Alagoas, há a atuação da ASAS, cavado do nordeste do Brasil associado ao VCAN, ZCIT, LI. Por último o baixo São Francisco, localizada entre Pernambuco, Bahia, Alagoas e Sergipe, há além da atuação dos fenômenos do submédio São Francisco, há as Perturbações Ondulatórias de Leste e efeito de brisa marítima e terrestre. Corroborando com os estudos de Reboita *et al.* (2010) e Pereira Filho *et al.* (2018).

Na Figura 37, observou-se a extremidade entre períodos secos chuvosos. Os anos secos mais extremos foram os que ficaram abaixo dos 700mm/ano, por exemplo, 652,9 mm em 1959 (EN fraco), 625,7 mm em 1963 (EN moderado), 593,7 mm em 1990 (neutro), 566,2 mm em 1993 (neutro), 612,6 mm em 2012 (LN fraco), 625,3 mm em 2014 (neutro) e 601,8 mm em 2015 (EN muito forte).

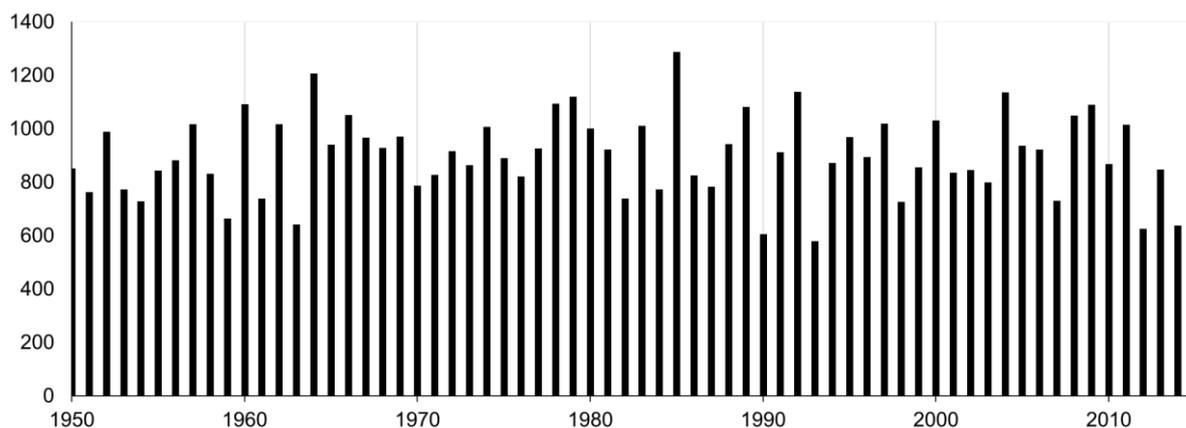
Os mais chuvosos superaram os 1.000 mm/ano, isto é, 1.004,7 mm em 1957 (EN forte), 1.079,3 mm em 1960 (neutro), 1.004,6 mm em 1962 (neutro), 1.195,3 mm em 1964 (LN fraco), 1.039,1 mm em 1966 (EN forte), 1.082,0 mm em 1978 (EN fraco), 1.108,2 mm em 1979 (EN fraco), 1.274,7 mm em 1985 (LN fraco), 1.69,8 mm em 1989 (LN forte), 1.126,1 mm em 1992 (EN moderado), 1.007,7 mm em 1997 (EN muito forte), 1.018,4 mm em 2000 (LN moderado), 1.124,0 mm em 2004 (EN fraco), 1.038,1 mm em 2008 (LN moderado), 1.077,1 mm em 2009 (EN moderado) e 1.002,5 mm em 2011 (LN moderado).

Figura 36 – Série temporal da chuva média mensal (linha azul em mm) e o do desvio padrão (linha vermelha) da média das 199 estações da Bacia do Rio São Francisco para o período de 1950 a 2015.



Fonte (do autor)

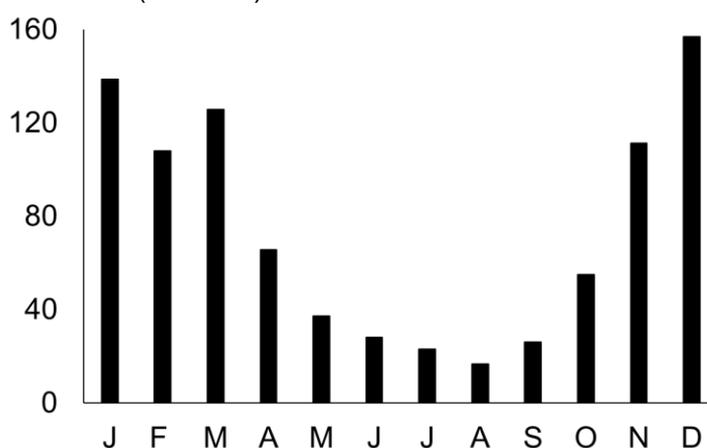
Figura 37 - Série temporal da chuva total anual (mm) da média das 199 estações da Bacia do Rio São Francisco para o período de 1950 a 2015.



Fonte (do autor)

Para a climatologia da chuva média mensal, Figura 38, da Bacia do Rio São Francisco (1981-2010), observou-se um pouco irregular, que pode ser devido a sua posição geográfica e acaba sendo dissolvido o sinal. Mas em média o período seco é entre abril-maio e setembro-outubro e o período chuvoso entre novembro a março.

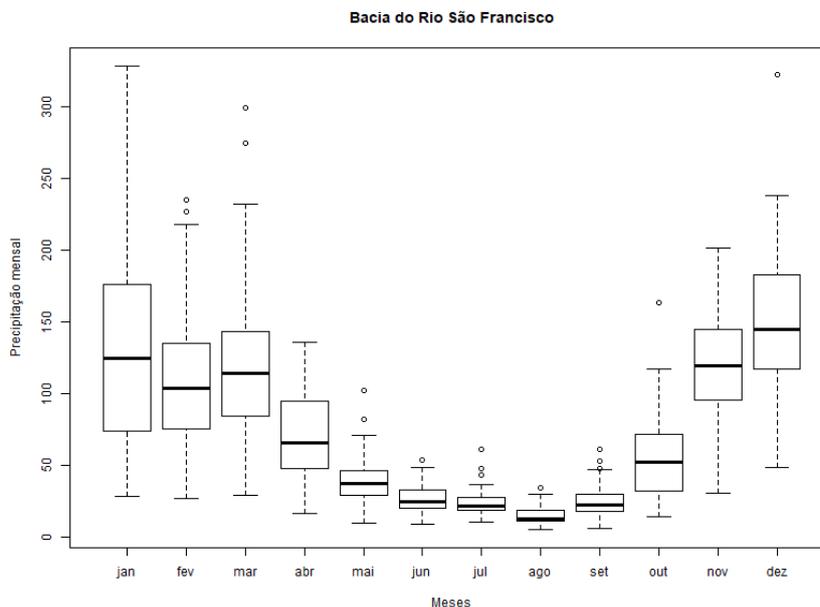
Figura 38 - Média climatológica (mm) de 1981 a 2010 da média das 199 estações da Bacia do Rio São Francisco. Fonte (do autor)



Fonte (do autor)

Ao analisar o diagrama de caixa na Figura 39 para os meses, notou-se a grande variabilidade durante os meses chuvosos, em janeiro um mínimo de 28,3 mm e um máximo de 328,3 mm que tem alta amplitude e o período seco com baixa amplitude, por exemplo o mês mais seco, agosto, mínimo de 5,3 mm e máximo de 33,9 mm.

Figura 39 – Diagrama de caixa (*Boxplot*) da Bacia do Rio São Francisco para o período de 1950 a 2015 da média das 199 estações.

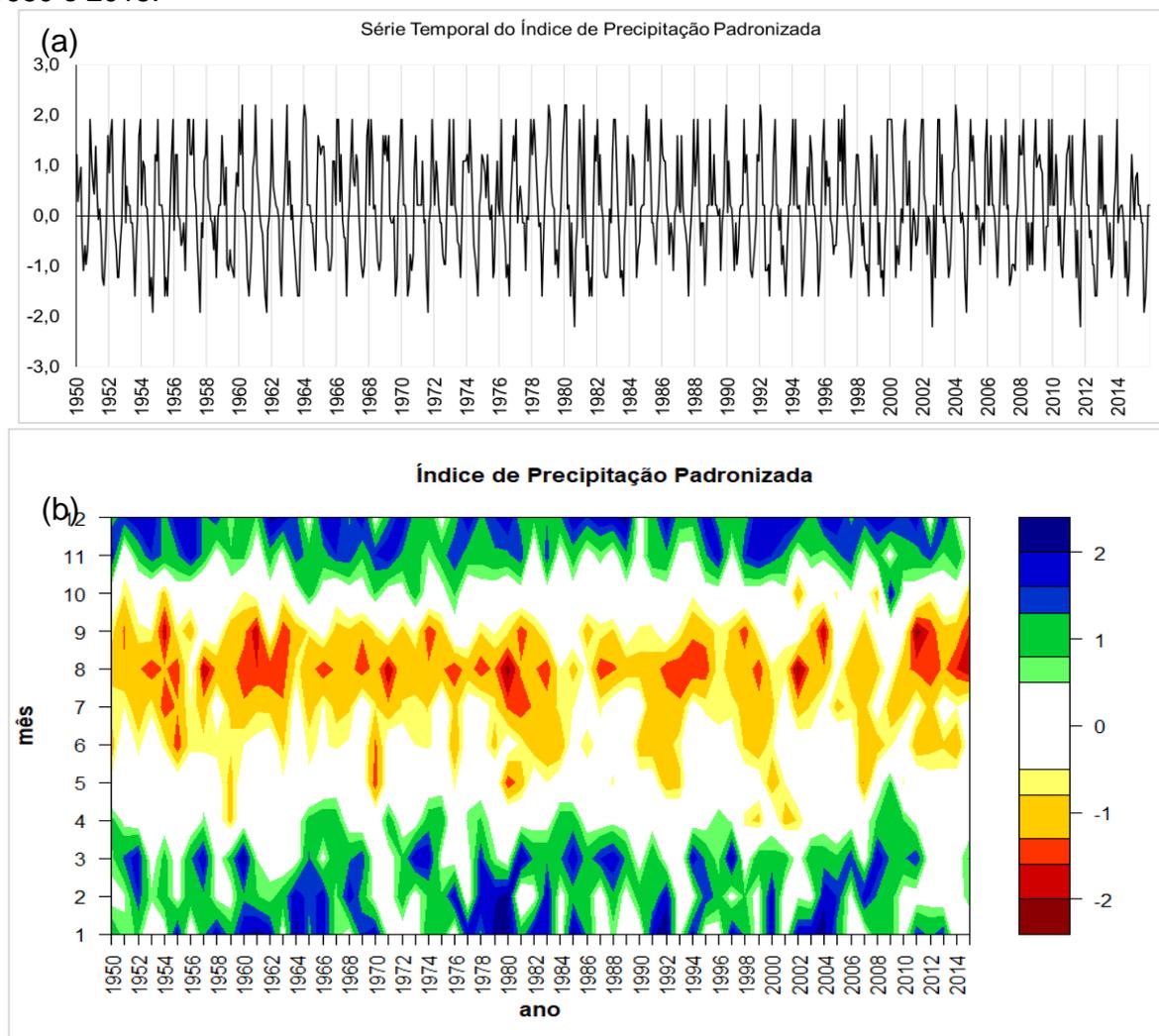


Fonte (do autor)

A Figura 40a mostra a série temporal e a Figura 40b o gráfico pseudo-3D do IPP. Figura 40a mostrou que há uma grande variabilidade entre períodos muito chuvosos e muito secos. Entre 1962 e 1964 foram os anos que houve chuva severa, mas entre esses anos, 1961 houve um período de seca moderada. Assim como entre 1979 e 1982 teve esse mesmo comportamento, entre períodos muito chuvosos, houve um seco.

Na Figura 39b, há o comportamento semelhante a Figura 37 e Figura 38, entre abril e outubro o período seco e entre novembro e março o período chuvoso. Vale salientar que em alguns anos não houve chuvas em quase todos os doze meses; entre 1970 e 1972 houve uma chuva somente novembro e dezembro. E em alguns anos citados na Figura 36 e os mais secos foram os de 1993 e 2015.

Figura 40 – Representação da (a) série temporal e (b) gráfico pseudo-3D do índice de precipitação normalizada da média das 199 estações da Bacia do Rio São Francisco entre 1950 e 2015.



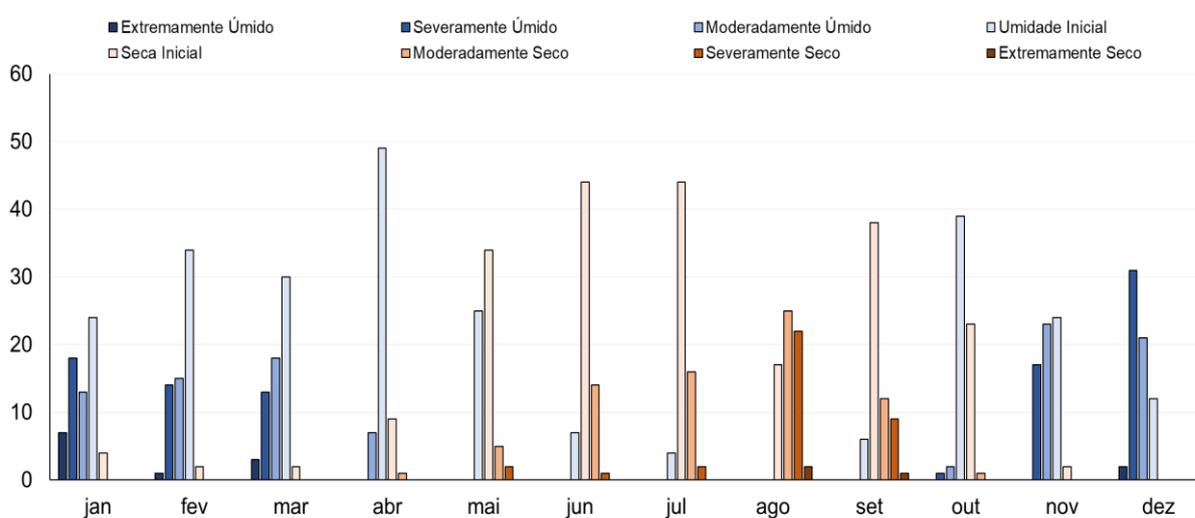
Fonte (do autor)

Ao observar a frequência das ocorrências das classes de seca e umidade do IPP, Figura 41, claramente notou-se a vinculação entre as Figura 37 e Figura 38. E ao analisar, em quase todos os meses chuvosos há uma seca inicial (novembro, janeiro, fevereiro e março), e ocorre ao contrário também nos períodos secos, há uma umidade inicial alta em abril e vai diminuindo ao longo dos próximos meses, até chegar em agosto – que é o período que apresenta mais frequências de secas, desde a seca inicial a até extremamente seco.

O comportamento espacial da climatologia (1981-2010) da chuva média mensal das 199 estações da Bacia do Rio São Francisco na Figura 42a, notou-se que é bem heterogênea ao longo da bacia, superando 1.500 mm no alto São Francisco e chuvas inferiores a 500 mm no submédio São Francisco.

A partir disso, foram feitas regiões homogêneas (Figura 42b) a partir do método aglomerativo hierárquico de Ward (1963) que resultou em oito fatores comuns que explicaram 91,19% da variância total dos dados, mas apenas os 4 primeiros fatores foram os mais expressivos que explicaram 87,41% da variância total da chuva média mensal dos 199 postos pluviométricos, que possibilitou classificar a Bacia do Rio São Francisco em cinco regiões homogêneas de chuva, tabela 5.

Figura 41 – Frequência em número de meses das classes do índice de precipitação padronizada da média das 199 estações da Bacia do Rio São Francisco entre 1950 e 2015.



Fonte (do autor)

Tabela 4 – Autovalores e total da variância explicada para a chuva média mensal no Bacia do Rio São Francisco.

Componente Principal	Fatores não rotacionados			Fatores rotacionados		
	Autovalor	Variância Explicada (%)	Variância Acumulada (%)	Autovalor	Variância Explicada (%)	Variância Acumulada (%)
1	115,275	57,927	57,927	55,515	27,897	27,897
2	41,428	20,818	78,745	52,524	26,394	54,291
3	9,231	4,639	83,384	41,670	20,940	75,231
4	8,878	4,461	87,845	24,247	12,185	87,415
5	2,534	1,273	89,118	2,426	1,219	88,635
6	1,706	0,857	89,976	2,069	1,040	89,674
7	1,318	0,662	90,638	1,688	0,848	90,522
8	1,099	0,552	91,190	1,328	0,667	91,190
...
199	...	...	100	...	...	100

Fonte (do autor)

A Figura 42b apresenta as quatro RH para a Bacia do Rio São Francisco. A RH1 corresponde o baixo São Francisco da bacia composta por 36 estações, a chuva é acima dos 600 mm/ano, essa região tem influência de fenômenos locais, brisas marítima e terrestre e de rio e das POA. A RH2 é a mais seca dentre as quatro RH, se encontra no submédio São Francisco, possui 51 estações e a chuva varia entre 500 e 600 mm/ano e os sistemas meteorológicos atuantes nessa região são Perturbações Ondulatórias dos Alísios, VCAN, SF, ZCAS.

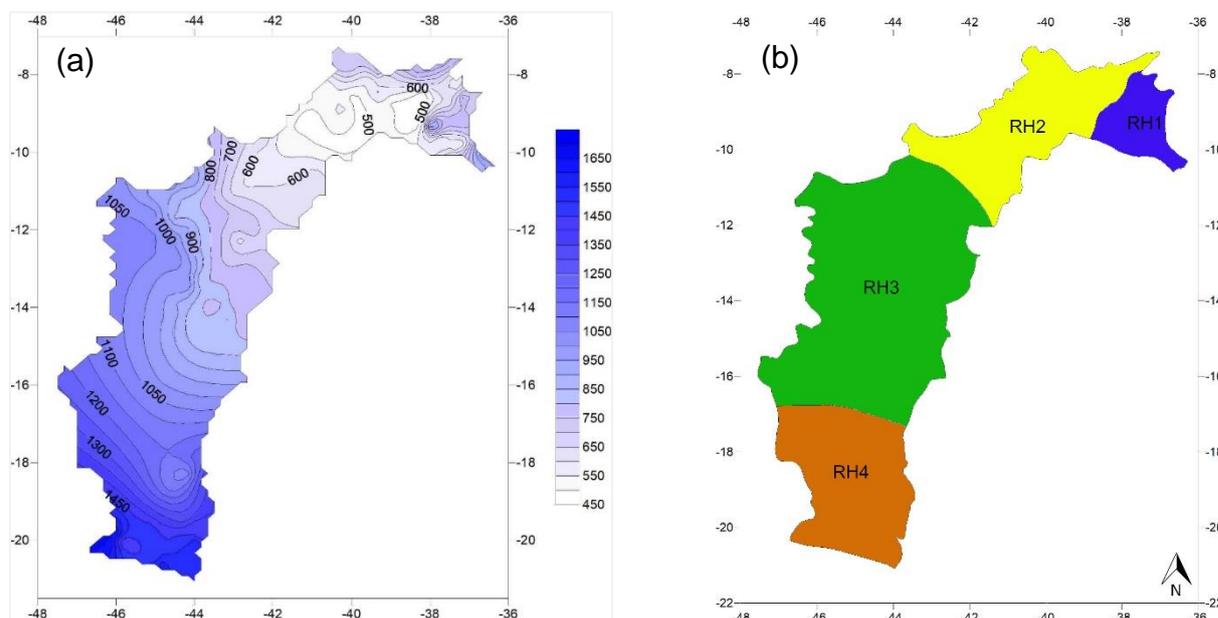
A RH3 é composta por 63 estações, é localizada no médio São Francisco, a chuva é em torno de 500 a 1000mm/ano, essa região é a mais heterogêneas dentre as quatro em relação a chuva. A RH4 com 49 estações fica no alto São Francisco, é a região mais úmida dentre as quatro que podem superar 1400mm/ano. Os sistemas que atuam nas RH 3 e 4 são VCAN, SF, ZCAS, CCM, JBN, ASAS.

Os padrões espaciais associados aos quatro primeiros fatores da tabela 5, notou-se que esses padrões espaciais das Figura 43a,b,c,d definem a distribuição de chuva na Bacia do Rio São Francisco. O padrão espacial da primeira CP explicou 27,89% da variância da chuva média mensal.

Observou-se que as maiores contribuições para esse primeiro fator foram superiores a 0,8 se encontra na região central da bacia, que correspondem as maiores chuvas nessa região. Este padrão evidencia chuvas oriundas de brisa vale-montanha, a atuação de ZCAS e SF. O período seco é entre maio a setembro e o chuvoso entre novembro e abril, que corresponde aos sistemas atuantes nessa região.

Figura 42 – (a) Distribuição espacial dos totais médios anuais da chuva e (b) Regiões Homogêneas da chuva obtidas da aplicação do método de agrupamento de Ward aos

principais fatores comuns espaciais da média das 199 estações da Bacia do Rio São Francisco.



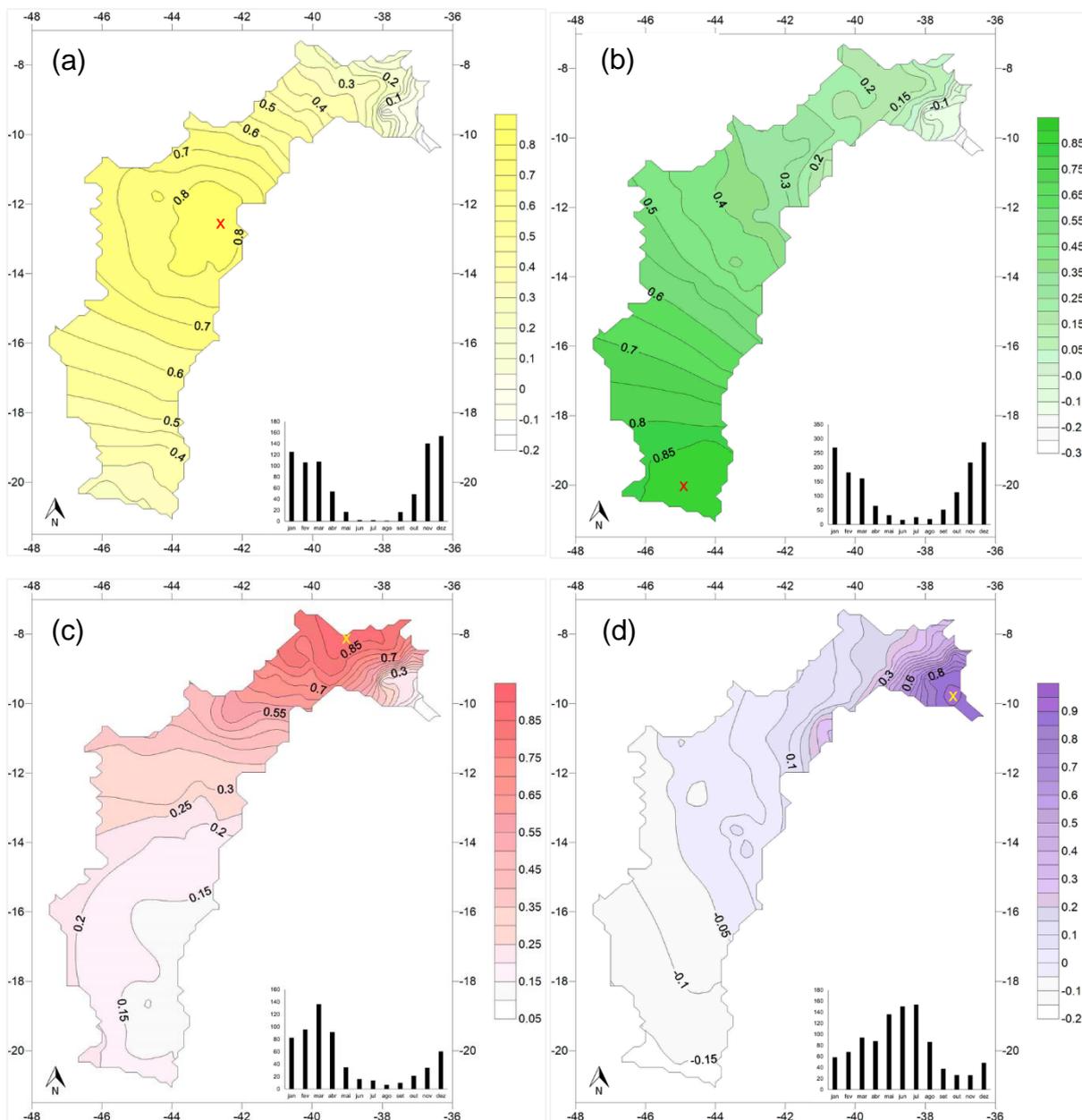
Fonte (do autor)

A segunda CP explicou 26,39% da variância da chuva média mensal e notou que as maiores contribuições se encontram no sul da bacia, chegando a contribuições superiores a 0,8, que podem estar relacionadas a ZCAS, efeito local e SF. Seu período chuvoso e seco é semelhante ao da primeira CP.

Para a terceira CP explicou 20,94% da variância da chuva média mensal, e para esta região as maiores contribuições superiores a 0,8 ficou no norte da bacia, onde há a atuação de ZCIT, LI, VCAN, seu período chuvoso vai de janeiro a abril e o período seco entre maio e dezembro.

A quarta CP explicou 12,18% da variância da chuva média mensal, com contribuições superiores a 0,8 no baixo São Francisco, seu período chuvoso é entre abril e agosto e o período seco entre setembro e março. Vale salientar que as duas primeiras CP o período de chuvas corresponde as chuvas da região Sudeste e enquanto as duas últimas CP correspondem as chuvas da região Nordeste.

Figura 43 – Padrão espacial do (a) primeiro, (b) segundo e (c) terceiro fator temporal e gráfico da chuva de cada fator (x) da Bacia do Rio São Francisco.



Fonte (do autor)

5.4. Análise Espectral da Bacia do Rio São Francisco

Analisou as relações espectrais entre a anomalia da chuva e os Índices Climáticos para a média da Bacia do Rio São Francisco e por RH, devido a sua distribuição geográfica apresentar diferentes sistemas e ser localizada em duas Regiões do Brasil.

A Figura 44e mostrou-nos o comportamento da chuva durante o ano na Bacia

do Rio São Francisco (BRSF), observou-se que seu período seco é entre maio a outubro e o período chuvoso se inicia em novembro-dezembro e vai até março-abril. Na série temporal de anomalia de chuva (Figura 44a) observou que os anos de 1952, 1961, 1962, 1979, 1983, 1985, 1991, 1992, 2004, 2009 e 2011 apresentaram anomalias positivas durante o período chuvoso, 376 mm, 527 mm, 541 mm, 423 mm, 452 mm, 266 mm, 515 mm, 467 mm, 361 mm, 304 mm e 552 mm, respectivamente.

E os anos que apresentaram anomalias negativas foram durante o período chuvoso nos de 1953, 1954, 1956, 1963 (janeiro), 1963 (dezembro), 1970, 1976, 1977, 2012, 2014 e 2015 que apresentaram os respectivos registros de chuva de 94 mm, 69 mm, 42 mm, 75 mm, 101 mm, 110 mm, 75 mm, 20 mm, 133 mm, 76 mm e 95 mm.

A Figura 44b,c mostra a relação entre a anomalia de chuva BRSF e do ION na Ondeleita Cruzada, observou que os núcleos mais energéticos se encontram nas periodicidades de 1,5, 2 e 4 anos e também núcleo não muito energético, mas que também se destaca no ciclo de 11 anos.

Entre 1950 e 1960 observa 4 núcleos do mais energético (1,5 e 3 a 7 anos), energético (8 a 11 anos) e menos energético (acima de 16 anos). O núcleo de 1,5 ano no fim da década de 1950 apresenta dois sinais, um onde o ION lidera sobre a chuva e estão em fase opostas (ION negativo – figura 43d) e outro sinal de que as séries se movem completamente opostas e correlação negativa perfeita (ION positivo – Figura 44d).

Ao analisar o núcleo que se encontra entre 3 e 7 anos, o sinal mais evidente é a chuva está à frente do ION, ou seja, a chuva acontece 3 meses antes do ION. Mas quando se inicia a década de 1960, nessa escala, o sinal do ION lidera sobre a chuva, correlacionando negativamente e tendo uma resposta entre elas de 4,5 meses e isso acontece próximo ao final da década de 60.

Observou-se que entre as décadas de 1960 e 1970 o núcleo entre 1,5 e 3 anos, que os sinais se encontram fora de fase, próximo a 2 anos a chuva lidera sobre ION, ao se aproximar da escala de 3 anos se movem juntas e na escala de 3 anos o ION lidera sobre a chuva.

Na escala de 7 anos se movem juntas e correlaciona perfeitamente positiva, e ao se aproximar da década de 1970, o ION avança 45° da chuva, que responde em torno de 1,5 mês. Neste período o ION apresentou mais anomalias positivas do que negativas.

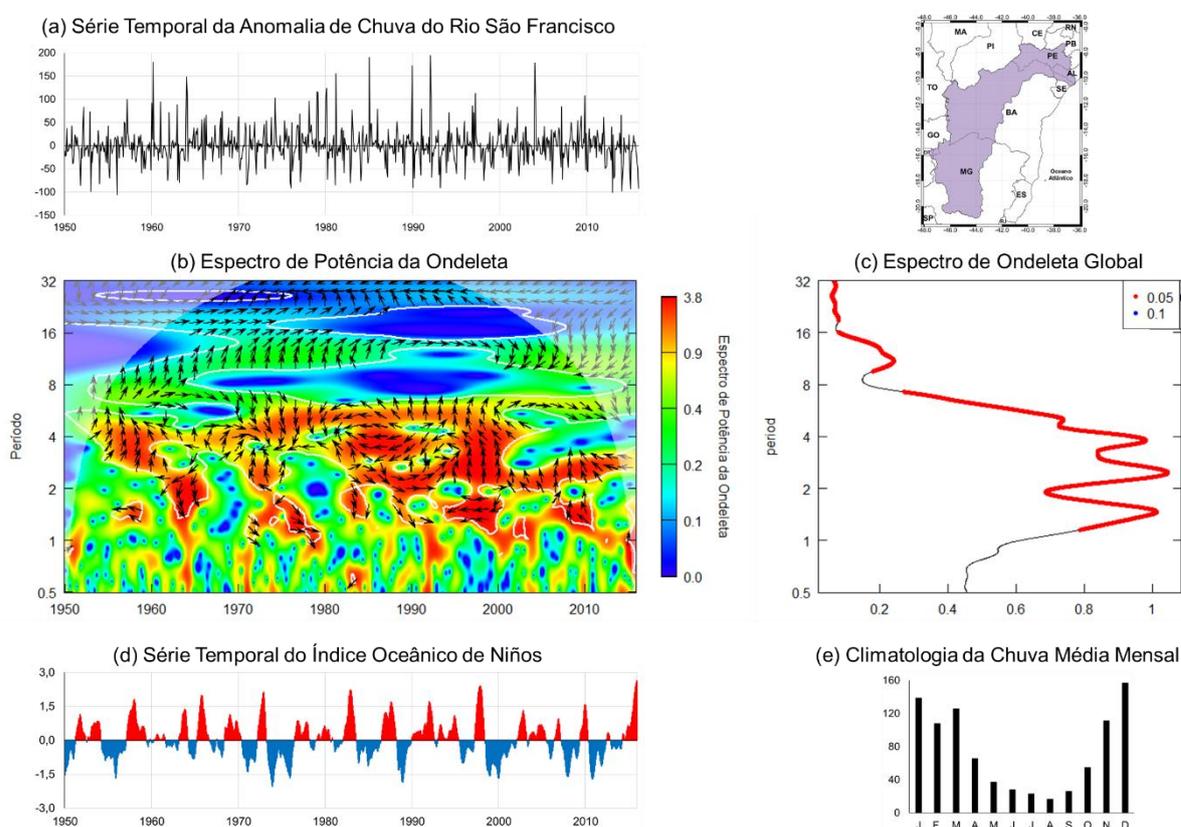
Entre 1970 e 1980 as escalas de 1 e 2 anos o ION lidera quando o ION estava

positivo, mas notou-se um sinal que a chuva lidera e o ION estava negativo. Entre 2 e 4 anos praticamente a chuva lidera sobre o ION quando este apresentou anomalia negativa e ao iniciar a escala de 4 anos, o ION lidera sobre a chuva, que tem resposta de 3 meses.

Na década de 1980 e fim da década de 1990, o sinal é mais energético entre 1 e 7 anos. Os anos de 1982 e 1983, quando ION apresentou anomalia positiva, observou que o sinal responde também na periodicidade de 6 meses, a chuva lidera sobre o ION. E entre 1 e 2 anos o ION está à frente da chuva, para uma resposta de 3 meses sobre a precipitação e esse intervalo de resposta diminui para cerca de 1,5 mês até o início da década de 90.

Que se movem juntas no ciclo de 2 anos e movem completamente opostas entre 3 e 7 anos até mais ou menos o ano de 1995. Entre 1995 e 2001, o ION negativo, entre as escalas de 1 e 2 anos se movem completamente opostas e a partir da escala de 2 anos o ION fica defasado 90° da chuva. E após 2004, praticamente, a chuva lidera sobre o ION e após 2010 o ION volta a liderar.

Figura 44 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Bacia do Rio São Francisco e o Índice Oceânico de Niños e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.

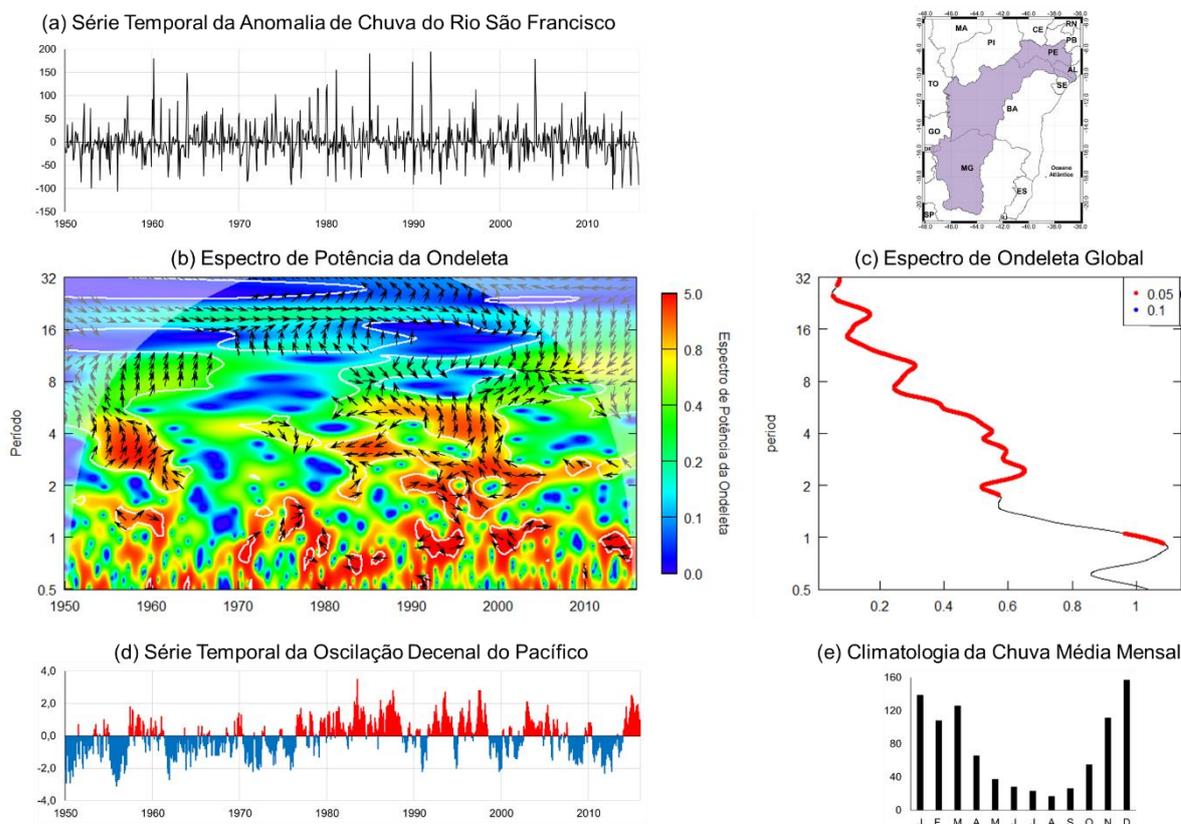


Fonte (do autor)

Na Figura 45c, a periodicidade mais evidente é a anual, mas a partir do ciclo de 2 anos a até 32 anos, tem-se 5% de significância estatística (95% de confiança). Entre 1950 e 1960, há dois núcleos de alta variabilidade entre 1 e 2 anos e de 2 a 11 anos. O primeiro núcleo que se encontra entre 1 e 2 anos, mostra que quando a ODP apresentou anomalia negativa e a ODP liderava sobre a chuva e quando a ODP apresentou anomalia positiva, as séries se encontravam em fase, com a chuva a liderar e logo depois a ODP liderava sobre a chuva.

Já nos ciclos de 2 a 4 anos, a ODP e a chuva estão em fase e ao aumentar o ciclo e se aproximar do de 4 anos a chuva lidera e ao se aproximar no de 7 anos, a ODP lidera sobre a chuva. Mas ao observar que entre 1980 e 2005, as series se movem completamente opostas, tendo uma correlação negativa perfeita. E entre 4 e 8 anos, tem um comportamento semelhante com as décadas de 1950 a 1960.

Figura 45 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Bacia do Rio São Francisco e a Oscilação Decenal do Pacífico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.



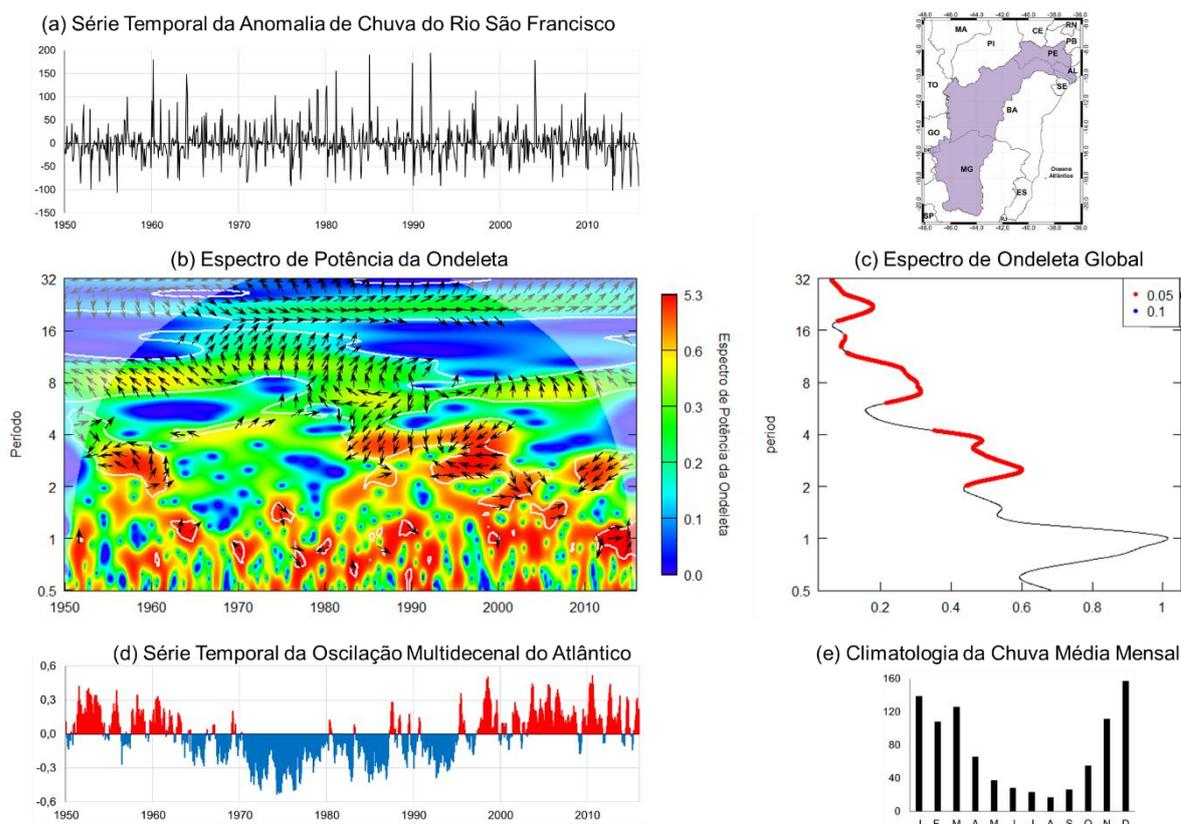
Fonte (do autor)

A Figura 46b,c, a variabilidade mais significativa é a do ciclo anual, contudo os

ciclos de 2, 4, 7 a 11 e 22 anos há significância estática de 95% de confiança. Na fase positiva da OMA, os sinais se movem completamente opostos até a metade a primeira década de 1950 e após isso, as séries entram em fase. No ciclo de 7 a 11 anos, elas estão fora de fase e praticamente segue até o fim da década de 1960.

A variabilidade energética do ciclo de alta frequência entre 1980 e 2000, as séries estão fora de fase, a chuva a liderar até 1993 e esse sinal se inverte, dando lugar a uma resposta completamente opostas entre elas. No início de 2000, elas se movem juntas, mas ao longo do tempo a OMA lidera sobre a chuva. Entre 2010 e 2015, o ciclo anual se encontram em fase, mas alternando os sinais, a OMA lidera, logo após se movem juntas e já em meados de 2014 e 2015 a chuva lidera. E entre 2 e 4 anos, a chuva é a que lidera entre as séries.

Figura 46 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Bacia do Rio São Francisco e a Oscilação Multidecenal do Atlântico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.



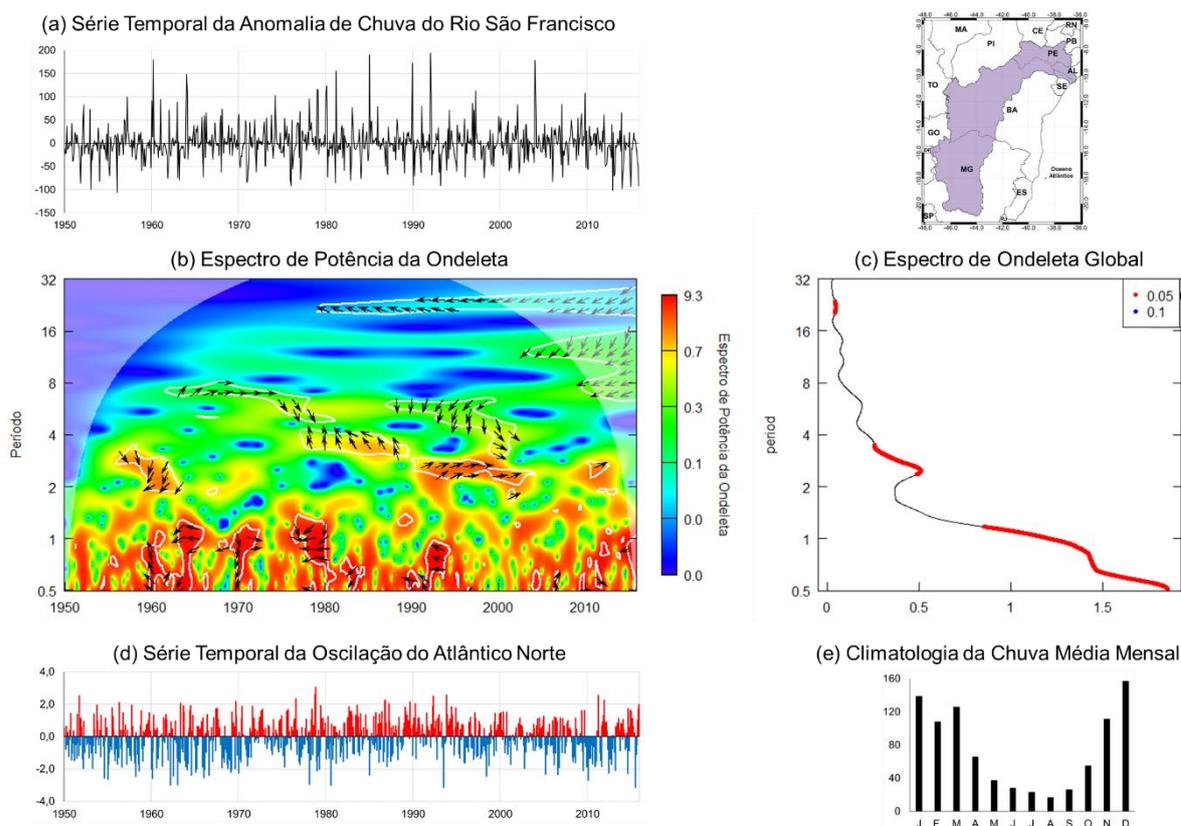
Fonte (do autor)

A Figura 47b,c, notou-se poucos sinais, mas que há alta variabilidade, principalmente entre os ciclos de intrasazonal a anual, de 2 a 4 anos e de 22 anos.

Nos ciclos de 6 meses e 1 ano, observou que as séries estavam fora de fase, a OAN a liderar entre elas e em 1970 também a OAN lidera, estando a frente em torno de 3 meses da chuva. Observando outros núcleos energéticos nesse ciclo, notou que as séries se movem completamente opostas, com exceção do início da década de 1970 que elas se movem juntas.

Outro núcleo de alta variabilidade se encontra no ciclo entre 2 e 4 anos, que se movem juntas entre 1990 e 2000. Há uma resposta no ciclo de 7 anos, em que elas se movem juntas entre 1960 e primeira metade de década de 1970, logo após a OAN lidera entre 1975 e 1980. Entre 1980 e 1990 a OAN lidera entre as duas séries. No ciclo de 22 anos, onde inicia em 1980, essas séries se movem completamente opostas.

Figura 47 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Bacia do Rio São Francisco e a Oscilação do Atlântico Norte e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.

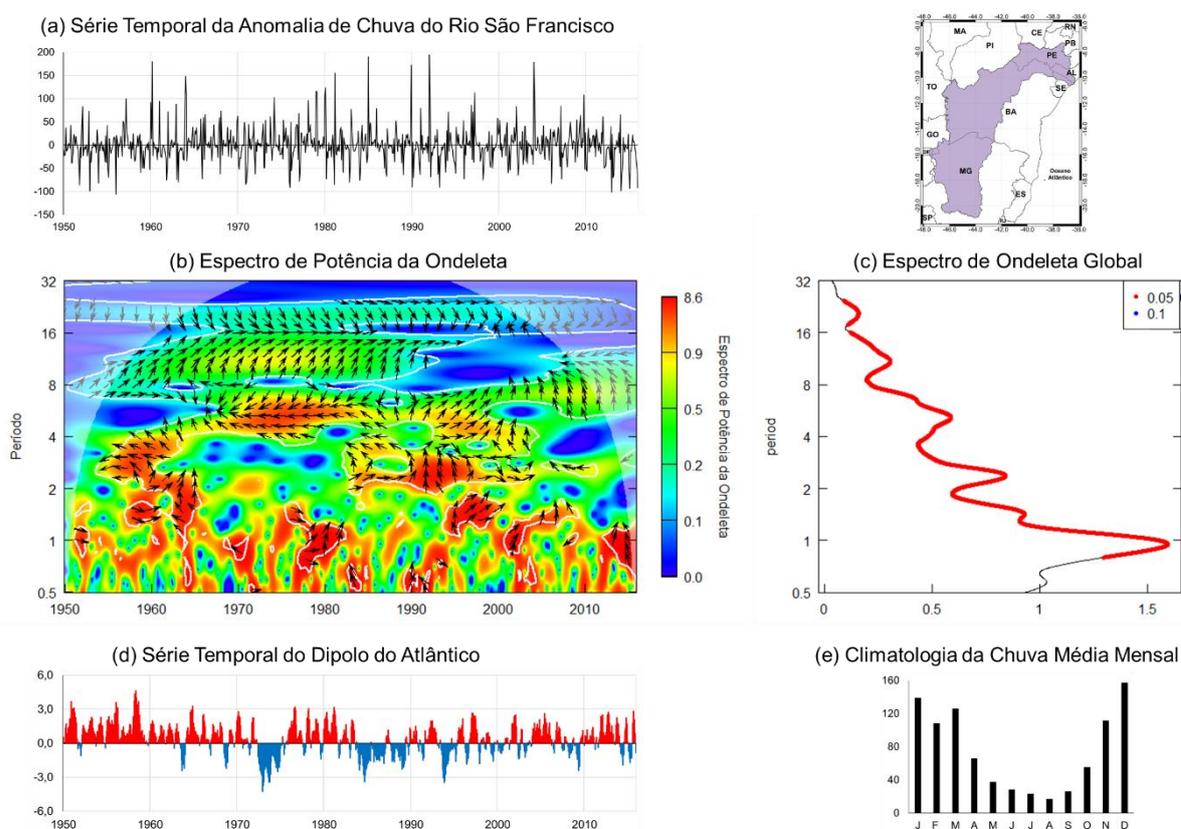


Fonte (do autor)

A Figura 48b,c, mostrou a relação entre a anomalia de chuva e DA, observou-se bandas vermelhas ao longo da série temporal. Núcleos intrasazonais, anual,

bianual, acima de 4 anos. Notou-se que a periodicidade mais significativa é a anual, mas há ciclos bem significativos, como a de 2 anos e 7, que podem estar relacionadas com o fenômeno ENOS e 11 anos que pode ter relação com o CMS, o nível de significância estatística de 95% de confiança vai desde o ciclo intrasazonal a até por volta de 30 anos.

Figura 48 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Bacia do Rio São Francisco e o Dipolo do Atlântico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.



Fonte (do autor)

Os núcleos expressivos entre os ciclos intrasazonal e quadrienal no início da década de 1950, no ciclo anual observa a seta apontando para o 4º quadrante que indica que o DA lidera (y) sobre a anomalia de chuva (x), tem correlação negativa e estão em fase a até uma periodicidade de 3 anos.

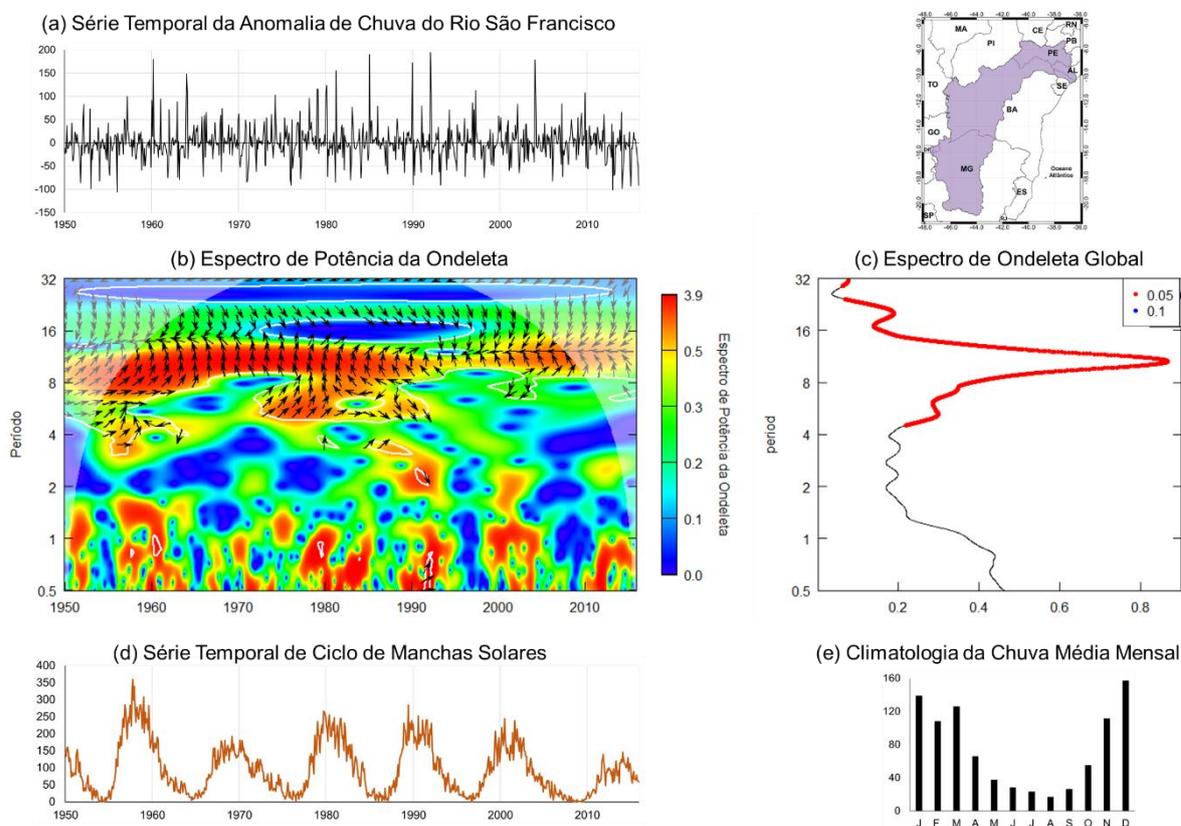
Entre 1955 e 1965 mostra um núcleo entre o ciclo anual e de 4 anos, no fim da década de 1950 a 1962, as séries se movem juntas no ciclo entre 1 e 2 anos, o sinal muda em torno de 1965, o DA a liderar e ao se aproximar do ciclo de 2 anos, a anomalia de chuva está à frente do DA. E no ciclo entre 2 e 4 anos, as séries se

movem completamente opostas.

Outro núcleo significativo no ciclo em torno de 7 anos (1970 a 1983), as séries estão correlacionadas perfeitamente negativa. E para o ciclo anual ora tendem a moverem juntas ora a anomalia de chuva lidera. Os núcleos entre 1990 a 2015 entre o ciclo intrasazonal e 2 anos, mostra a chuva liderando em sua maioria, exceto entre 2014 e 2015, que o sinal da série do DA lidera sobre a anomalia de chuva. E no ciclo de 2 a 4 anos, a anomalia de chuva lidera praticamente nesse período de 1990 a 2000.

A Figura 49b,c, o sinal bem expressivo é no ciclo de 11 anos, notou-se que há variabilidade no ciclo anual, de 2 a 4 anos, 4 a 8 anos e principalmente entre 8 e 16 anos. Notou-se claramente que o sinal que lidera é a anomalia de chuva, na escala entre 8 e 16 anos, até o início da década de 1990. E se movem completamente opostas no fim da década de 1990 a até 2015. Na escala de 4 e 8 anos, a anomalia de chuva lidera, e observa que na escala de 4 anos os sinais movem completamente juntas e por volta do ciclo de 7 anos elas se movem completamente opostas.

Figura 49 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Bacia do Rio São Francisco e o Ciclo de Manchas Solares e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.



Fonte (do autor)

Ao analisar a média da anomalia da BRSF de forma geral. A partir de agora será analisado por RH o comportamento da anomalia de chuva através dos índices climáticos.

5.4.1. Análise Espectral: Região Homogênea Um do Rio São Francisco

A primeira RH da BRSF localiza-se no Baixo São Francisco a jusante de Xingó a até o deságue no Oceano Atlântico, abrange uma área de 32.013 km, totalizando o percurso do rio em torno de 208 km (CALISTO ACOSTA, 2014). A chuva média mensal climatológica da RH1, Figura 50e, tem seu período chuvoso entre março-abril e julho-agosto e período seco entre setembro-outubro e janeiro-fevereiro, e apresenta um total de chuva anual de 704 mm e chuva variando em torno de 24 a 99 mm ao mês.

Na Figura 50a mostrou que a anomalia de chuva não apresentou alta flutuabilidade na chuva, com exceção dos anos que apresentaram anomalia positivas significativa nos anos de 1957, 1960, 1963, 1966, 1975, 1981, 1985, 1992, 1994, 1996, 2002, 2004, 2009, com seus respectivos valores mensais de chuva de 180 mm, 276 mm, 158 mm, 217 mm, 216 mm, 242 mm, 235 mm, 177 mm, 212 mm, 188 mm, 148 mm, 262 mm, 235 mm. Todos os valores foram nos meses de período chuvoso, com exceção dos anos de 1963, 2002 e 2004 que foram nos anos de período seco (dezembro e janeiro).

Os anos que apresentaram anomalias negativas significativas ocorreram no período chuvoso, entre abril, maio e junho e foram os anos de 1955, 1970, 1980, 1983, 1992, 1993, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2012 com respectivos totais de chuva mensal de 22 mm, 14 mm, 14 mm, 17 mm, 16 mm, 8 mm, 12 mm, 20 mm, 0,2 mm, 9 mm, 11 mm e 0,0 mm.

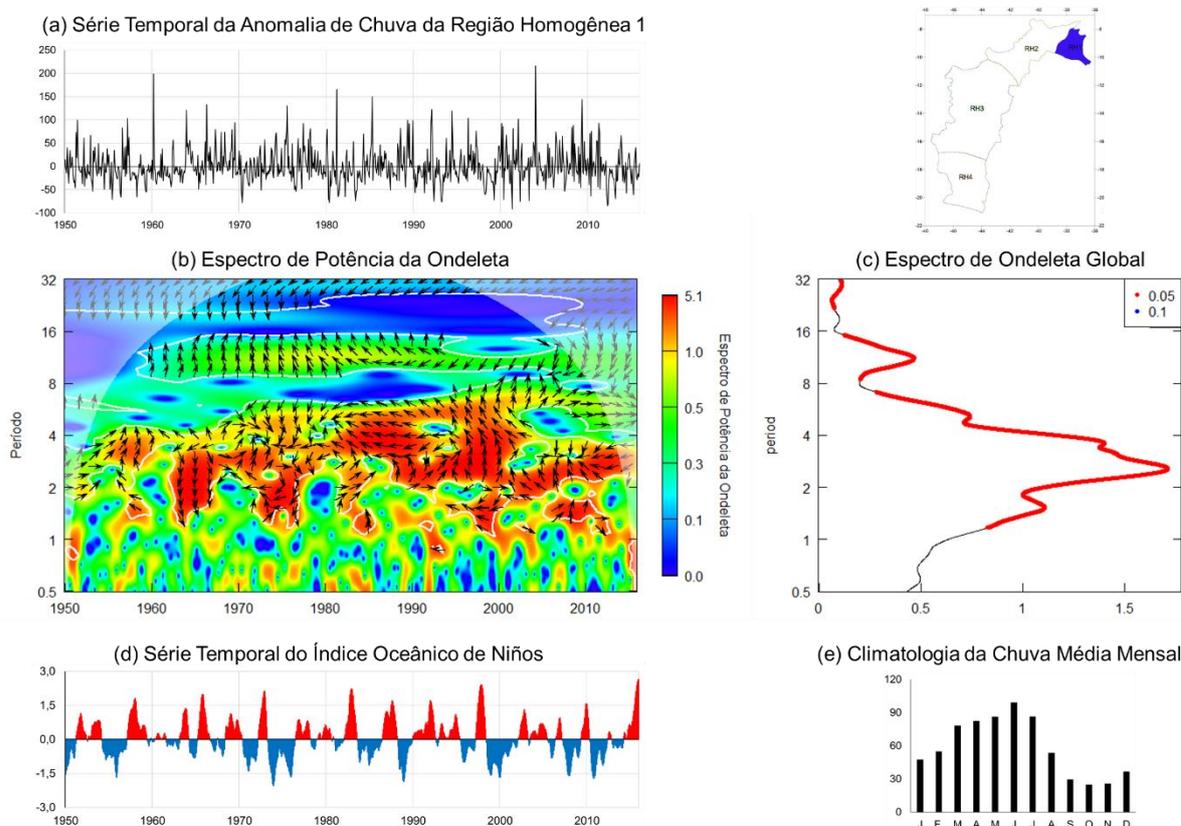
Nas Figura 50b,c a alta variabilidade se encontra principalmente no ciclo de 2,5 anos, mas os ciclos de 1, 4, 11 anos são também expressivos, devido a ter 95% de confiança estatística. Entre 1957 e 1958, o ION apresentou anomalia positiva e observou-se a variabilidade entre os ciclos de 1 e 4 anos. Nos ciclos de anual e bianual, as séries estão fora de fase, correlação negativa e o ION lidera entre as séries a até o ciclo de 2,5 anos. Após esse ciclo, o sinal as mostra em fase, a anomalia de chuva está à frente do ION e apresenta anomalia positiva.

Entre 1962 e 1965, o ION apresentou variabilidade (Figura 50d) e ele fica à

frente da chuva, apresentando correlação negativa e uma resposta de 3 meses de diferença. Quando o ION apresentou um período negativo (1973-1976), os sinais variaram muito, isto é, ora em alguns momentos as séries moviam completamente juntas ou opostas, ora ou a anomalia de chuva liderava ou o ION liderava entre elas.

Em 1982 e 1983 (ION positivo) entre o ciclo anual e trienal, a chuva lidera sobre o ION, mas ao se aproximar do ciclo de 4 anos a até o de 7 anos, o ION começa a liderar, a até as séries se moverem completamente opostas até por volta de 1995. Entre 1995 e 2002, próximo ao ciclo bianual elas se movem juntas e opostas. A variabilidade nesses anos, a anomalia de chuva liderou sobre o ION a até por volta do ciclo de 4 anos que o sinal se move para o 2º quadrante e o ION lidera. Entre 2008 e 2015 o sinal se alternam, mas notou-se que no ciclo de 3 anos, elas se movem completamente opostas.

Figura 50 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 1 da Bacia do Rio São Francisco e o Índice Oceânico de Niños e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.



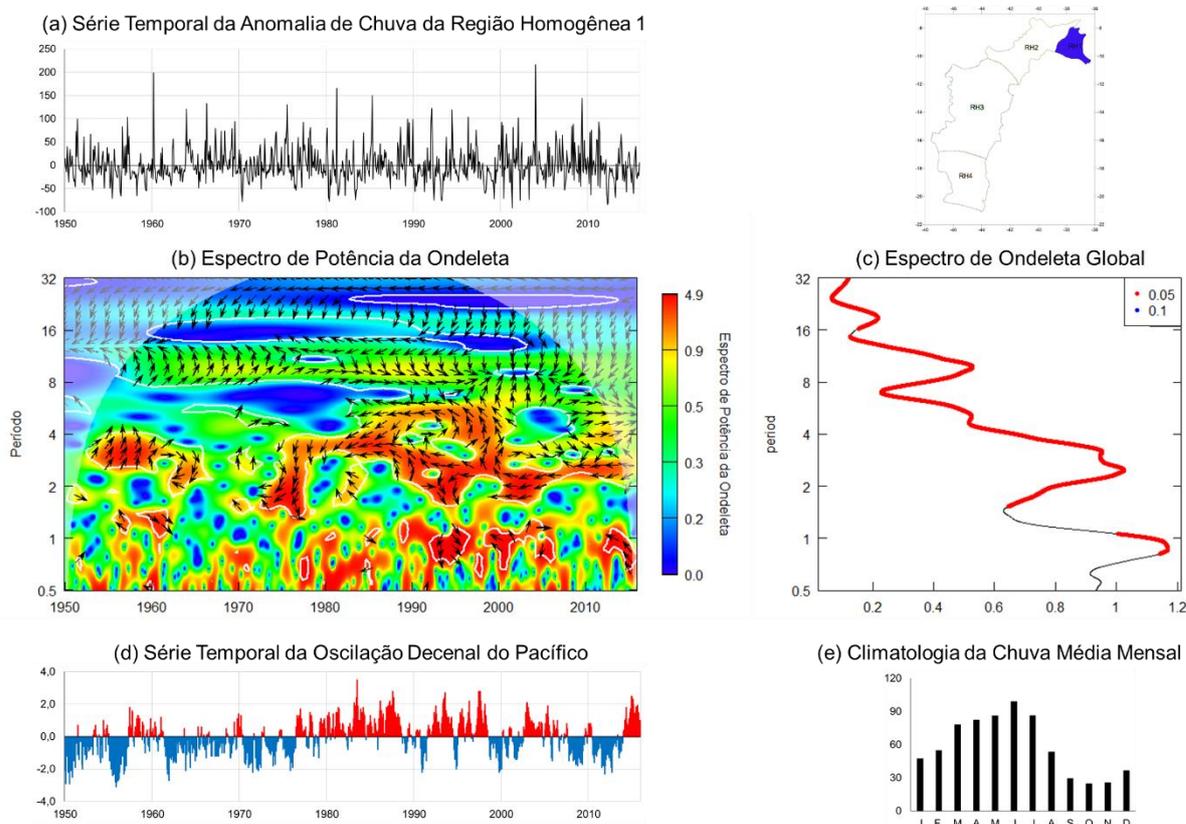
Fonte (do autor)

Nas Figura 51b,c a maior variabilidade energética entre a ODP e a anomalia de

chuva da RH2 foi a anual, mas notou-se que também a partir de 1,5 ano a até 32 anos, há 95% de confiança estatística. Entre 1953 e 1961 observou-se que entre o ciclo de 2 e 4 anos, as séries estão em fase e a anomalia de chuva está à frente em relação a ODP que apresentava anomalias positiva em sua fase negativa. E esse sinal muda, a ficar fora de fase e ainda a chuva a liderar sobre a ODP, quando o Pacífico esfria novamente.

Entre 1975 e 1980, outro núcleo energético que mostrou uma correlação negativa perfeita, ora a chuva lidera ora a ODP lidera. Esse sinal muda quando o Pacífico volta a apresentar anomalia positiva, e a ODP domina entre as séries. Entre 1983 e 1990 elas movem completamente opostas nas escalas de 4 e 7 anos. Entre 1990 e 2000 apresenta mais variabilidades e interações entre as séries nos ciclos anual, bianual e 7 anos. A partir dos anos 2000 o ciclo bianual mostra uma relação completamente opostas entre elas, o oposto ocorre entre 4 e 7 anos.

Figura 51 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 1 da Bacia do Rio São Francisco e a Oscilação Decenal do Pacífico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.



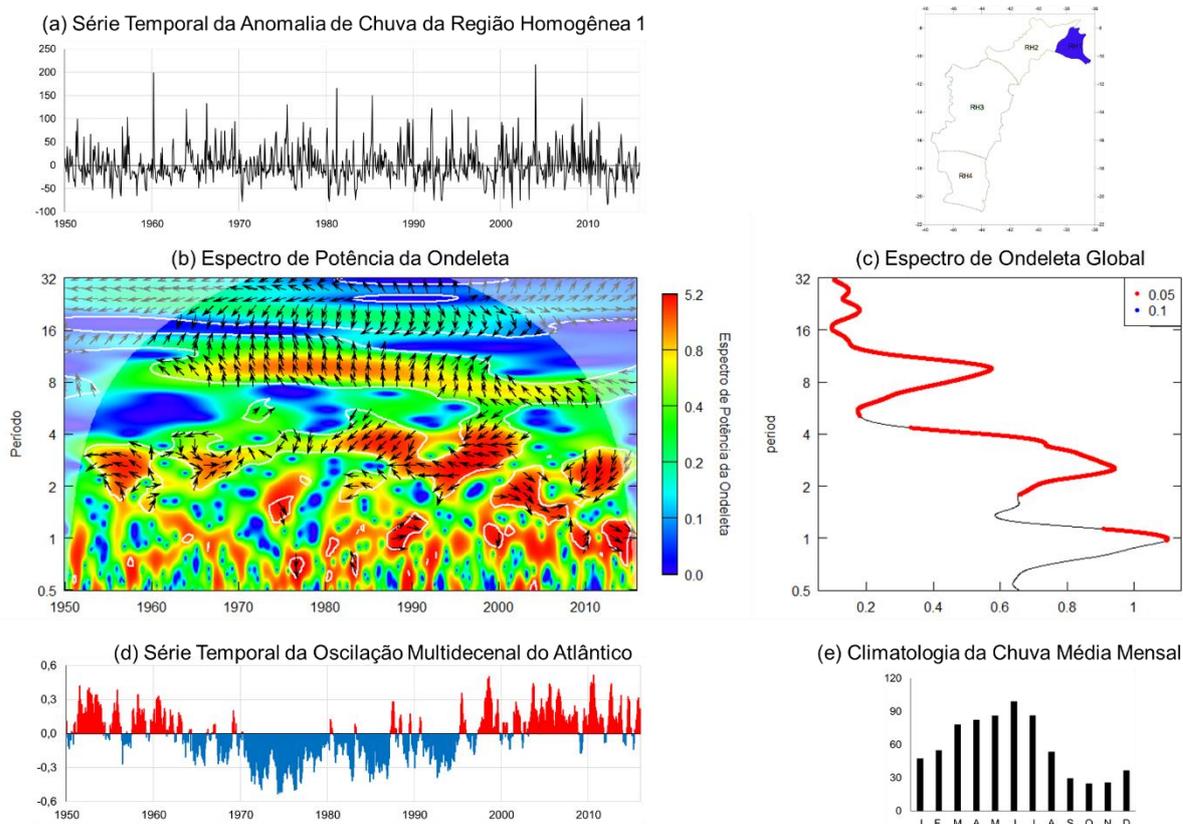
Fonte (do autor)

Nas Figura 52b,c mostrou que há 3 picos significativos (1, 2 e 11 anos) entre a anomalia de chuva e a OMA. O ciclo entre 7 e 11 anos (1960 a 2000), o sinal a liderar é o da anomalia de chuva e após os anos 2000 quem lidera é a OMA e a partir de 2010 elas se movem completamente opostas.

Ao analisar os núcleos entre 2 e 4 anos, observou também que ao longo do tempo a chuva lidera sobre a OMA, mas há períodos que as séries se movem juntas ou opostas, por exemplo, entre 1950 e 1960 a OMA estava positiva as series se moviam opostas. Já entre 1960 e 1970 quando a OMA começou a apresentar anomalias negativas, esse sinal inverte e elas movem juntas.

Entre 1980 e 1990, a anomalia de chuva lidera e elas estão fora de fase e a partir de 1990 a 2000 elas voltam a moverem completamente opostas. A partir de 2000 a 2010 e elas ficam em fase e a anomalia de chuva lidera, ao se aproximar de 2010 movem juntas e após isso a OMA começa a liderar sobre a anomalia de chuva.

Figura 52 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 1 da Bacia do Rio São Francisco e a Oscilação Multidecenal do Atlântico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.



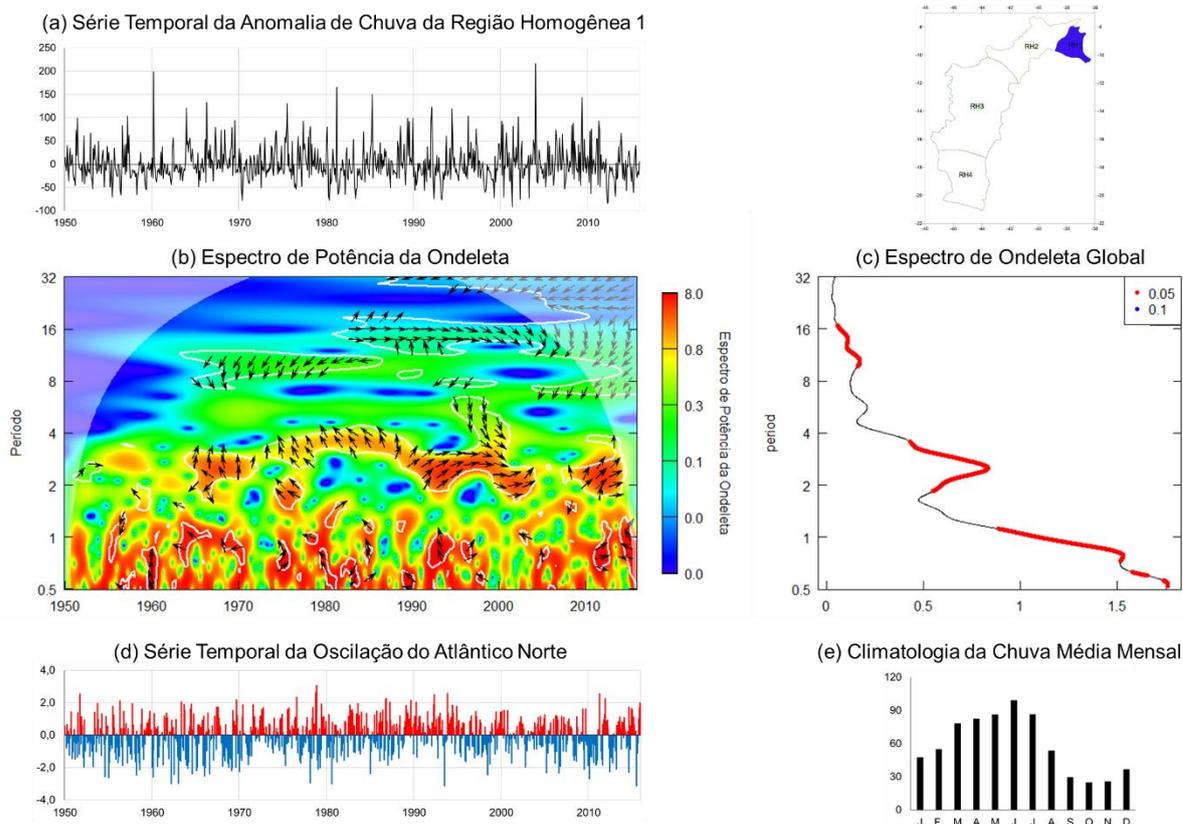
Fonte (do autor)

Nas Figura 53b,c o nível de significância entre a anomalia de chuva e a OAN foi a intrasazonal, mas observou-se que o ciclo bianual mostra também significância. Notou-se que há um sinal não muito energético entre 8 e 16 anos.

Na escala de 11 anos (1960 a 1985), a OAN lidera entre as séries e na escala de 16 anos, as séries movem completamente juntas, até por volta de 2000 e o sinal inverte tornando a anomalia de chuva a liderar entre elas. E nas escalas de 16 e 32 anos elas se movem completamente opostas, mas como se encontra fora do cone de influência, não há significância estatística.

No ciclo de 2 a 4 anos, observou-se que entre 1965 e 1970, a chuva lidera entre elas, e a partir de 1970 a 1990 a OAN lidera sobre a anomalia de chuva, e estão fora de fase com correlação negativa. A partir de 1990 a 2005, a maioria do sinal mostrou que elas se movem completamente juntas, tendo uma correlação positiva perfeita. Após 2010 os sinais estão em fase, correlação positiva e a anomalia de chuva lidera entre elas.

Figura 53 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 1 da Bacia do Rio São Francisco e a Oscilação do Atlântico Norte e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.



Fonte (do autor)

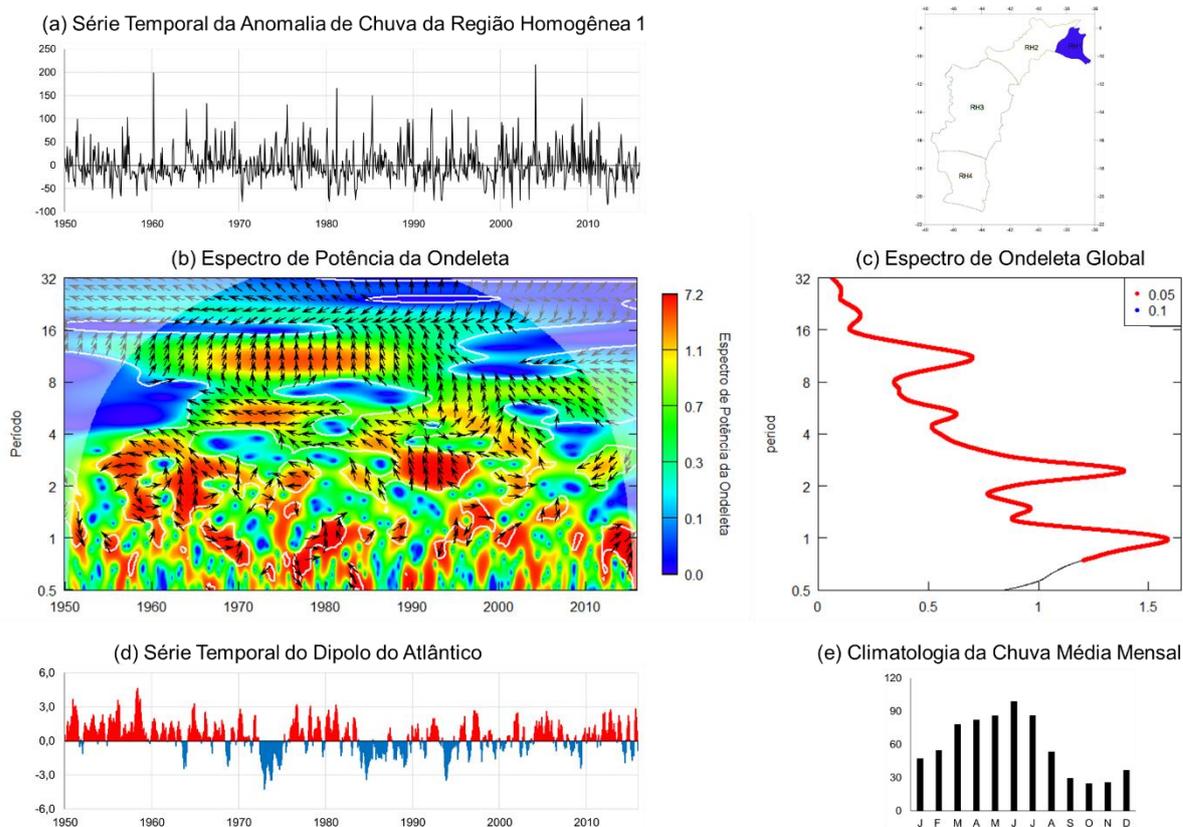
Nas Figura 54b,c entre a anomalia de chuva e o DA há 3 níveis de significância que ressaltaram entre todo o Espectro, são o de 1, 2 e 11 anos que possuem alta variabilidade energética entre as séries.

O núcleo entre 8 e 16 anos mostrou que a anomalia de chuva está à frente do DA, principalmente entre 1970 e 1990. No ciclo entre 4 e 8 anos (1962 a 1983) as séries se movem completamente opostas, apresentando correlação negativa perfeita. Mas nessa mesma periodicidade, a partir de 1990 a 2003, a anomalia de chuva está à frente do DA e após 2003, o DA lidera sobre a anomalia de chuva.

No ciclo de 2 a 4 anos, os sinais se alternam, isto ocorre também entre os ciclos de 6 meses a 1 ano e de 1 a 2 anos. entre 1955 e 1970, notou-se que entre 2 e 4 anos, as séries se movem opostas quando o DA estava positivo e entre o ciclo de 1 e 2 anos elas se movem juntas, mas a partir de 1960 quando o Atlântico Norte começou a apresentar menos anomalias positivas, e apresentar anomalias negativas, a anomalia de chuva está à frente do DA.

Outro núcleo interessante a se olhar, é entre o fim da década de 1980 e primeira metade da década de 1990, que a anomalia de chuva está também a frente do DA e nesse período o Atlântico apresentou fluatubilidade entres as anomalias positiva e negativa. E após 2012, as séries se encontram em fase, a anomalia de chuva a liderar e apresenta correlação positiva.

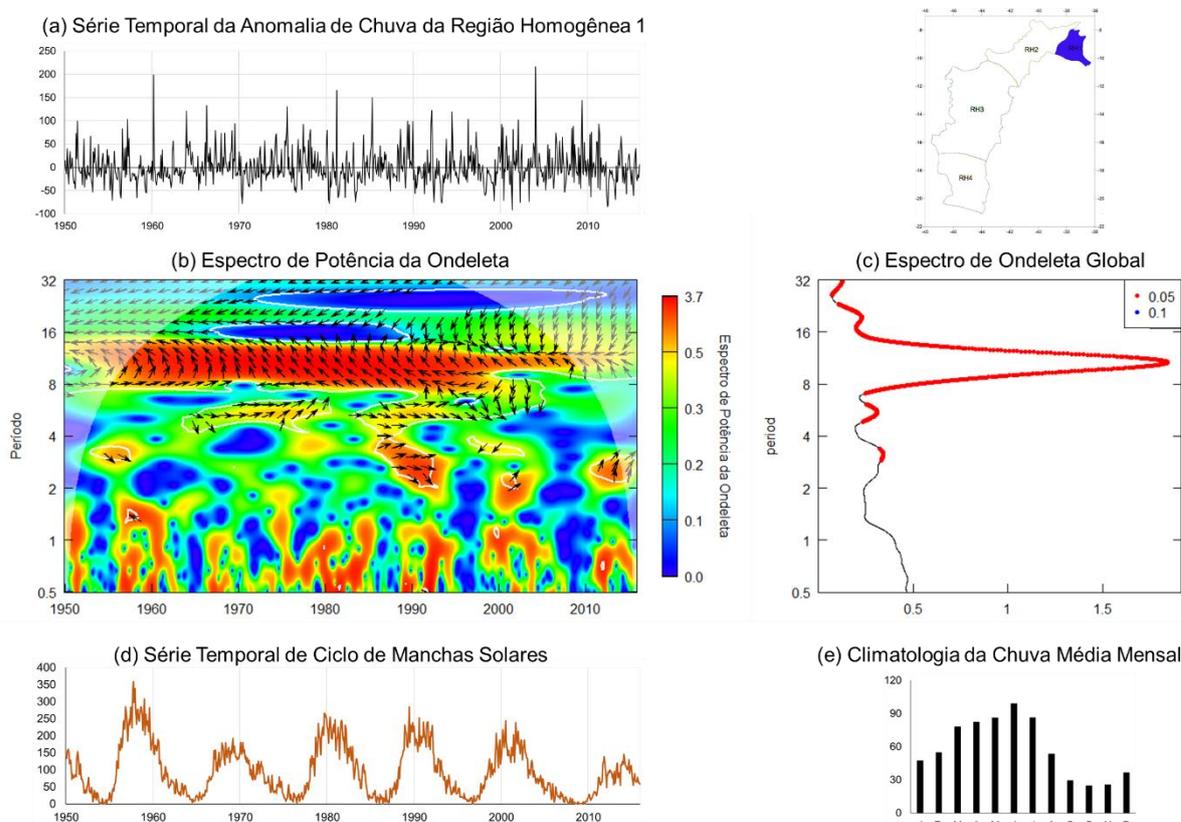
Figura 54 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 1 da Bacia do Rio São Francisco e o Dipolo do Atlântico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.



Fonte (do autor)

Nas Figura 55b,c o nível de significância mais energético foi o ciclo de 11 anos. nota que em toda série temporal, o CMS lidera sobre a chuva, estão fora de fase e apresenta correlação negativa. Observa alguns núcleos de alta frequência, entre 1965 e 1980 e 1985 a 2000, as séries se movem completamente juntas, e correlacionando perfeitamente positiva. A partir de 2010, observou-se uma mudança de sinal, onde elas estão em fase e a chuva lidera entre as séries.

Figura 55 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 1 da Bacia do Rio São Francisco e o Ciclo de Manchas Solares e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.



Fonte (do autor)

5.4.1. Análise Espectral: Região Homogênea Dois do Rio São Francisco

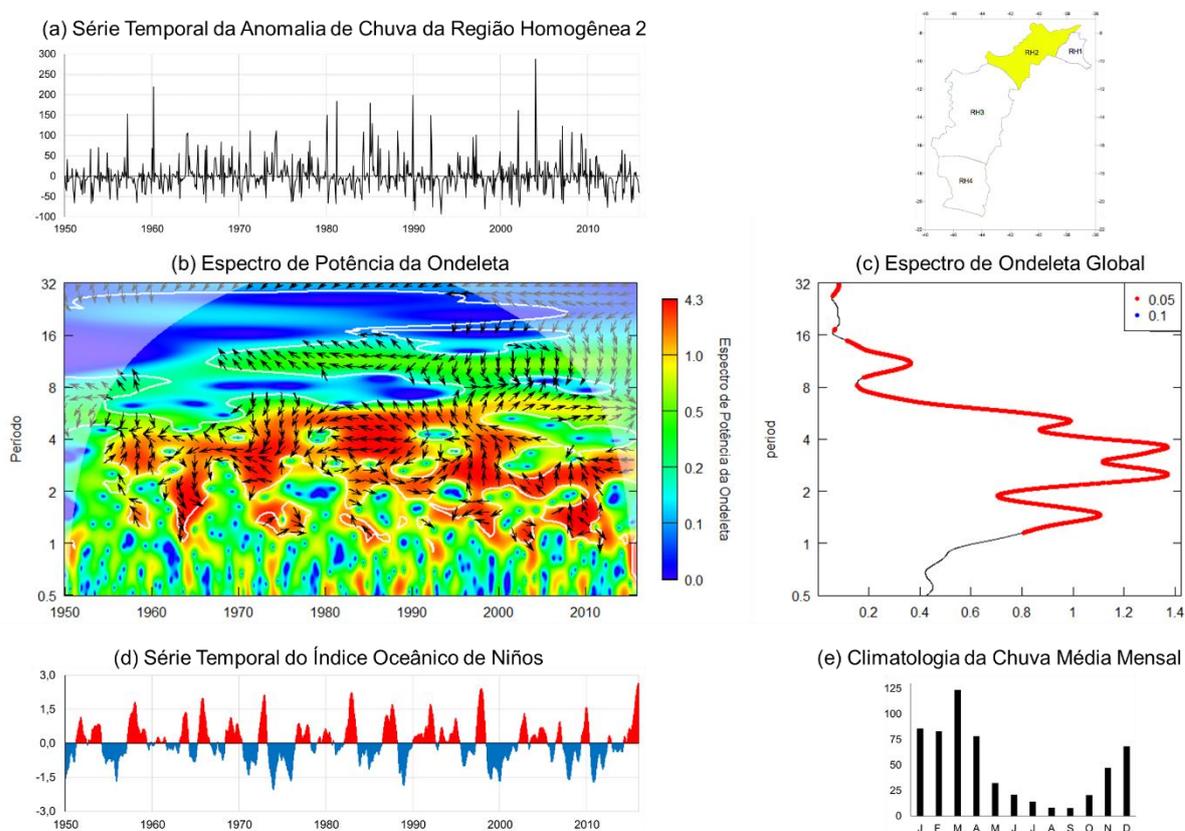
A RH2 localiza-se no submédio São Francisco que vai da jusante na Bahia na Usina de Sobradinho a até a montante de Xingó, totalizando um percurso de 42 km e área de 155,637 km² (CALISTO ACOSTA, 2014). A climatologia de chuva média mensal, Figura 56e, é distinta da RH1 e seu período chuvoso é entre dezembro e abril e o período seco entre maio e novembro.

Na Figura 56a mostrou a anomalia de chuva da RH2 para a BRSF, notou-se que não há grande variabilidade em anomalia negativa, mas observou-se que há anos que se destacam com a anomalia positiva, por exemplo, 1957, 1960, 1980, 1981, 1985, 1989, 1992, 2002 e 2004, que houve chuva de 271 mm, 337 mm, 237 mm, 302 mm, 258 mm, 264 mm, 229 mm, 240 mm e 366 mm, respectivamente.

Enquanto as anomalias negativas que se destacam, foram os anos de 1990 (34 mm), 1992 (42 mm), 1993 (25 mm), 1998 (37 mm), 2002 (42 mm) e 2012 (2 mm),

todos apresentavam déficit de chuva no mês mais chuvoso (março), exceto o ano de 2012 que foi em abril. Ao analisar a Ondeleta Cruzada entre a anomalia de chuva da RH2 e o ION, observou-se que os níveis de significância mais energéticos são entre 2 e 4 anos, mas há também significância nos ciclos de 1, 7 e 11 anos, Figura 56c. E ao analisar a Figura 56b, os núcleos com as maiores energias se encontram nessa faixa entre 2 e 4 anos.

Figura 56 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 2 da Bacia do Rio São Francisco e o Índice Oceânico de Niños e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.



Fonte (do autor)

No final da década de 1950, quando o ION apresentou anomalia positiva, a RH2 teve uma resposta no ciclo entre 1 e 2 anos que o sinal entre as séries ficou fora de fase, o ION lidera entre elas e correlação negativa. No ciclo entre 2 e 4 anos, o sinal muda e a anomalia de chuva lidera em quase todo o núcleo.

Entre 1960 e 1970, elas ficam em fase em que o ION domina entre o ciclo anual e bianual e próximo da periodicidade quadrienal ela se movem juntas, isso ocorre até meados de 1975. Entre 1970 e 1980 é semelhante a década anterior e o ION vai

até a faixa de 7 anos a liderar entre as séries e o ION mostra anomalia negativa, a mostrar uma maior liderança entre os conjuntos de dados.

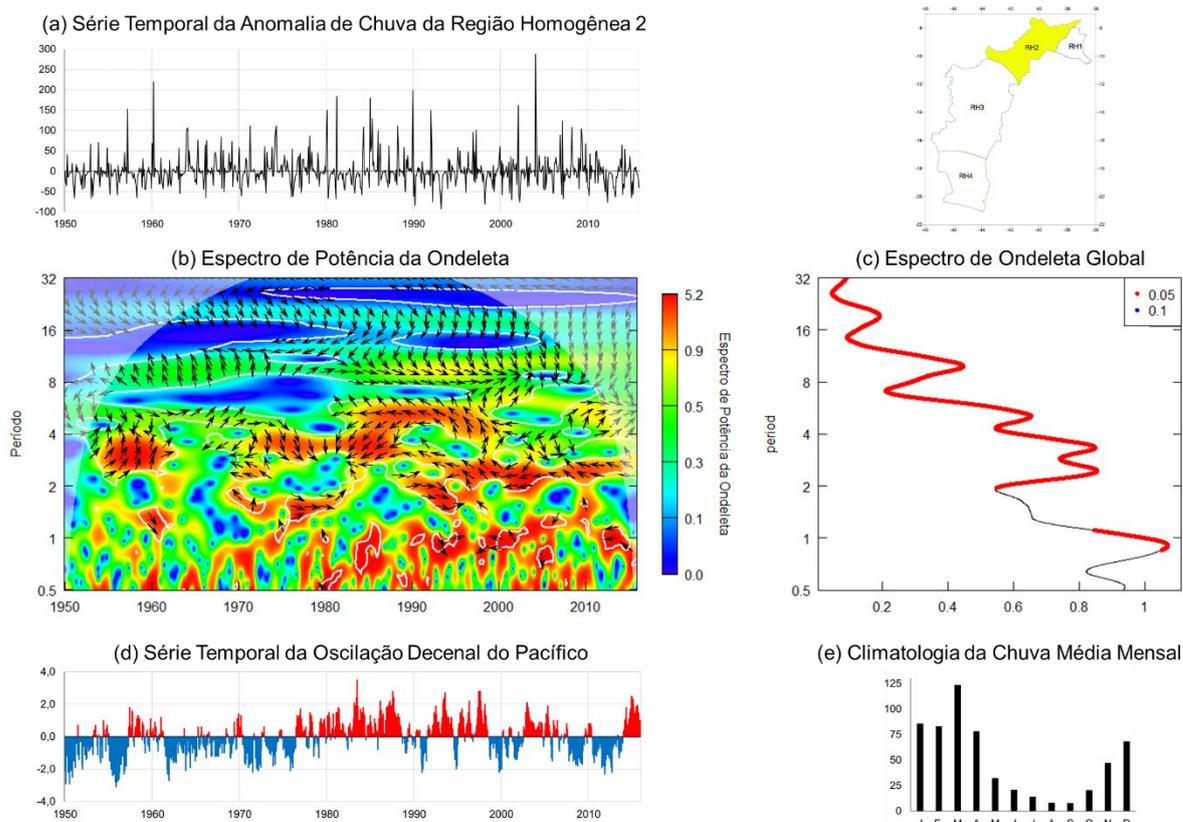
Mas entre 1980 e 1993 elas se movem juntas entre 2 e 3 anos e movem completamente opostas acima de 3 anos a até por volta o ciclo de 7 anos. O comportamento no final da década de 1990 em que o ION mostra anomalia positiva, é semelhante ao final da década de 1950, em que a anomalia de chuva está à frente do ION. Já a partir de 2014, esses sinais movem opostos no ciclo entre 2 e 4 anos e movem juntos no ciclo de 7 anos.

Na Figura 57b,c a relação entre a anomalia de chuva e a ODP nos mostrou que a periodicidade mais acentuada é a anual, mas observou-se que a partir da periodicidade bianual com nível de confiança de 95% de significância estatística.

A relação entre as séries na Figura 57b no ciclo de 2 a 4 anos na década de 1950 é estarem em fase e a chuva liderar. No início da década de 1970, elas têm correlação perfeita negativa. Mas no ciclo entre o anual e o bianual elas se movem juntas, assim ocorre também entre 1990 e 1995, entretanto no ciclo bianual e quadrienal a ODP lidera entre elas.

Ao começar a fase quente da ODP, o sinal muda e a anomalia de chuva lidera, se encontram fora de fase no ciclo entre 2 e 4 anos, mas no ciclo de 7 anos elas tem uma resposta completamente opostas. Que também acontece no ciclo bianual entre 2000 e 2015.

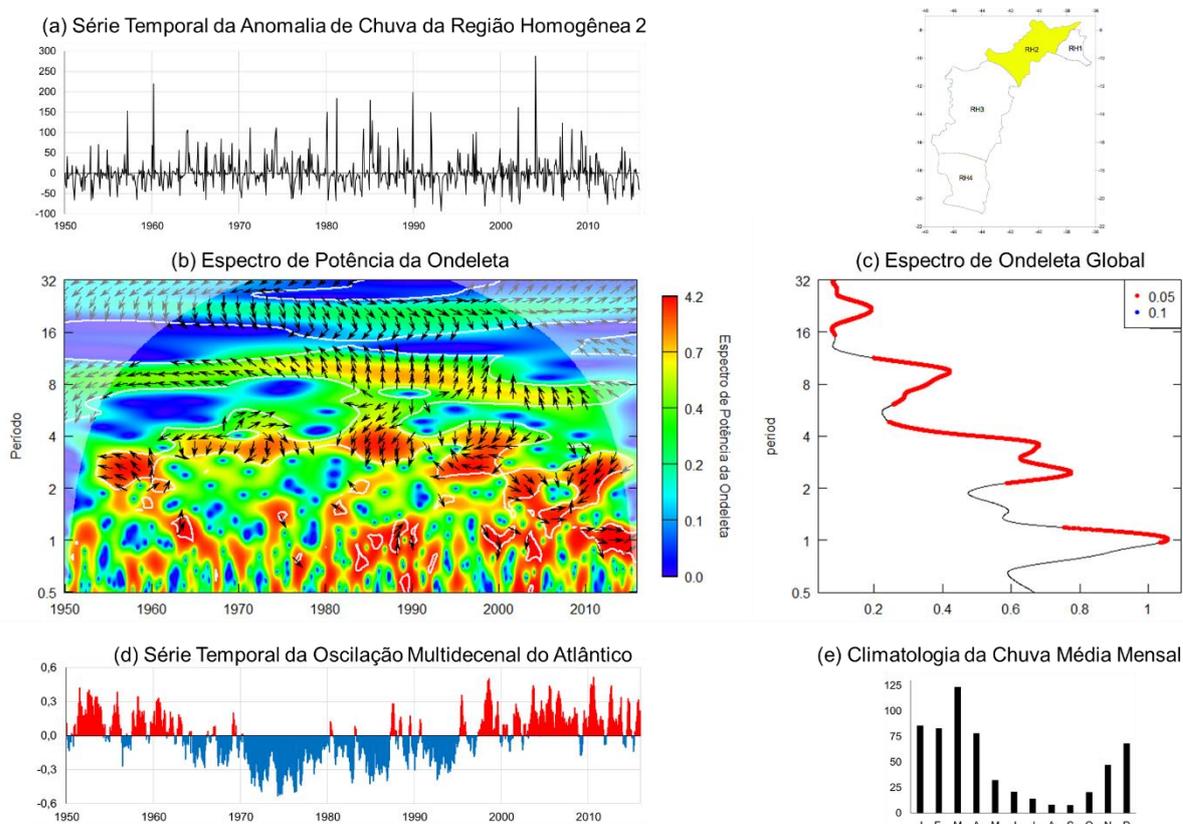
Figura 57 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 2 da Bacia do Rio São Francisco e a Oscilação Decenal do Pacífico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.



Fonte (do autor)

A analisar a TSM do Oceano Atlântico Norte a relação entre a OMA e a anomalia de chuva da Figura 58b,c, observou-se uma semelhança com a figura anterior em termos de periodicidade (1, 2, 4, 11 e 22 anos). Nas décadas de 1950 e de 1990 no ciclo de 2 e 4 anos, as séries se movem completamente opostas e observou-se que a partir de 2010 no ciclo anual, elas se movem completamente juntas, e notou-se que a OMA apresentava fase positiva nesses períodos, Figura 58d. Entre 1980 e 1990, elas têm um comportamento totalmente inverso entre os ciclos de 2 e 4 anos (OMA a liderar) e os ciclos de 8 e 11 anos (anomalia de chuva a liderar).

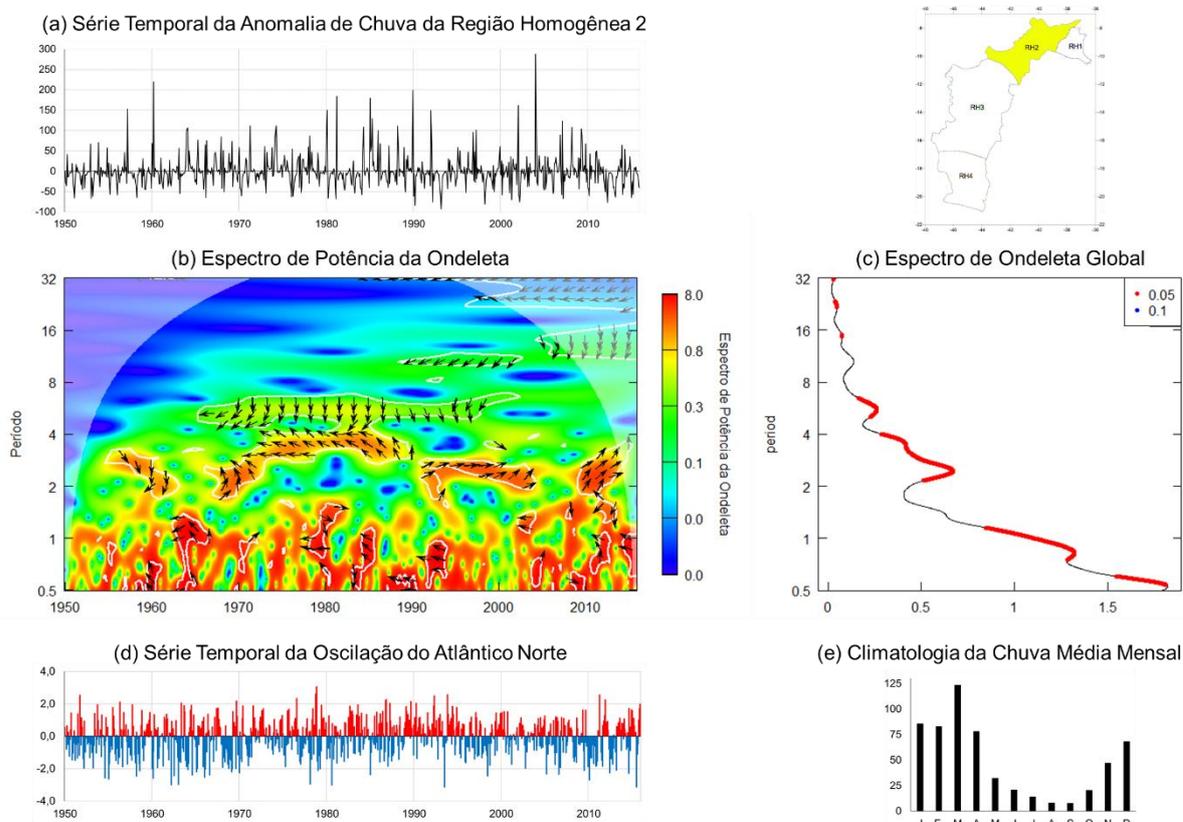
Figura 58 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 2 da Bacia do Rio São Francisco e a Oscilação Multidecenal do Atlântico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.



Fonte (do autor)

A relação na Figura 59 entre o índice atmosférico do Oceano Atlântico Norte – OAN, e a anomalia de chuva da RH2, exibiu pouca periodicidade entre as séries, mas observou-se que há ciclos significativos, tais como, o intrasazonal, anual, bianual e 7 anos. Em quase toda a Figura 59b, a OAN mostrou liderança nos núcleos anuais e no ciclo de 2 anos, entre os anos de 1970 e 1990 elas movem completamente opostas e entre os anos de 1990 e 2002 completamente juntas. Já a partir de 2010 o sinal exibiu as séries em fase e a anomalia de chuva lidera entre elas.

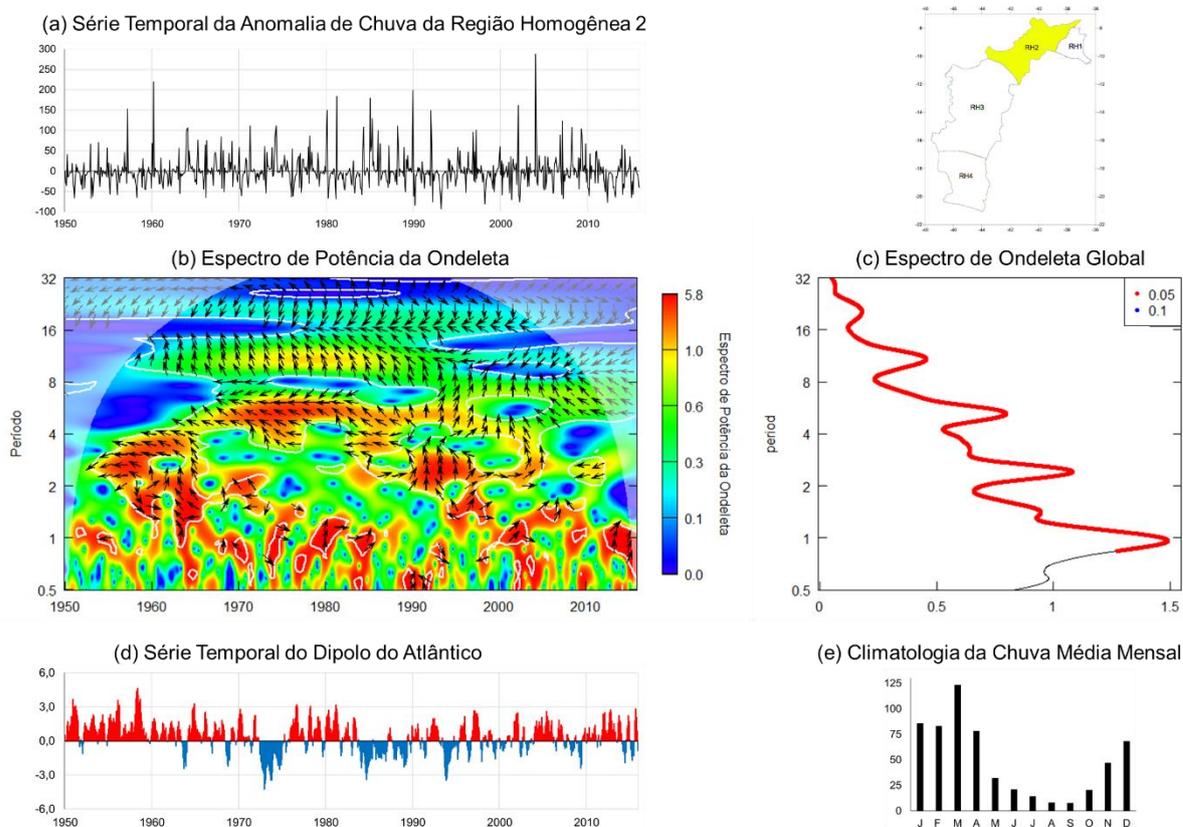
Figura 59 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 2 da Bacia do Rio São Francisco e a Oscilação do Atlântico Norte e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.



Fonte (do autor)

Para a TSM entre o Atlântico Norte e Sul – DA e a anomalia de chuva da Figura 60b,c, a periodicidade mais ativa foi a anual, mas há também os ciclos de 2, 7 e 11 anos com alta periodicidade. Nos ciclos de 2 e 4 anos (entre 1953 e 1965), de 4 e 7 anos (1960 a 1983), 4 anos (1983 a 1988) e 2 anos (2010) há correlação negativa perfeita entre elas. No ciclo anual a anomalia de chuva lidera em quase toda a série temporal, porém há anos, 1963, em que o DA liderou sobre a chuva desde a escala anual a até a quadrienal. Vale salientar que no ciclo de 11 anos, entre 1960 e 1990 o DA também lidera entre elas.

Figura 60 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 2 da Bacia do Rio São Francisco e o Dipolo do Atlântico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.

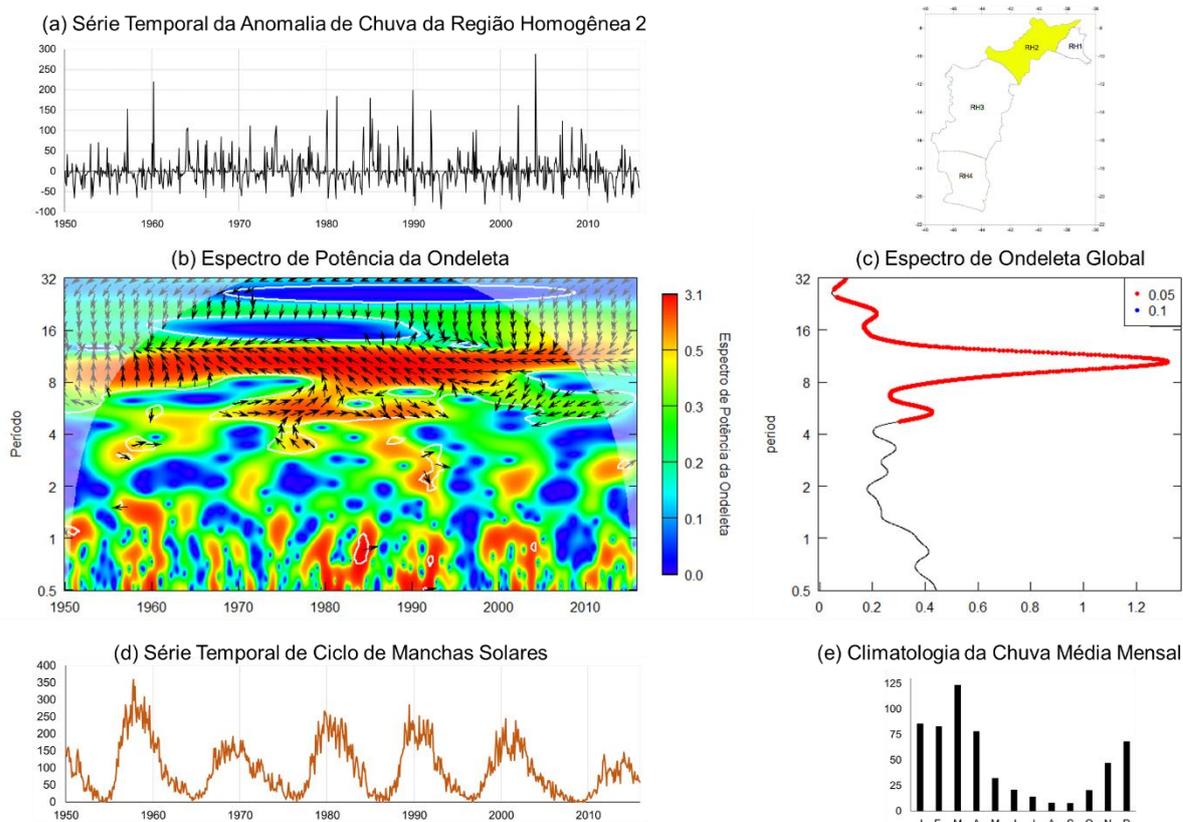


Fonte (do autor)

Na Figura 61b,c mostra a relação entre o CMS e a anomalia de chuva que há confiança de 95% de significância estatística entre a periodicidade de 7 a 32 anos, e que a mais energética é a do ciclo de 11 anos.

Em toda série temporal os sinais se movem completamente opostos, mas em escala um pouco abaixo do ciclo de 11 anos e de 22 anos, o CMS lidera entre elas. Entre 1970 e 1985 existe uma alta variabilidade no ciclo de 7 anos em que o CMS e a anomalia de chuva se movem completamente juntas. Assim também mostra um pequeno núcleo em 1960.

Figura 61 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 2 da Bacia do Rio São Francisco e o Ciclo de Manchas Solares e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.



Fonte (do autor)

5.4.1. Análise Espectral: Região Homogênea Três do Rio São Francisco

A RH3 localiza-se na região do médio São Francisco, que é uma região com 1.300 km de navegação ao longo do rio e extensão de 337.763 km², nessa RH é localizada as Usinas hidrelétrica de Sobradinho e hidrelétrica de Queimado (CALISTO ACOSTA, 2014). O período chuvoso dessa RH vai de novembro a março e período seco de abril a outubro (Figura 62e).

Para essa região, a figura 61a apresentou mais variabilidade entre as anomalias positiva e negativa. Os anos que se destacaram em anomalia positiva e ocorreram no período chuvoso, foram os de 1960 (janeiro), 1960 (março), 1964, 1969, 1974, 1978, 1979, 1980, 1981, 1985 (janeiro), 1985 (dezembro), 1989 1992, 1997 e 2004, com respectivos valores de chuva de 310 mm, 343 mm, 362 mm, 332 mm, 266 mm, 274 mm, 319 mm, 323 mm, 330 mm, 377 mm, 351 mm, 448 mm, 408 mm, 334 mm e 360mm. E os anos que apresentaram anomalia negativa no período chuvoso

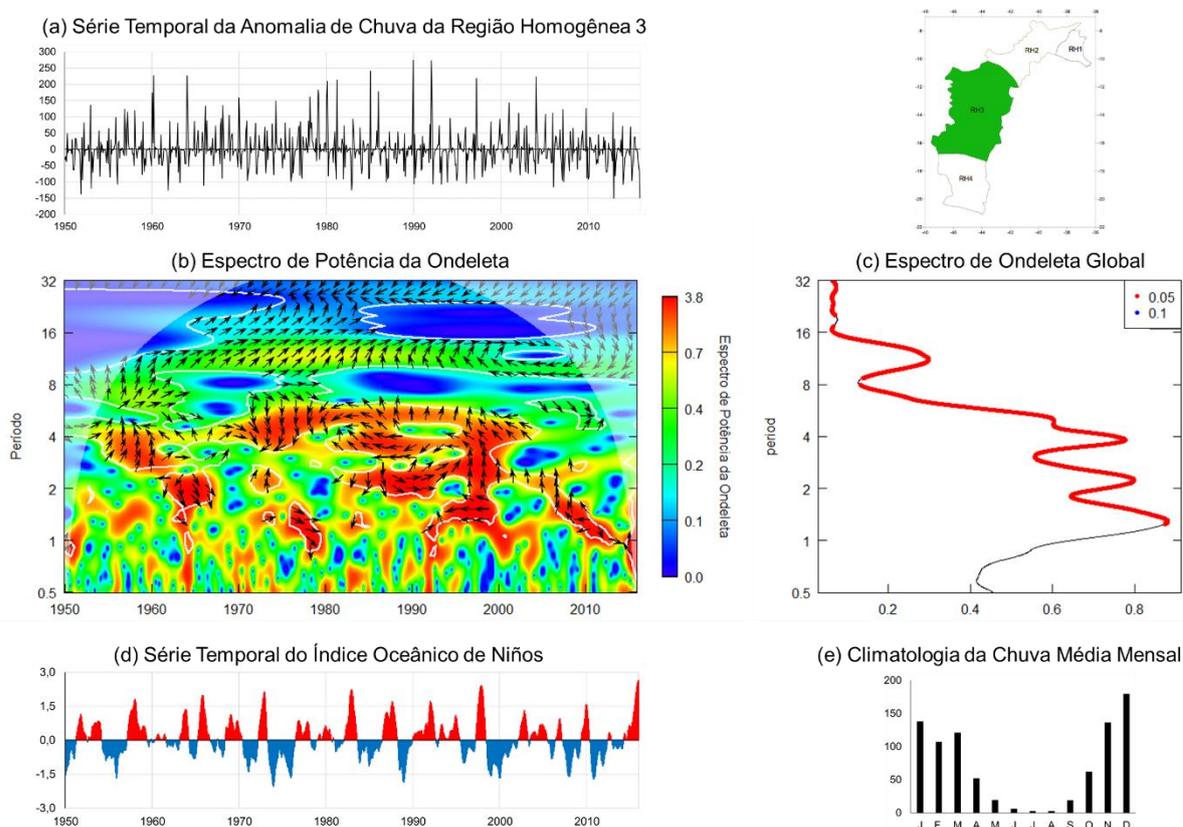
foram os de 1951, 1953, 1961, 1982, 2006, 2012 e 2015 e respectivas chuvas de 13 mm, 17 mm, 23 mm, 24 mm, 21 mm, 24 mm e 24 mm.

A analisar a Figura 62b,c, a relação entre a anomalia de chuva da RH3 e o ION, observou-se três periodicidades de alta energia entre 1 e 7 anos e uma quarta periodicidade energética no ciclo de 11 anos.

Na década de 1950 e 1990 observou-se um núcleo de periodicidade de 2 e 4 anos de alta energia que a chuva está à frente do ION e sinaliza no ciclo de 8 a 11 anos. Entre 1960 e 1966 quem lidera é o ION no ciclo de 1 a 2 anos e isso ocorre também no ciclo de 4 e 7 anos entre 1970 e 1980 no ciclo de 4 e 7 anos.

No final da década de 1990 entre o ciclo anual e bianual, as séries se movem completamente opostas, mas a partir do ciclo bianual a anomalia de chuva lidera entre as séries e a apresentar mudança de liderança (ION) a partir do ciclo de 4 anos. Na série temporal no ciclo entre 8 e 16 anos, a chuva passa a liderar em quase todo o conjunto.

Figura 62 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 3 da Bacia do Rio São Francisco e o Índice Oceânico de Niños e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015. Fonte (do autor)

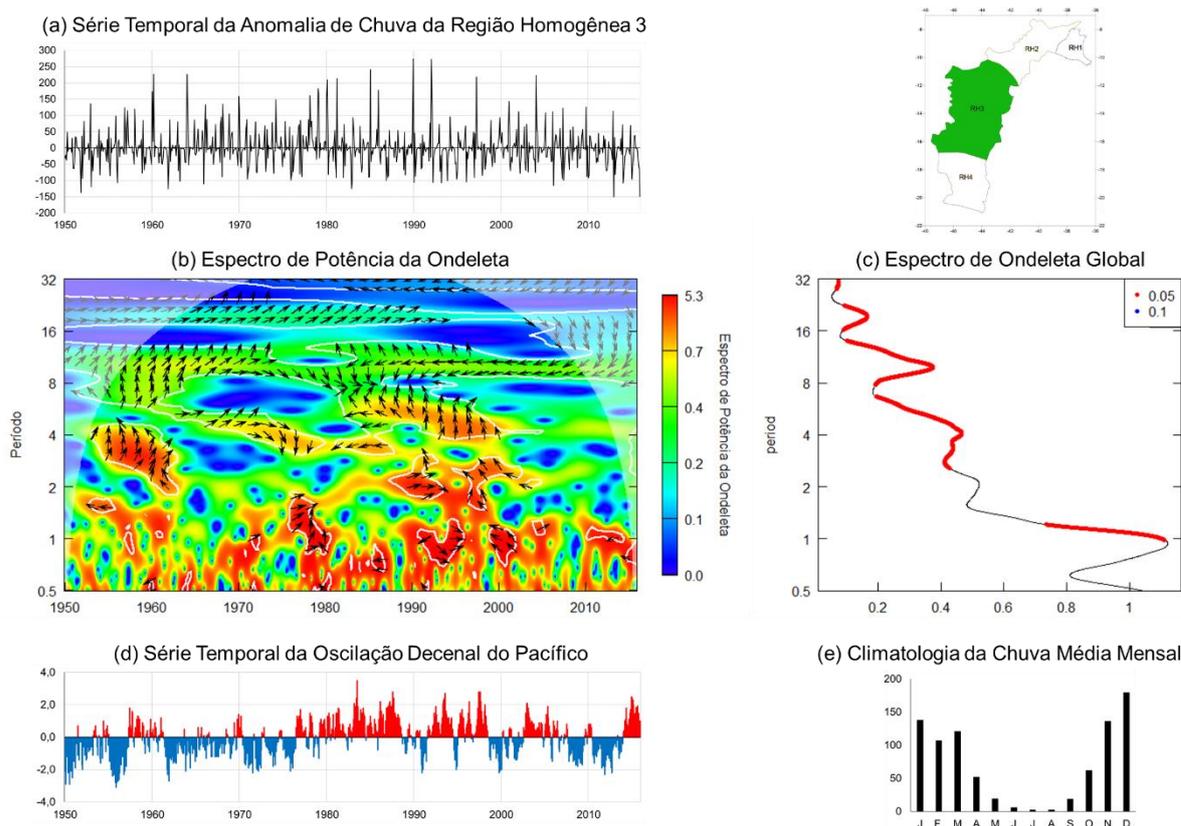


Fonte (do autor)

Na Figura 63b,c a relação entre a ODP e a anomalia de chuva mais significativa foi a do ciclo anual, mas pode-se observar que há também nos ciclos de 4, 11 e 22 anos. Entre 1950 e 1960 o sinal mostra, no ciclo entre 2 e 4 anos, que a ODP lidera entre elas e estão fora de fase, mas no início de 1960 o sinal da anomalia de chuva lidera e elas se encontram em fase. Isso ocorre também no ciclo entre 7 e 15 anos. No ciclo de 11 anos, mostra uma correlação perfeita negativa entre 1985 e 2010.

Um núcleo com alta energia pode ser observado no fim da década de 1970, onde a anomalia de chuva lidera entre elas. Entre 1990 e 2000, observou-se núcleos de alta variabilidade nos ciclos anuais (a ODP lidera), bianuais (movem completamente juntas e a ODP lidera) e 7 anos (anomalia de chuva a liderar).

Figura 63 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 3 da Bacia do Rio São Francisco e a Oscilação Decenal do Pacífico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.



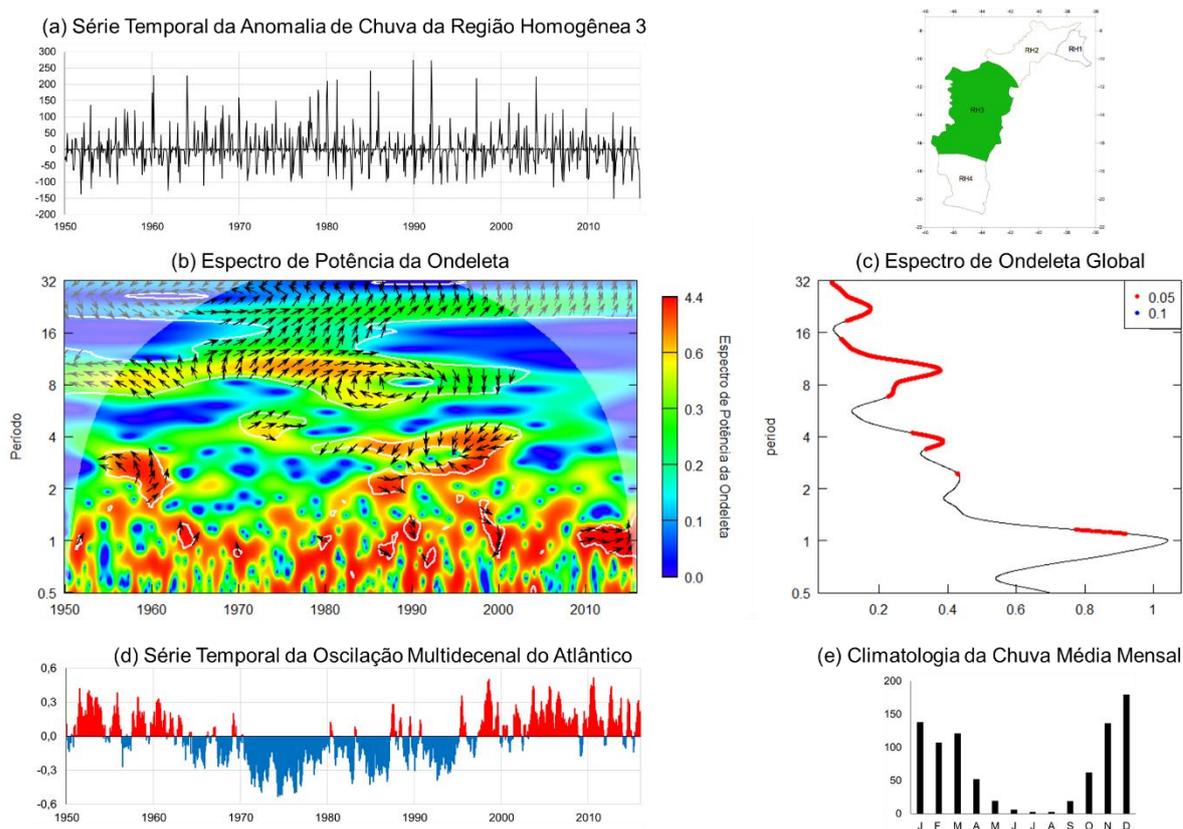
Fonte (do autor)

No caso da relação entre a OMA e a anomalia de chuva, há um comportamento semelhante entre a ODP e a anomalia de chuva. A Figura 64b,c exibiu a maior periodicidade anual, mas há também periodicidades de 2, 4, 11 e 22 anos. No ciclo

entre 8 e 22 anos entre os anos 1970 e 1980 em que a OMA estava negativa, a chuva está à frente, mas ao observar entre 1950 e 1963 e 1992 e 2000, quando a OMA estava positiva, ela lidera entre as duas séries.

Observou-se que o núcleo entre 1955 e 1960, ao longo do tempo elas movem completamente opostas e ao se aproximar de 1960 a chuva lidera entre elas. Assim como observou-se entre 1980 e 2000, em grande maioria, a chuva lidera, mas encontram-se fora de fase. É interessante notar que a partir de 2010, as séries as séries apresentam correlação positiva perfeita, movendo-se completamente juntas.

Figura 64 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 3 da Bacia do Rio São Francisco e a Oscilação Multidecenal do Atlântico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.



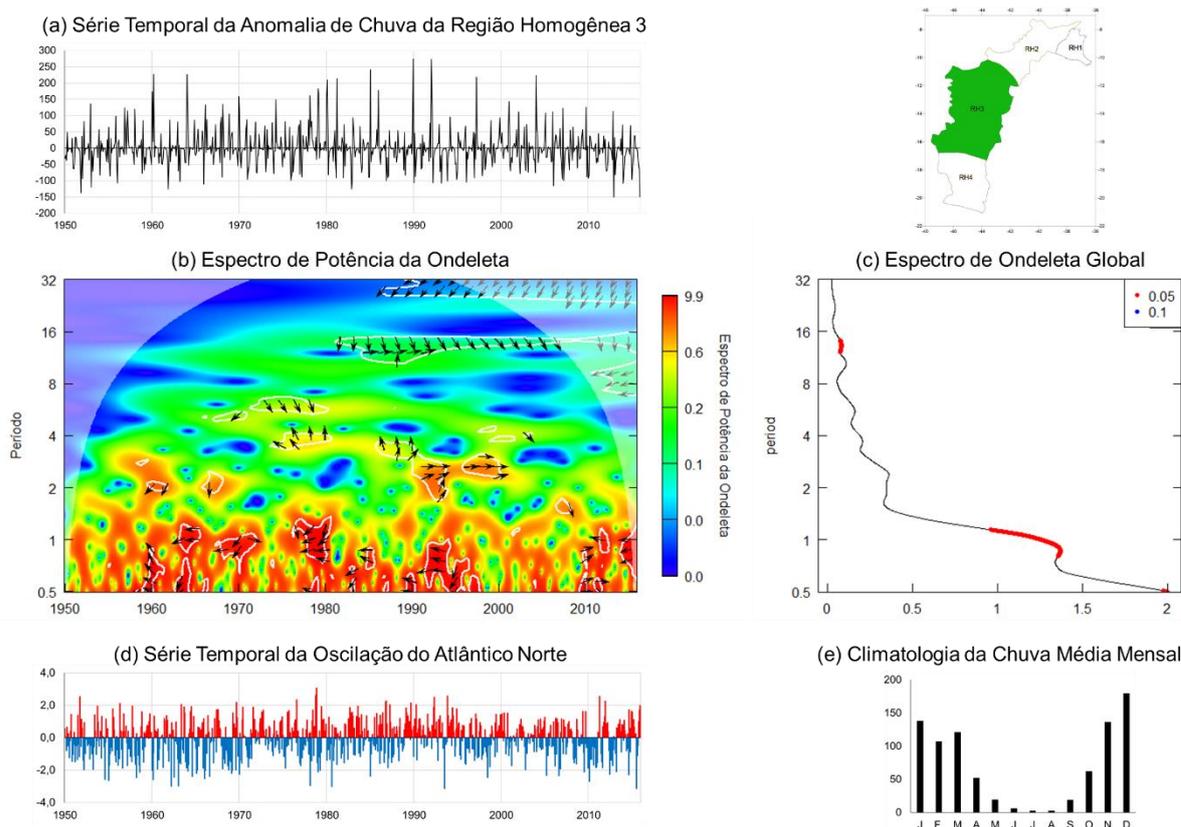
Fonte (do autor)

Na Figura 65b,c, a alta periodicidade se encontra no ciclo intrasazonal. Observou-se que ao longo do tempo as séries se movem juntas ou opostas. Em 1960 no ciclo intrasazonal, a OAN lidera entre elas e estão fora de fase, mas no ciclo de 2 anos, a anomalia de chuva lidera, assim como em 2010 e 2014.

No ciclo bianual, a tendência é a OAN liderar entre elas, mas há dois núcleos

energéticos entre 1990 e 2000 que elas se moveram completamente juntas. No ciclo entre 8 e 16 anos a partir de 1980, também mostra que a OAN lidera entre elas, entretanto no ciclo de 11 anos, 1985 a 1992 elas movem completamente juntas.

Figura 65 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 3 da Bacia do Rio São Francisco e a Oscilação do Atlântico Norte e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.



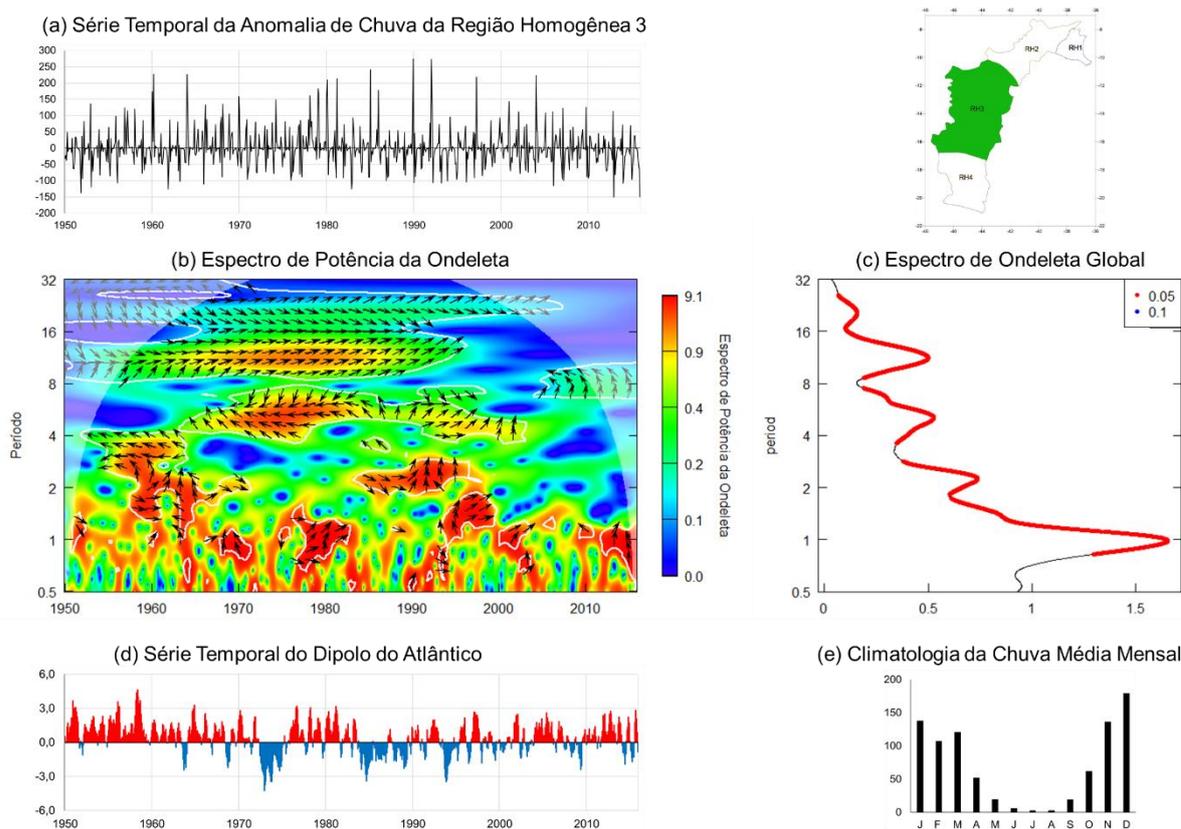
Fonte (do autor)

Na Figura 66b,c o nível de confiança de 95% de significância estatística vai desde o ciclo anual (alta periodicidade) a até 22 anos. No ciclo entre 16 e 32 anos, notou uma tendência do DA a liderar sobre a chuva e as séries se encontram em fase. No ciclo de 8 a 16 anos as séries tendem a se moverem juntas, mas há uma leve tendência da anomalia de chuva a liderar. No ciclo de 4 a 7 anos, entre 1965 e 1983, as séries moveram completamente opostas, mas há uma leve tendência do DA a liderar e as séries estão fora de fase. Já a partir de 1983 em sua maioria a anomalia de chuva está à frente do DA.

O núcleo que se encontra entre 1950 e 1964 entre 2 e 4 anos, o DA lidera entre elas, há uma ligeira tendência para a anomalia de chuva. Em 1960 observou-se elas

moverem juntas e em 1965 o DA a liderar no ciclo de 1 e 2 anos. em torno de 1975 e 1983 e por volta de 1995 e 2000, a anomalia de chuva está avançada sobre o DA e entre 1990 e 1995 no ciclo bianual.

Figura 66 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 3 da Bacia do Rio São Francisco e o Dipolo do Atlântico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.

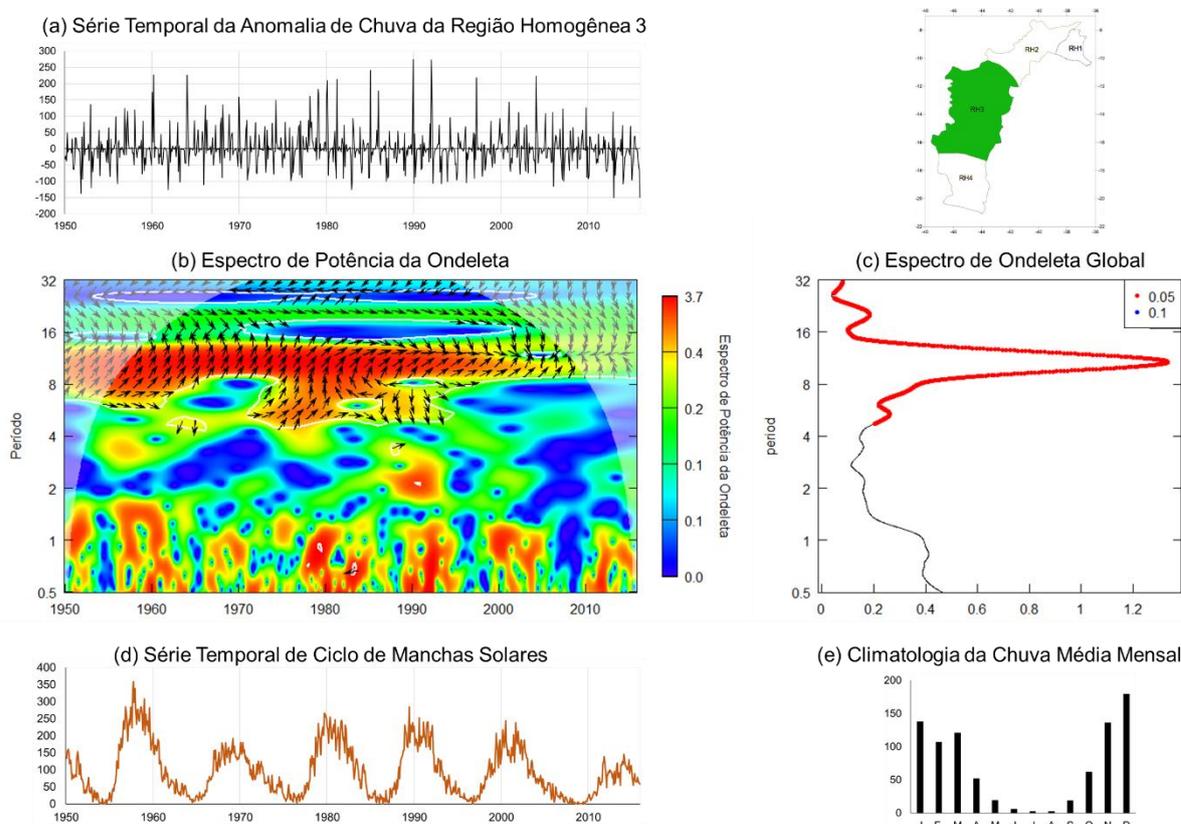


Fonte (do autor)

Na Figura 67b,c a relação entre o CMS e a anomalia de chuva, mostrou-se que o ciclo de 11 anos é o mais evidente, mas há duas periodicidades que também evidenciam, a de 7 e a de 22 anos.

Observou-se que em toda a série temporal, no ciclo de 11 anos a chuva lidera. Mas notou-se que no ciclo de 7 anos, o CMS há uma leve convergência na liderança. E entre 1988 e 1998, o ciclo de 11 anos as séries tendem a moverem completamente juntas.

Figura 67 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 3 da Bacia do Rio São Francisco e o Ciclo de Manchas Solares e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.



Fonte (do autor)

5.4.1. Análise Espectral: Região Homogênea Quatro do Rio São Francisco

A RH4 fica localizada no alto São Francisco, é onde se encontra a nascente do Rio São Francisco e tem área de 111.804 km² (CALISTO ACOSTA, 2014). O período chuvoso dessa RH vai de novembro a março e período seco entre abril e outubro, Figura 68e.

A anomalia de chuva positiva, figura 67a, apresentaram-se no período chuvoso, exceto o ano de 2009 que apresentou chuva significativa no período de transição (outubro). E esses anos mais anômalos positivamente são os de 1952 (376 mm), 1961 (527 mm), 1962 (541 mm), 1979 (423 mm), 1983 (452 mm), 1985 (266 mm), 1991 (515 mm), 1992 (467 mm), 2004 (361 mm), 2009 (304 mm) e 2011 (552 mm).

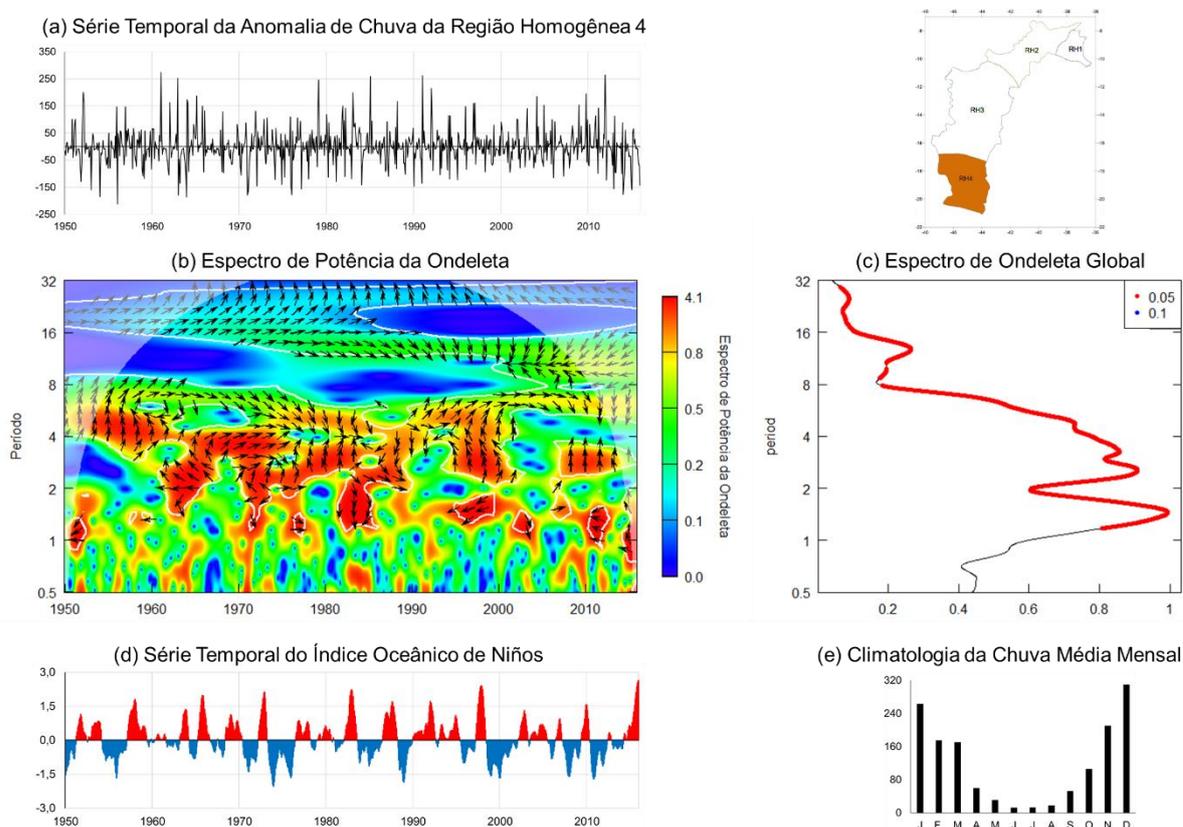
E os anos que apresentaram anomalia negativas foram os de 1953, 1954, 1956, 1963, 1963, 1970, 1976, 1977, 2012, 2014 e 2015 com respectivos volumes de chuva de 94 mm, 69 mm, 42 mm, 75 mm, 101 mm, 110 mm, 75 mm, 20 mm, 133 mm, 76

mm e 95 mm. Todas essas anomalias negativas de chuva ocorreram no período chuvoso.

Na Figura 68b,c, as maiores periodicidade se encontraram entre o ciclo anual e quadrienal, mas uma periodicidade no ciclo de 11 anos. O ciclo de 11 anos mostra uma correlação perfeita negativa entre 2000 e 2010. Ao longo do ciclo de 7 nos, a anomalia de chuva tende a liderar no início de 1950 e começa a moverem juntas a partir de 1960, e no fim da década de 1960 o ION tende a liderar entre elas, que exibiu algo semelhante a partir de 1990.

No ciclo de 4 anos a anomalia de chuva está a frente em quase toda a década de 1950 e na década de 1990. No ciclo entre 2 e 4 anos, as séries tendem a alternar ao longo do tempo, entre 1960 e 1970 no ciclo anual as duas séries se movem completamente opostas e ao se aproximar do ciclo quadrienal, o ION lidera. Entre 3 e 4 anos, elas se movem completamente juntas nessa faixa. Entre 1980 e 1985 e 1995 e 2000, o ION lidera ao longo dessas datas. Entre 2005 e 2015, a anomalia de chuva está à frente do ION.

Figura 68 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 4 da Bacia do Rio São Francisco e o Índice Oceânico de Niños e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.

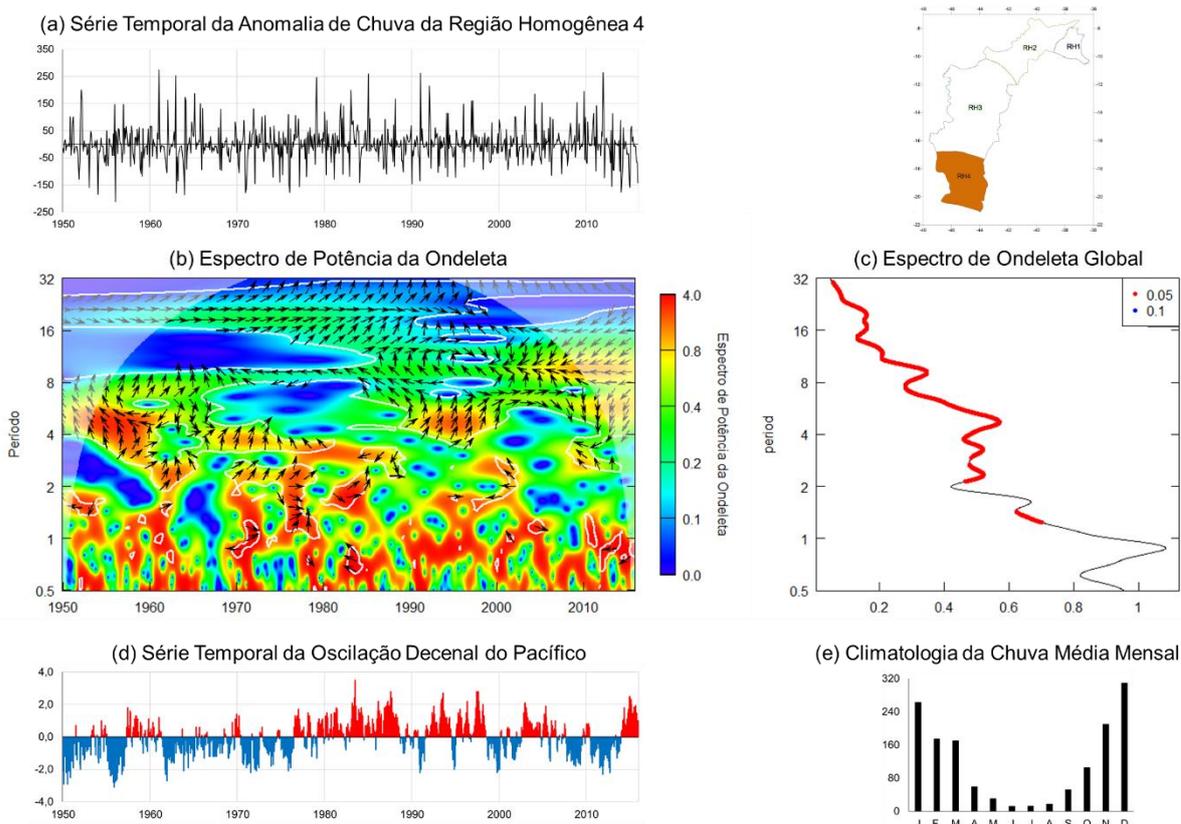


Fonte (do autor)

A Figura 69b,c a periodicidade entre a ODP e a anomalia de chuva com 95% do nível de confiança estatística é a partir do ciclo bianual, mas ela mostra uma evidente periodicidade no ciclo anual.

O ciclo de 22 anos, indiciou que as séries se moveram juntas nessa periodicidade, mas observou-se que antes e depois deste ciclo, a anomalia de chuva tende a liderar entre as séries. No ciclo de 11 anos, mostra fora de fase as séries e uma tendência de a ODP liderar entre elas, e isso ocorre também no ciclo entre 2 e 7 anos entre 1950 e 1960. Já entre 1990 e 2000 quem lidera é a anomalia de chuva e as séries se encontram em fase. E partir de 2010, a ODP está a frente da anomalia de chuva. No ciclo entre 1 e 2 anos, em boa parte do tempo ora se movem completamente juntas, ora se movem completamente opostas.

Figura 69 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 4 da Bacia do Rio São Francisco e a Oscilação Decenal do Pacífico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.



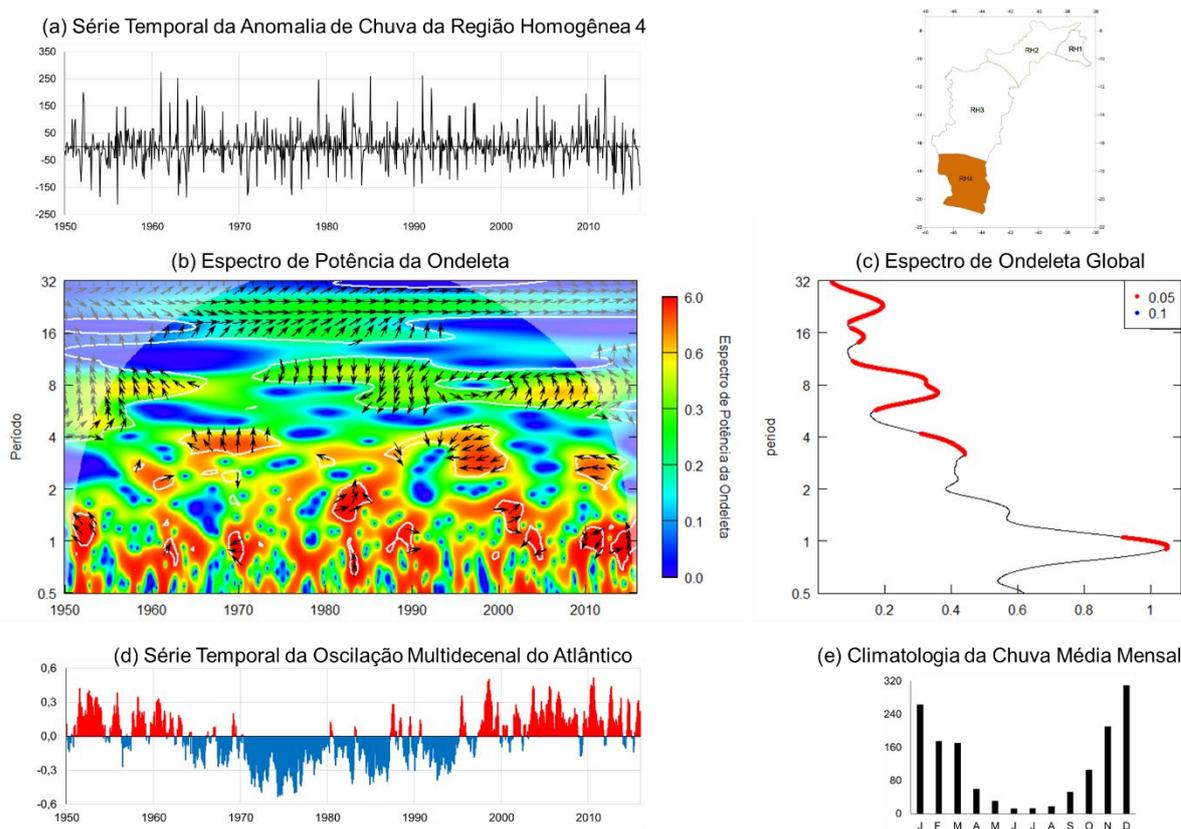
Fonte (do autor)

A Figura 70b,c também há uma semelhança entre a figura 68b,c nas periodicidades. No ciclo entre 16 e 32 anos as séries se moveram completamente

juntas, tendo correlação positiva perfeita. No ciclo entre 4 e 11 anos, observou-se que entre 1950 e 1960 o sinal entre as duas séries estão fora de fase e a OMA tende liderar, e entre 1970 e 2015 o sinal a liderar é a da anomalia de chuva.

No ciclo entre 2 e 4 anos, a partir de 1965 a OMA lidera e ao passar de 1970 a anomalia de chuva tem uma leve tendência a dominar entre as séries. Entre 1995 e 2000 e 2010 a 2015, elas tendem a moverem completamente opostas. Entre o ciclo anual e bianual, os núcleos se alternam entre as séries, mas o que lidera ao longo da série temporal é a OMA.

Figura 70 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 4 da Bacia do Rio São Francisco e a Oscilação Multidecenal do Atlântico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.



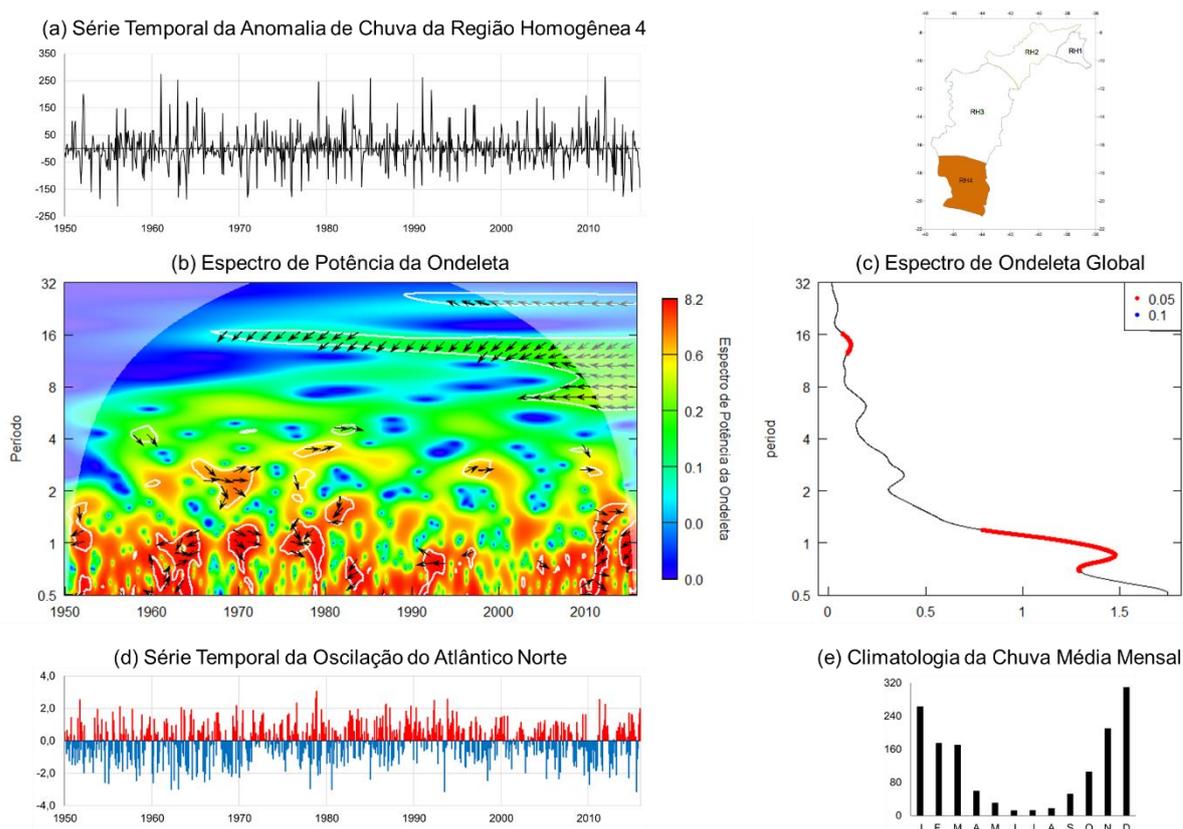
Fonte (do autor)

Na Figura 71b,c há periodicidade significativa de 1 e 16 anos. Observou-se que a partir de 1970 as séries estão fora de fase e a anomalia de chuva lidera no ciclo de 16 anos. Mas a partir de 2000 há outras interações de 7 e 11 anos que as séries se movem completamente opostas.

Notou-se que no ciclo de 2 anos, as séries se movem completamente opostas

ao longo do tempo. E foi notado também no ciclo intrasazonal e anual. Mas há períodos em que a anomalia de chuva lidera, 1960 a 1965, 1983 e 2014-2015.

Figura 71 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 4 da Bacia do Rio São Francisco e a Oscilação do Atlântico Norte e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.

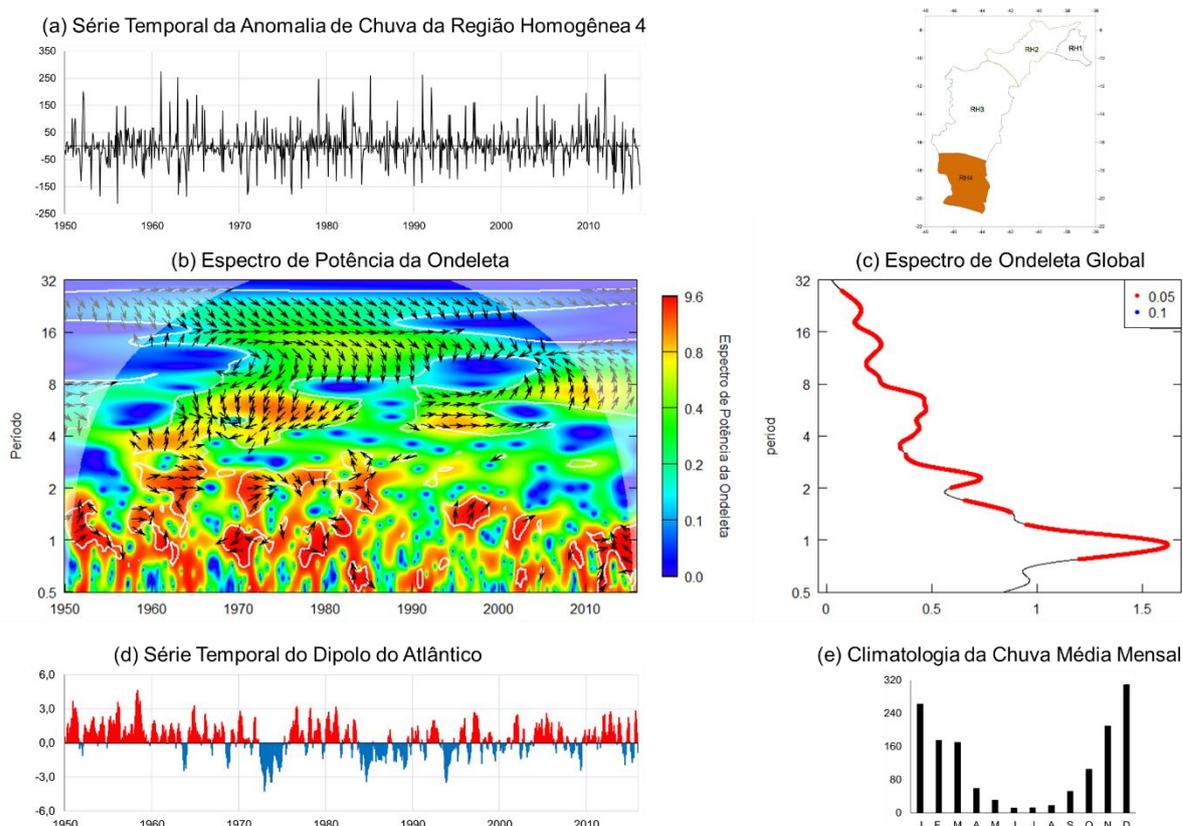


Fonte (do autor)

A Figura 72b,c exibiu uma interação maior entre os ciclos do que as figura 69 e 70. A de maior energia é a do ciclo anual, seguida da de 2, 7, 11 e 22 anos. No ciclo de 16 anos, as séries se movem completamente juntas e ciclos acima e abaixo de 16 anos, o DA lidera entre as séries. Entre 1960 e 1983, observou-se um núcleo em que a anomalia de chuva lidera, estão fora de fase no ciclo entre 4 e 8 anos, mas pode-se notar que entre 1990 e 2005 elas se movem completamente juntas, e após esse período a anomalia de chuva lidera entre as séries e estão em fase.

No ciclo entre o bianual e o quadrienal, há uma correlação perfeita positiva, principalmente entre 1960 e 1970, mas há períodos em que a anomalia de chuva lidera entre as séries – 1952, 1984, 1995-2000 e 2012.

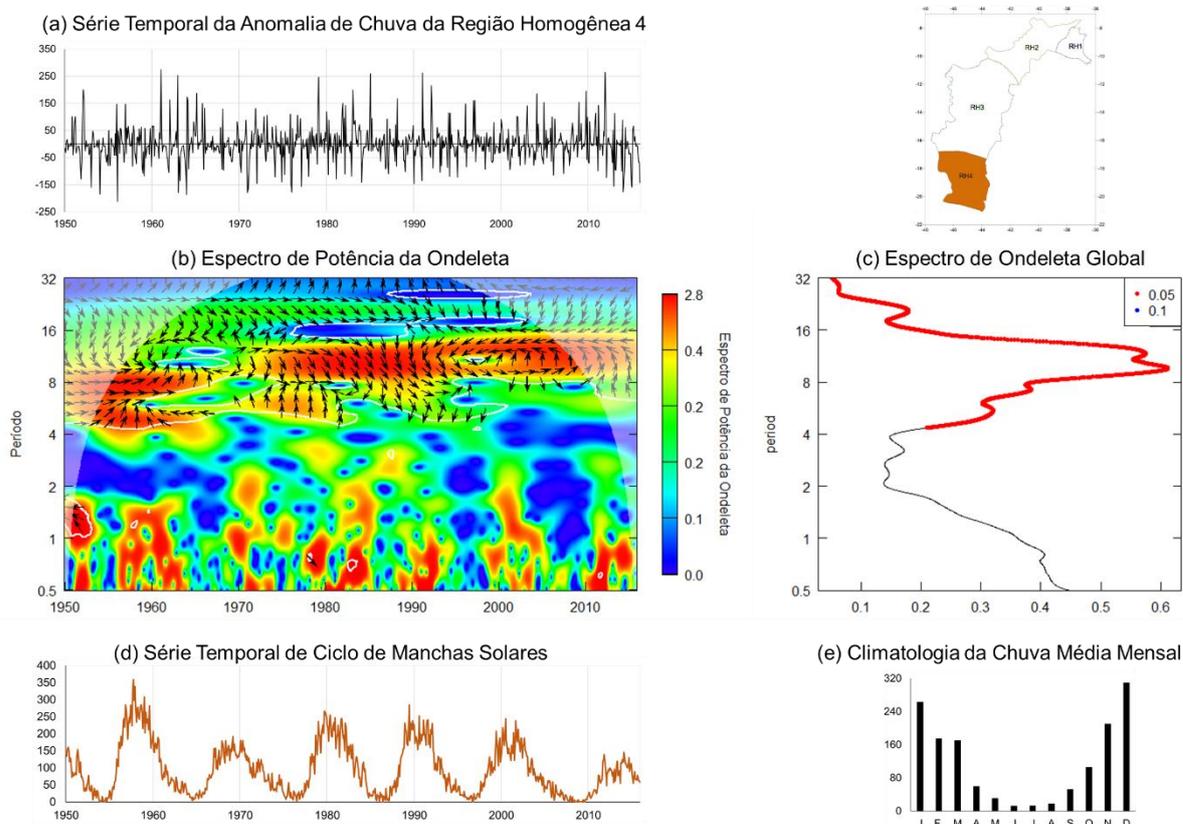
Figura 72 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 4 da Bacia do Rio São Francisco e o Dipolo do Atlântico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.



Fonte (do autor)

Para essa RH, houve maior interação entre os ciclos de 4 a 22 anos na relação entre CMS e a anomalia de chuva, Figura 73b,c. Entre 4 e 8 anos, as séries se moveram completamente juntas, enquanto a de 8 e 16 anos (1970 e 1990), a série a dominar é o CMS. No ciclo de 11 anos a partir do ano 2000, elas se movem completamente opostas. No início de 1950 observou-se um núcleo entre o ciclo anual e bianual que o CMS e a anomalia de chuva estão fora de fase e o CMS lidera entre elas.

Figura 73 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 4 da Bacia do Rio São Francisco e o Ciclo de Manchas Solares e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.



Fonte (do autor)

6. AVALIAÇÃO DOS MODELOS ARIMA E REDES NEURAS ARTIFICIAIS PARA PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DAS CHUVAS NAS BACIAS DO SÃO FRANCISCO E GRANDE

6.1. Análise da modelagem com ARIMA para os dados dos rios São Francisco e Grande.

Para determinar se o modelo de ARIMA atende aos pré-requisitos das análises utilizou-se as funções do qui-quadrado de Ljung-Box e a função de autocorrelação dos resíduos. Com esses testes é possível determinar se o modelo ARIMA satisfaz a hipótese e se os resíduos podem ser independentes. Em outro caso se a hipótese não for atendida, o modelo não pode se ajustar aos dados e os resultados podem não ser satisfatórios.

Observou-se que, no resumo a seguir para os dados do rio São Francisco, o p-value ficou próximo ao valor de 0,05 indicando que os resíduos das variáveis são

independentes e que o modelo atendeu à suposição. Porém, esse resultado tem que ser visto com calma uma vez que o p-value não superou bem o valor de 0,05. Mostrando que uma análise mais profunda se faz necessária.

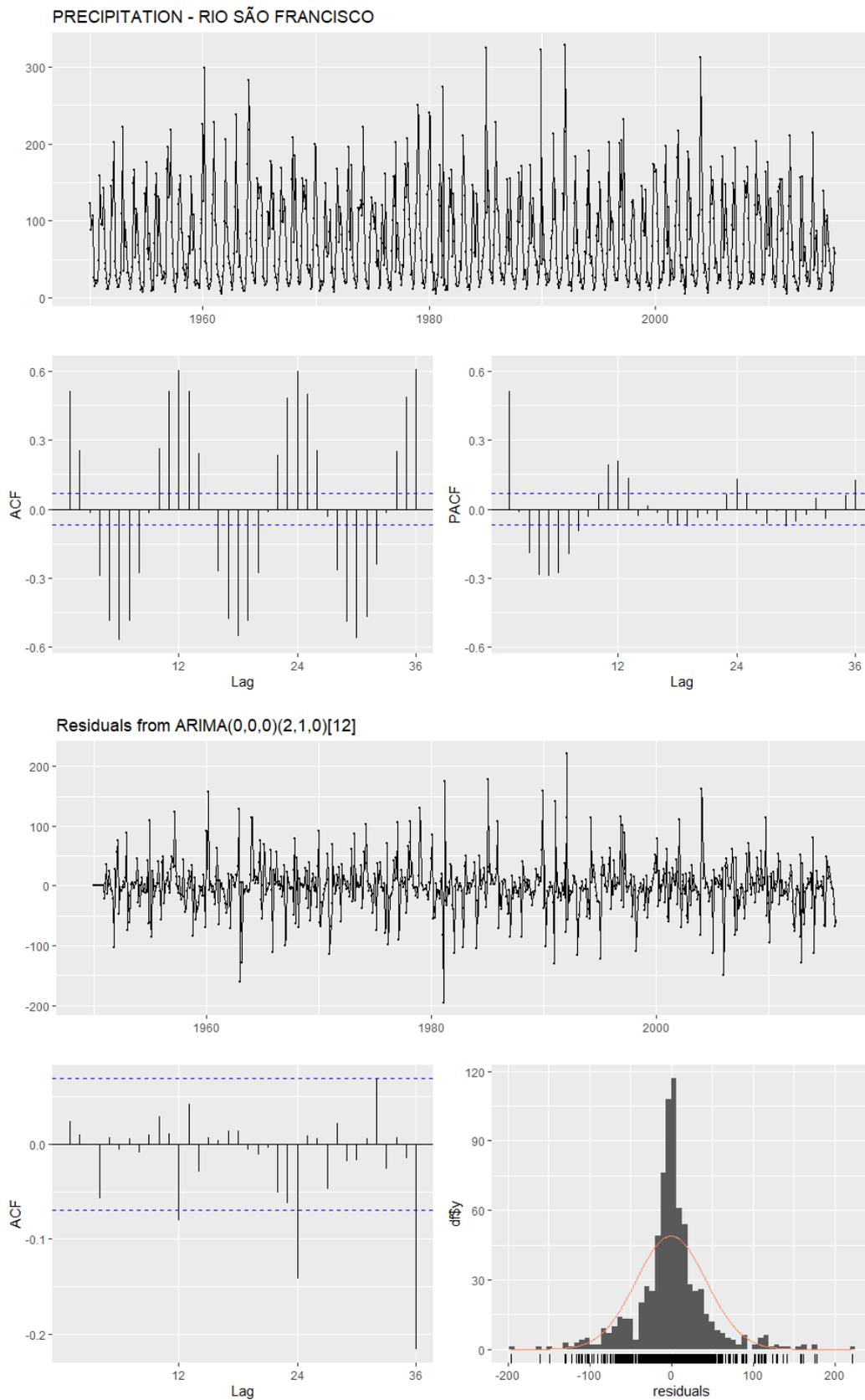
Resumo para o os dados do rio São Francisco	
ARIMA (0,0,0) (2,1,0) [12]	
Coefficients:	
sar1	sar2
-0.6820	-0.3677
s.e. 0.0335	0.0335
sigma^2 estimated as 1855: log likelihood=-4044.24	
AIC = 8094.49 AICc = 8094.52 BIC = 8108.47	
Ljung-Box test	
data: Residuals from ARIMA (0,0,0) (2,1,0) [12]	
Q* = 33.99, df = 22, p-value = 0.04924	
Model df: 2. Total lags used: 24	

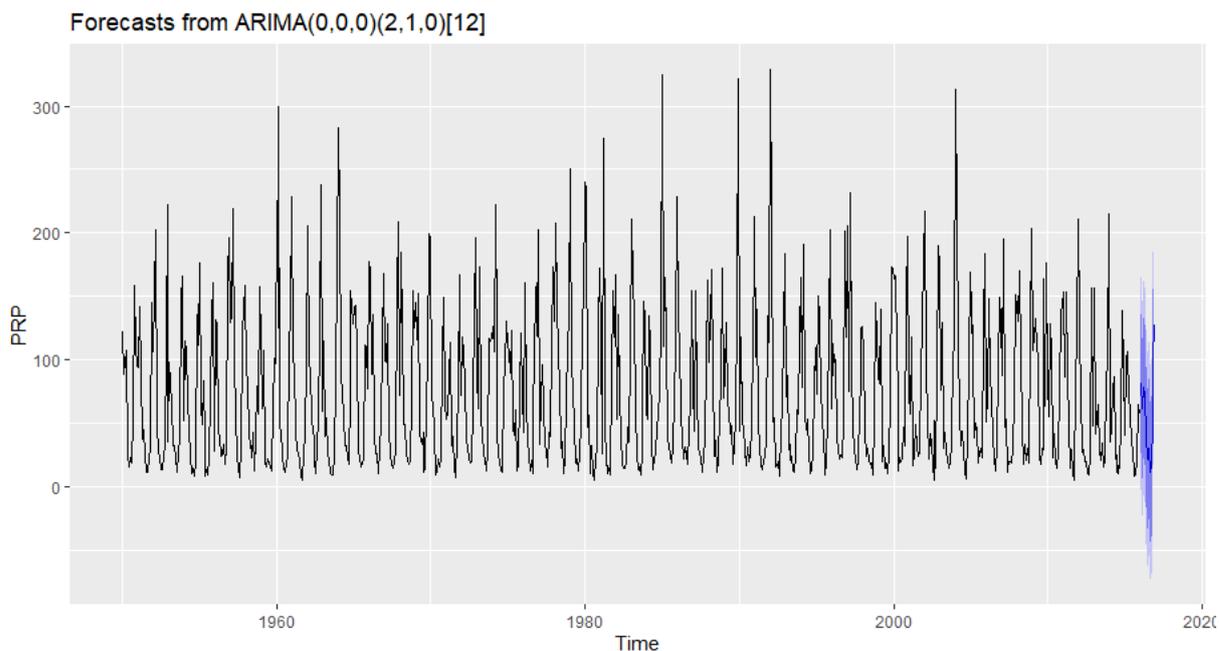
A Figura 74 mostrou a análise dos lags e resíduos dos dados de precipitação do rio São Francisco para o modelo ARIMA. Observou-se que não houver correlações direta e sem lags significativas presentes na análise, sendo possível concluir que os resíduos da série original são independentes.

No entanto, é possível ver 1 ou 2 correlações significativas em lags de ordem superior que, na verdade, não são lags relacionados a sazonalidade dos dados. Em geral, em vez disso, estas correlações são causadas por erro aleatório e não são um sinal de que a suposição não é atendida. Neste caso, é possível concluir que os resíduos são independentes.

Em suma, não foi possível identificar uma possível relação nos dados utilizando apenas uma autorregressão baseada nas médias móveis dos dados de precipitação do rio São Francisco. Esse fato demonstra que existem outros fatores que podem influenciar no comportamento da série temporal. Não podendo identificar uma relação direta de causa e efeito.

Figura 74 – Análise dos lags e resíduos dos dados de precipitação do rio São Francisco para o modelo ARIMA em (a). Previsão elaborada com os resultados do modelo ARIMA em (b).





(b)

Fonte (do autor)

A Figura 75 mostrou a análise dos lags e resíduos dos dados de precipitação do Rio Grande para o modelo ARIMA. Analisando os dados e informação com aplicação do modelo autorregressivo, chegaram-se as mesmas conclusões observadas na análise para o rio São Francisco. Isto é, o modelo ARIMA não conseguiu observar uma relação. Por tanto, não conseguiu prever bem a serie temporal.

Resumo para o os dados do rio Grande

ARIMA(0,0,1)(2,1,0)[12] with drift

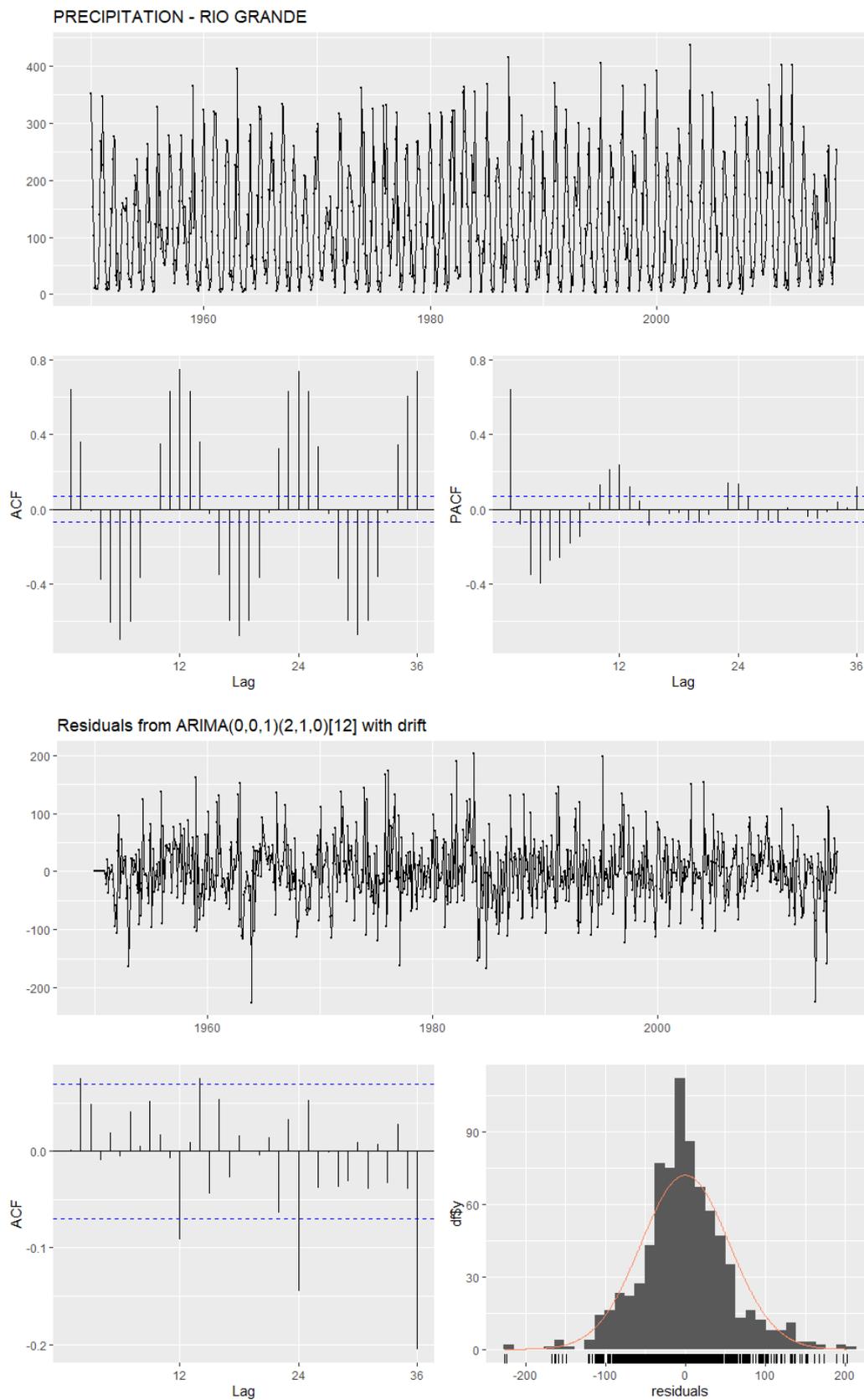
Coefficients:

	ma1	sar1	sar2	drift
	0.0097	-0.6767	-0.3549	-0.0093
s.e.	0.0337	0.0336	0.0337	0.0834

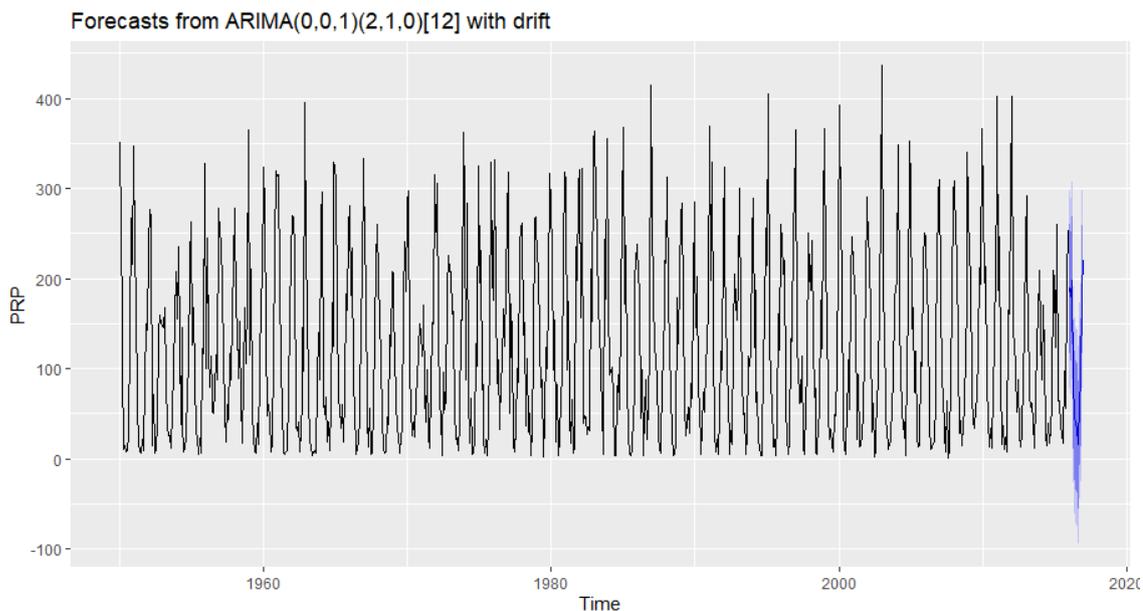
sigma² estimated as 3114: log likelihood=-4245.15

AIC=8500.29 AICC=8500.37 BIC=8523.59

Figura 75 – Análise dos lags e resíduos dos dados de precipitação do rio Grande para o modelo ARIMA em (a). Previsão elaborada com os resultados do modelo ARIMA em (b).



(a)



(b)

Fonte (do autor)

6.2. Análise da modelagem com Redes Neurais para os dados dos rios São Francisco e Grande.

As Figura 76 e Figura 77 mostraram as análises dos lags e resíduos dos dados de precipitação para o modelo de redes neurais artificiais em (a) e para previsão elaborada com os resultados do modelo de redes neurais artificiais em (b) para as bacias dos rios São Francisco e Grande, respectivamente.

Resumo para o os dados do rio São Francisco

Series: PRP

Model: NNAR(25,1,13)[12]

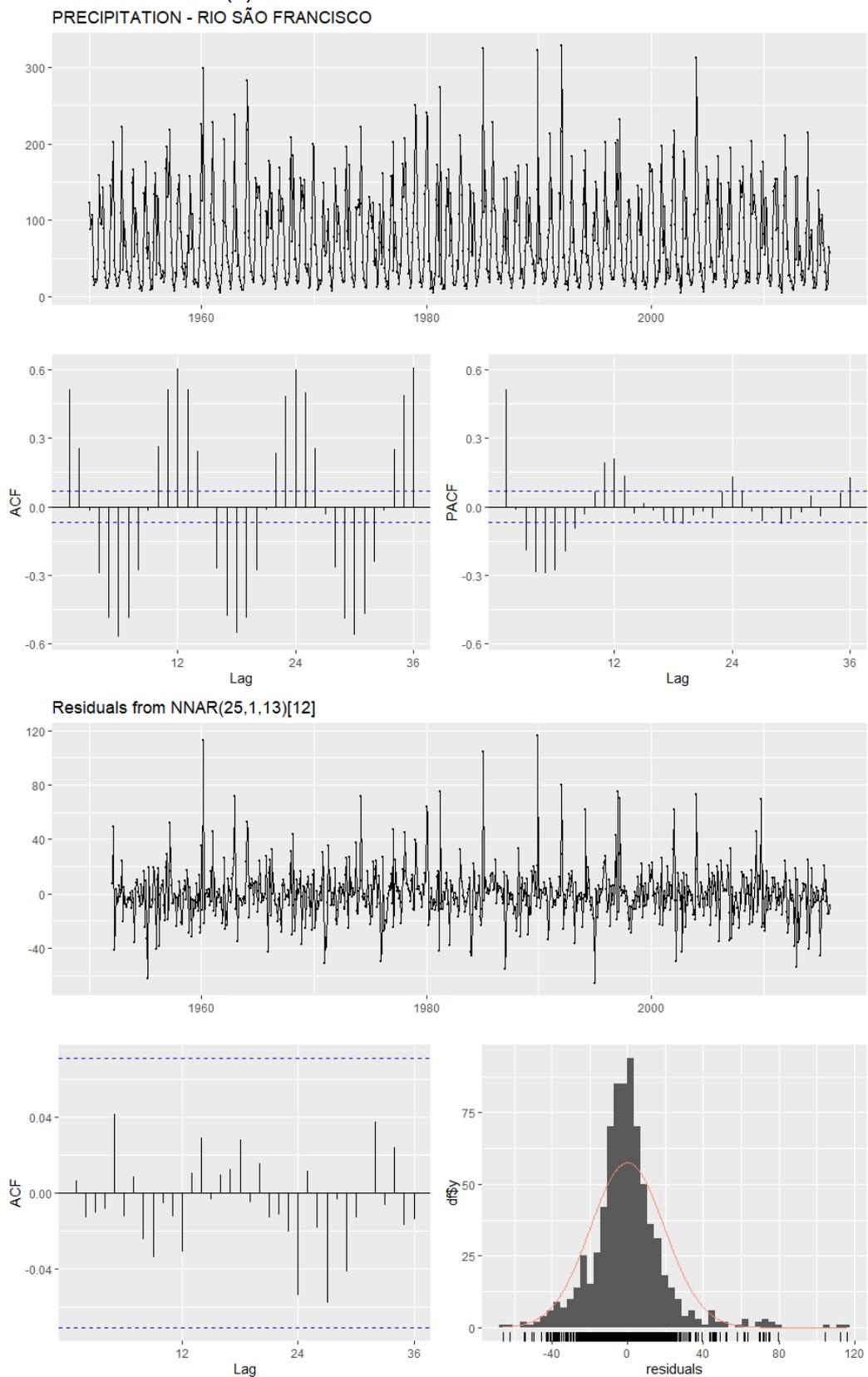
Call: nnetar(y = PRP, decay = 0.5, maxit = 150)

Average of 20 networks, each of which is
a 25-13-1 network with 352 weights
options were - linear output units decay=0.5

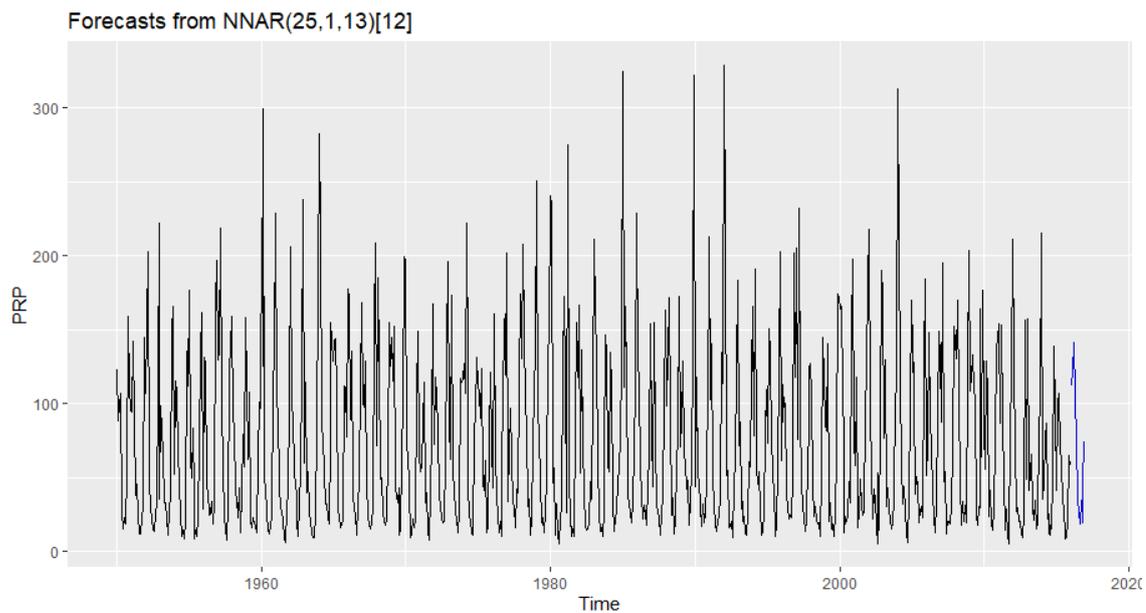
sigma² estimated as 382.7

Apesar dos resultados das previsões obtidos serem melhores o modelo ARIMA, o modelo das redes neurais artificiais não observou uma relação de causa e efeito nos dados de precipitações nas bacias hidrográficas. Sendo assim, não conseguiu prever bem a serie temporal. Mas, foi melhor que a metodologia do ARIMA.

Figura 76 – Análise dos lags e resíduos dos dados de precipitação do rio São Francisco para o modelo de redes neurais artificiais em (a). Previsão elaborada com os resultados do modelo de redes neurais artificiais (b).



(a)



(b)
Fonte (do autor)

Resumo para o os dados do rio Grande

Series: PRP

Model: NNAR(25,1,13)[12]

Call: nnetar(y = PRP, decay = 0.5, maxit = 150)

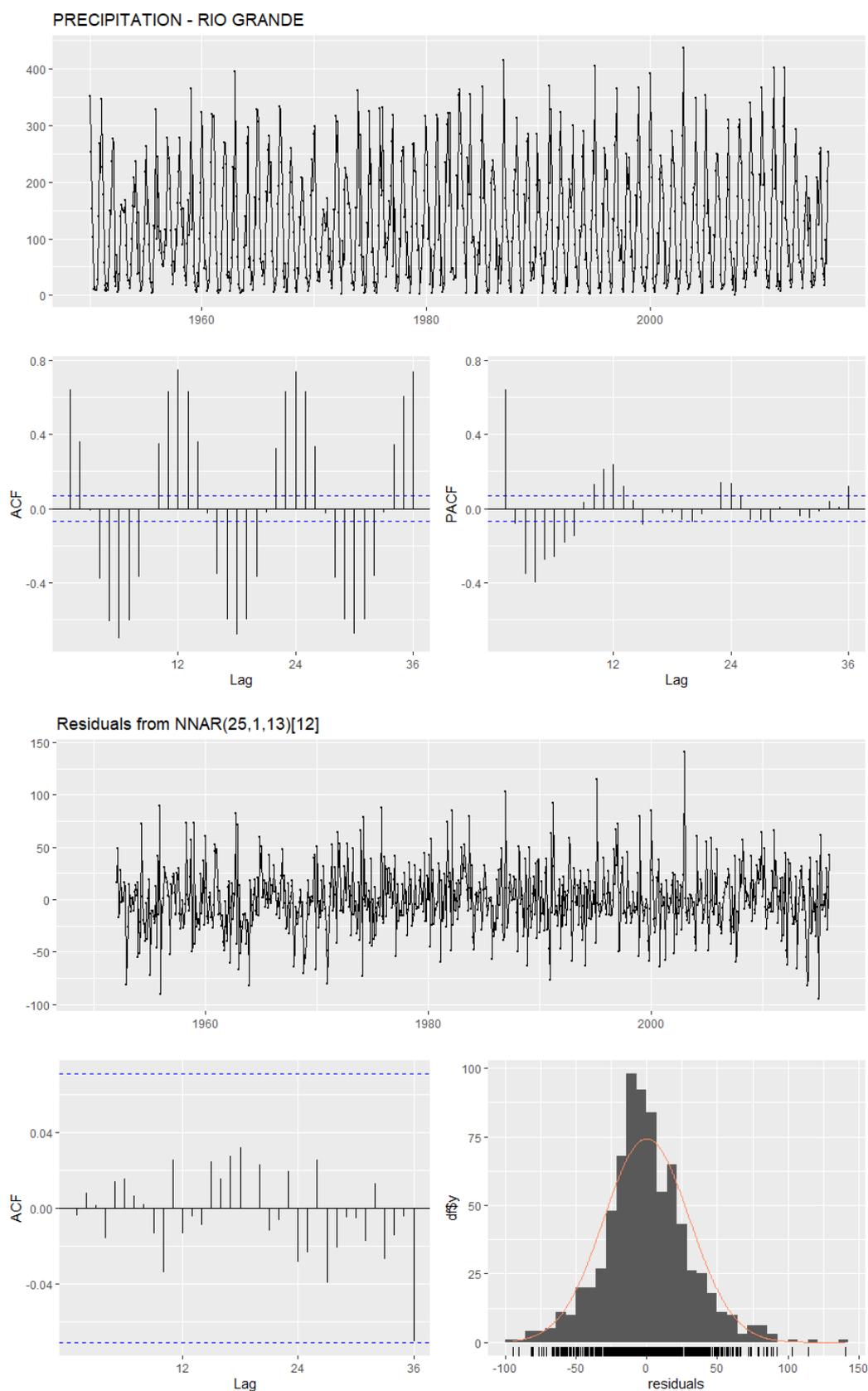
Average of 20 networks, each of which is

a 25-13-1 network with 352 weights

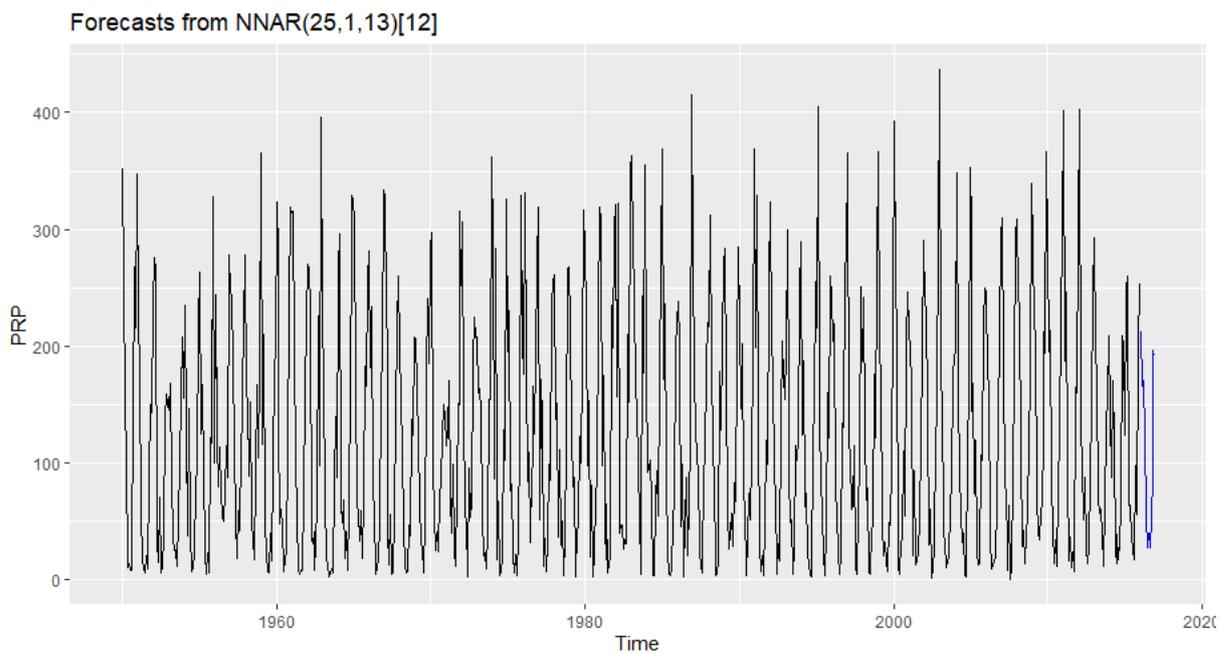
options were - linear output units decay=0.5

sigma² estimated as 921.5

Figura 77 – Análise dos lags e resíduos dos dados de precipitação do rio Grande para o modelo de redes neurais artificiais em (a). Previsão elaborada com os resultados do modelo de redes neurais artificiais bem (b).



(a)



(b)
Fonte (do autor)

Apesar dos modelos ARIMA e das redes neurais artificiais não terem mostrado bons resultados, estudos posteriores podem ser feitos para a melhor calibragem das redes neurais. Também um melhor levantamento das informações de precipitação e suas relações temporais, atrasos ou adiantamentos das relações com os índices meteorológicos e climáticos, pode ajudar a melhorar os resultados.

7. CONCLUSÕES

Por isso tudo vimos que as Bacias do Rio Grande e do Rio São Francisco são importantes para o Brasil, pelo seu potencial hidrelétrico e hidrológico para essas regiões. Levando-se em consideração esses aspectos, pode-se observar a heterogeneidade das chuvas nesse período de 65 anos de dados para as Bacias Hidrográficas do Rio São Francisco e Rio Grande, para 199 e 174 estações, respectivamente, filtradas para ter os melhores dados de chuva possíveis.

Dessa forma foi possível analisar o comportamento da precipitação, que a Bacia do Rio grande não há muita variação de precipitação em toda extensão da bacia, apresentou um padrão ao longo da série, há uma flutuabilidade de episódio de eventos extremos, os resultados dos cinco fatores comuns explicaram 91,46% da variância total dos dados dos 174 postos pluviométricos e as suas maiores contribuições através dos componentes principais ficaram no leste da bacia, superiores a 0,78.

Na ondeleta cruzada o ciclo mais marcante foi o anual, embora ciclo acima disso teve um nível de significância. Exceto entre o Índice Oceânico de Niños que foi o bianual mais acentuado e o Ciclo de Manchas Solares foi o de 11 anos. E os índices climáticos que mostraram mais relação em toda serie temporal foi o Índice Oceânico de Niños e Dipolo do Atlântico. E para a bacia do Rio São Francisco, ressaltou que há variabilidade na precipitação, que o Índice de Precipitação Padronizada mostrou bem essa variação de eventos extremos ao longo do ano e do tempo.

A distribuição espacial de precipitação diferencia-se em toda a extensão, no centro-sul da bacia com chuvas acima de 1.000mm e norte chuvas abaixo de 600mm. Através dos fatores, foi possível analisar a diferença entre as estações seca e chuvosa. Os resultados dos 4 primeiros fatores foram mais expressivos, 87,41% da variância total da chuva média mensal dos 199 postos pluviométricos, observou-se que as maiores contribuições do primeiro fator foram superiores a 0,8 na região central da bacia. Para análise de ondeleta cruzada, teve uma resposta semelhante a Bacia do Rio Grande, destaca-se o ciclo anual em quase todas, exceto para o Índice Oceânico de Niños e o Ciclo de Manchas Solares e os mais relacionados, também, foi o Índice Oceânico de Niños e Dipolo do Atlântico.

Ou seja, para ambas as Bacias Hidrográficas a análise de ondeletas cruzadas indicou que os índices climáticos do oceano impactam a precipitação anual. Há um

impacto significativo acima do ciclo de 2 anos. O espectro de energia entre o Oceano Atlântico e os índices do Oceano Pacífico indicou que o Índice do Oceano Niño e o Dipolo Atlântico apresentaram a maior correlação com a anomalia média mensal de precipitação entre as Bacias.

Pela observação dos aspectos analisados fizeram a previsão numérica de tempo, embora os resultados com Redes Neurais Artificiais foram independentes ele ainda está simples e inicial. Notou-se que, há de se fazer uma melhoria e ajuste no modelo incluindo mais variáveis e maior tempo de treinamento para verificar a dependência entre a chuva e os Índices Climáticos para as Bacias do Rio Grande e do Rio São Francisco.

7.1. Sugestões para Trabalhos Futuros

Embora os resultados com Redes Neurais Artificiais foram independentes ele ainda está simples e inicial, portanto, há de se fazer uma melhoria e ajuste no modelo incluindo mais variáveis e maior tempo de treinamento para verificar a dependência entre a chuva e os Índices Climáticos para as Bacias do Rio Grande e do Rio São Francisco.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, M. F., SOUZA, E. B., OLIVEIRA, M. C. F., SOUZA JÚNIOR, J. A. **Precipitação nas mesorregiões do Estado do Pará: climatologia, variabilidade e tendências nas últimas décadas (1978-2008)**. Revista Brasileira de Climatologia, v. 6, n. 6, p. 151-168, 2010.
- AMBRIZZI, T., DE SOUZA, E. B., PULWARTY, R. S. **The Hadley and Walker regional circulations and associated ENSO impacts on South American seasonal rainfall. In: The Hadley circulation: present, past and future**. Springer, Dordrecht, 2004. p. 203-235.
- ANA – Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil - Informe 2019. 2020.** Disponível em: <http://www3.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>
- ANA - Agência Nacional de Águas. **Região Hidrográfica Amazônica: A maior do mundo em disponibilidade de água.** Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/amazonica.aspx>>. Acesso em 21/01/2019
- ANA - Agência Nacional de Águas. **Região Hidrográfica do Paraná: A maior demanda por recursos hídricos do País.** Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/parana.aspx>>. Acesso em 21/01/2019
- ANA - Agência Nacional de Águas. **Região Hidrográfica do São Francisco: Águas que contribuem para o desenvolvimento de 521 municípios.** Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/SaoFrancisco.aspx>>. Acesso em 21/01/2019.
- ANDRÉ, I. R. N.; FERREIRA, N. J., CONFORTE, J. C. **Ciclo anual do ozônio estratosférico na América do Sul e vizinhanças e sua variabilidade interanual**. Geografia (Rio Claro), v. 31, p. 359-370, 2006.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). 153 p;. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil / Agência Nacional de Energia Elétrica - Brasília.** 2002.
- ANOCHI, J. A., VELHO, H. F. d. C. **Previsão Climática de Precipitação para a Região Sul por Rede Neural Autoconfigurada**. Ciência e Natura, v. 38, n. July, p. 98, 2016.
- ARPA - Agência Regional de Proteção Ambiental da Bacia do Rio Grande. **BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GRANDE.** Disponível em: <https://arpariogrande.org.br/>

- AUTH, C. **Continuous Wavelet Transform and Wavelet Coherence – Implementation and Application to the Diversification Analysis of Hedge Fund Returns**. 2013.
- BARNSTON, A. **Why are there so many ENSO indexes, instead of just one?** NOAA Climate. gov, 2015.
- BARRY, R. G., CHORLEY, R. J. **Atmosfera, Tempo e Clima**. 9ª edição. Porto Alegre, RS. Editora Bookman, 2013.
- BATISTA, A. L. F. **Modelos de series temporais e redes neurais artificiais na previsão de vazão**. Mestrado em engenharia de sistemas, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais. 79p. 2009.
- BELLPRAT, O., LOTT, F. C., GULIZIA, C., PARKER, H. R., PAMPUCH, L. A., PINTO, I., CIAVARELLA, A., STOTT, P. A. **Unusual past dry and wet rainy seasons over Southern Africa and South America from a climate perspective**. Weather and Climate Extremes. v. 9, p. 36–46. 2015.
- BIERKENS, M.F.P., DOLMAN, A.J., TROCH P.A. 2008. Editors: **Climate and the Hydrological Cycle**, IAHS Special Publication 8.
- BLAIN, G. C., KAYANO, M. T. **118 anos de dados mensais do Índice Padronizado de Precipitação: série meteorológica de Campinas, Estado de São Paulo**. Revista Brasileira de Meteorologia (Impresso), v. 26, p. 137-148, 2011.
- BLAIN, G. C., PEZZOPANE, J. R., PEZZOPANE, J. E., BONOMO, R. **Índice padronizado de precipitação aplicado às condições de seca no Estado do Espírito Santo**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 14, n. 10, p. 1067-1073, 2010.
- BOLZAN, M. J. A. **Análise da transformada em ondeletas aplicada em sinal geofísico**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 26, n. 1, p. 37-41, 2004.
- BOLZAN, M. J. A. **Transformada em ondeleta: uma necessidade**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 28, n. 4, p. 563-567, 2006.
- CALISTO ACOSTA, O. E. **Informação hidrometeorológica na regulação do setor elétrico brasileiro: indicadores de avaliação de disponibilidade hídrica**. 2014. 71 f. Relatório Final de Projeto de Pesquisa de Pós-Doutorado (Programa de Pós-Doutorado em Ciências Atmosféricas) – Departamento de Ciências Atmosféricas, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

- CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais S.A. **Bacia do Rio Grande**. Disponível em: http://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/sustentabilidade/nossos_programas/ambientais/peixe_vivo/Paginas/rio_grande.aspx
- CHAHINE, M. T. **The hydrological cycle and its influence on climate**. Nature, v. 359, n. 6394, p. 373-380, 1992.
- CLARK R. T. **Statistical Modelling in Hydrology**. Wiley, Chichester, 412 pp.
- COELHO, C. A. S., OLIVEIRA, C. P., AMBRIZZI, T., REBOITA, M. S., CARPENEDO, C. B., CAMPOS, J. L. P. S., TOMAZIELLO, A. C. N., PAMPUCH, L. A., CUSTÓDIO, M. S., DUTRA, L. M. M., ROCHA, R. P., REHBEIN, A. **The 2014 southeast Brazil austral summer drought: regional scale mechanisms and teleconnections**. Climate Dynamics, v. 45, p. 1/2800, 2015.
- COELHO, C. A. S.; AMBRIZZI, T. **Determinação dos padrões de precipitação sobre a América do Sul em associação a TSM da bacia do Pacífico equatorial durante períodos extremos de ENOS através da utilização de técnicas estatísticas multivariadas**. In: XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2000, Rio de Janeiro. CD ROM do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia - Comitê de Climatologia, 2000.
- COGHLAN, A. **A Little Book of R for Time Series, Release 0.2**. 2018.
- COLLISCHONN, Walter; TASSI, R. **Introduzindo Hidrologia**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), UFRGS, 2009, Porto Alegre, RS.
- CORRÊA, M. F., LACHTERMACHER, G., MACHADO, M. A. S. **Introdução de Redes Neurais em modelos de Médias Móveis na Previsão de Preços**. Revista Resenha BM&F Brasil, São Paulo, p. 89 - 97, 30 abr. 2005.
- DANTAS, D., LUZ, T. M. O., SOUZA, M. J. H., BARBOSA, G. P., CUNHA, E. G. S. **Uso de Redes Neurais Artificiais na previsão da precipitação de períodos chuvosos**. Revista Espinhaço, 5:11-18. 2016
- DE MELO, J. C. **O fenômeno El Niño e as secas no Nordeste do Brasil**. Raízes, (SI), ano XVIII, n. 20, p. 13-42, 1999.
- de MIRANDA, P. M. A. **Meteorologia e ambiente: fundamentos de meteorologia, clima e ambiente**. Universidade Aberta. 2ª edição, p. 357. 2009.
- DE OLIVEIRA, M. R. P., GALVANI, E. **Eventos Extremos de Precipitação no Perfil Longitudinal Paraty (RJ)-Campos do Jordão (SP)**. Revista do

Departamento de Geografia, p. 58-66, 2017.

- de OLIVEIRA, R. F., ZOLIN, C., TORRES, R., LOPES, T. (2016). **Modelagem hidrológica utilizando o modelo de grandes bacias MGB-IPH: estudo de caso da bacia hidrográfica do alto Teles Pires**. In Embrapa Agrossilvipastori I- Artigo em anais de congresso (ALICE). In: SEMINÁRIO DA REDE AGROHIDRO, 4., 2016, Brasília, DF. Água e agricultura: incertezas e desafios para a sustentabilidade frente às mudanças do clima e do uso da terra: anais. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2016. p. 168-174.
- DEVIA, G. K., GANASRI, B. P., DWARAKISH, G. S. **A review on hydrological models**. Aquatic Procedia, v. 4, p. 1001-1007, 2015.
- ECHER, E., RIGOZO, N. R., NORDEMANN, D. J. R., VIEIRA, L. E. A., PRESTES, A., FARIA, H. H. **O Número de Manchas Solares, Índice da Atividade do Sol**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 25, n. 2, p. 157, 2003.
- EDO - European Drought Observatory. **Standardized Precipitation Index (SPI)**. Copernicus European Drought Observatory (EDO): <https://edo.jrc.ec.europa.eu/>. Acesso em 20 de julho de 2020.
- ESRL - Earth System Research Laboratory. **Multivariate ENSO Index Version 2 (MEI. v2)**. Disponível em: <<https://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/>>. Acesso em 03 de março de 2020.
- FARGE, M. **Wavelet transforms and their applications to turbulence**. Annual review of fluid mechanics, v. 24, n. 1, p. 395-458, 1992.
- FERREIRA, D. F. **Estatística Multivariada**. 676p. 2. ed. rev. e ampl. - Lavras: Ed. UFLA, 2011
- FERREIRA, S. P. **Estudo Comparativo do Pós-Processamento Estatístico Aplicado ao Modelo BRAMS**. 151 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre – RS. 2011.
- FRAJKA-WILLIAMS, E., BEAULIEU, C., DUCHEZ, A. **Emerging negative Atlantic Multidecadal Oscillation index in spite of warm subtropics**. Scientific Reports, v. 7, n. 1, p. 1-8, 2017.
- GALVÃO, J., BERMANN, C. **Crise hídrica e energia: conflitos no uso múltiplo das águas**. Estudos avançados, v. 29, n. 84, p. 43-68, 2015.
- GGWS - Golden Gate Weather Services. **El Niño and La Niña Years and Intensities**. Disponível em: <<https://ggweather.com/enso/oni.htm>>. Acesso em 12 de julho de 2020.

- GIMENO, L., STOHL, A., TRIGO, R. M., DOMINGUEZ, F., YOSHIMURA, K., YU, L., DRUMOND, A., DURÁN-QUESADA, A. M., NIETO, R. **Oceanic and terrestrial sources of continental precipitation**. *Reviews of Geophysics*, v. 50, n. 4, 2012.
- GLANTZ, M. H., RAMIREZ, I, J. **Reviewing the Oceanic Nino Index (ONI) to Enhance Societal Readiness for El Nino's Impacts**. *INTERNATIONAL JOURNAL OF DISASTER RISK SCIENCE*, 2020.
- GRIMM, A. M., AMBRIZZI, T. **Teleconnections into South America from the tropics and extratropics on interannual and intraseasonal timescales**. In: **Past climate variability in South America and surrounding regions**. Springer, Dordrecht, 2009. p. 159-191.
- GÜNTHER, F., FRITSCH, S. **neuralnet: Training of neural networks**. *The R journal*, v. 2, n. 1, p. 30-38, 2010.
- HANIFF, N. M., MASIH, M. **Shariah stocks as an inflation hedge in Malaysia**. 2016.
- HAYKIN, S. (1998). **Neural networks principles and practices**, 2o edn. Prentice Hall, Canada.
- HERMUCHE, P. M. O RIO SÃO FRANCISCO. Brasília: Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba, 2002.
- HSU, K., SOROOSHIAN, S. **Satellite-Based Precipitation Measurement Using PERSIANN System**. In: *Hydrological Modelling and the Water Cycle*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2009. p. 27-48.
- IMARPE - Instituto do Mar do Peru. **Índice Niño Oceánico (ONI)**. Disponível em: <http://www.imarpe.gob.pe/imarpe/index.php?id_seccion=1017809050000000000000>. Acesso em 30 de dezembro de 2020.
- JENKINS, H. S., BAKER, P. A., NEGRÓN-JUÁREZ, R. I. **Eventos extremos de seca na Amazônia dois revelados pelos registros de anéis de árvores**. Capítulo 2. Disponível em: <https://s3-sa-east1.amazonaws.com/ofitexto_arquivos/Secas_DEGUS.pdf>. Acesso em 22 de junho de 2016.
- JONES C, CARVALHO L. **The influence of the Atlantic multidecadal oscillation on the eastern Andes low-level jet and precipitation in South America**. *npj Climate and Atmospheric Science* 2018; 1:40.
- KARAMOUZ, M., NAZIF, S., FALAHI, M. **Hydrology and Hydroclimatology: Principles and Applications**. CRC Press, New York, 731 pp, 2013.

- LASSEN, K., FRIIS-CHRISTENSEN, E. **Variability of the solar cycle length during the past five centuries and the apparent association with terrestrial climate**. Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics, v. 57, n. 8, p. 835-845, 1995.
- LIMA, W. P. **Hidrologia Florestal Aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas**. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Departamento de Ciências Florestais. Piracicaba, SP, 2008.
- LIMA, W. de P. **Análise física da bacia hidrográfica**. In LIMA, Walter de Paula. Introdução ao manejo de bacias hidrográficas. Piracicaba:ESALQ, 1996. p.49-66.
- LUIZ SILVA, W., NASCIMENTO, M. X., MENEZES, W. F. **Atmospheric Blocking in the South Atlantic during the Summer 2014: A Synoptic Analysis of the Phenomenon**. Atmospheric and Climate Science (Online). v. 05, p. 386-393, 2015.
- MARENGO, J. A. **Impactos de extremos relacionados com o tempo e o clima—Impactos sociais e econômicos**. Boletim do Grupo de Pesquisa em Mudanças Climáticas—GPMC, Edição Especial, 2009.
- MARENGO, J. A., NOBRE, C., SELUCHI, M., CUARTAS, A., ALVES, L. M., MENDIONDO, E. M., OBREGON, G., SAMPAIO, G. **A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo**. Revista USP, São Paulo, p. 31 - 44.
- MCKEE, T. B., DOESKEN, N. J., & KLEIST, J. **"The relationship of drought frequency and duration to time scales."** Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology. Vol. 17. No. 22. 1993.
- MOLION, L. C. B. e BERNARDO, S. de O. **Dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro**. Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia (CD-Rom). 2000.
- MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O de, OLIVEIRA, C. P. de. **Variabilidade da Circulação de Grande Escala Sobre o Atlântico Subtropical**. In: XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2004, Fortaleza. Anais do XIII CBMET. Rio de Janeiro, RJ: SBMET, 2004.
- MOLION, L.C.B. **Aquecimento global, El Niños, Manchas Solares, Vulcões e Oscilação Decadal do Pacífico**. CLIMANALISE, 2005.
- MORADKHANI, H., SOROOSHIAN, S. **General Review of Rainfall-Runoff Modeling: Model Calibration, Data Assimilation, and Uncertainty Analysis**. In: Hydrological Modelling and the Water Cycle. Springer, Berlin, Heidelberg, 2009. p. 1-24.

- MORIOKA, Y., TOZUKA, T.,; YAMAGATA, T. **On the growth and decay of the subtropical dipole mode in the South Atlantic**. *Journal of Climate*, v. 24, n. 21, p. 5538-5554, 2011.
- MORLET, G. A., FOURGEAU, I., GIARD, D. **Wave Propagation and Sampling Theory. Part 1: Complex Signal and Scattering in Multilayered Media**. *Geophysics*, v. 47, n 2, p. 203-221, 1982 a.
- NCAR - National Center for Atmospheric Research. **Multivariate ENSO Index**. Acesso em: 03 de março de 2020. <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/multivariate-enso-index>
- NCAR/UCAR - National Center for Atmospheric Research/University Corporation for Atmospheric Research. **The Climate Data Guide: Overview: Climate Indices**. Disponível em: <<https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/overview-climate-indices>>. Acesso em 30 de dezembro de 2020.
- NNAMCHI, H. C., LI, J. **Influence of the South Atlantic Ocean dipole on West African summer precipitation**. *Journal of climate*, v. 24, n. 4, p. 1184-1197, 2011.
- NNAMCHI, H. C., LI, J., ANYADIKE, R, N, C. **Does a dipole mode really exist in the South Atlantic Ocean?** *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, v. 116, n. D15, 2011.
- NOBRE, C.A., MARENGO, J.A., SELUCHI, M.E., CUARTAS, L.A., ALVES, L.M. (2016) **Some Characteristics and Impacts of the Drought and Water Crisis in Southeastern Brazil during 2014 and 2015**. *Journal of Water Resource and Protection*, 8, 252-262. <http://dx.doi.org/10.4236/jwarp.2016.82022>
- ODA, T. O. **Análise da variabilidade interanual da ressurgência costeira de Cabo Frio através de ondeletas cruzadas (cross wavelets)**. In: XV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2010, Belém - PA. Anais do XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2010.
- PEDROSA, B., CÂMARA, G. **Introdução à Modelagem Dinâmica Espacial – Capítulo 1: Modelagem Dinâmica: Conceitos Básicos e Exemplos de Sistemas**. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/cursos/tutoriais/modelagem/>> Acesso em: 05 de agosto de 2019.
- PEIXOTO, J. P., OORT, A. H. **Physics of Climate**. American Institute of Physics, p. 520. 1992.
- PEREIRA FILHO, A. J., VEMADO, F., VEMADO, G., REIS, F., GIORDANO, L.,

- CERRI, R., SANTOS, C., LOPES, E., GRAMANI, M., OGURA, A., ZAINÉ, J., CERRI, L., AUGUSTO FILHO, O., DAFFONSECA, F., AMARAL, C. **A step towards integrating CMORPH precipitation estimation with rain gauge measurements.** *Advances in Meteorology*, v. 2018, p. 1-24, 2018.
- PEREIRA FILHO, A. J. **Análise da escassez hídrica brasileira em 2014.** *Revista USP*, p. 125, 2015.
- PORTUGAL, W., PACININ, A. A. **A Influência dos Raios Cósmicos Galácticos no Clima Terrestre.** *Revista Univap – Edição Especial – revista.univap.br. São José dos Campos-SP-Brasil*, v. 19, n. 34, 2013.
- POVEDA, G., MESA, O. J. **Feedbacks between hydrological processes in tropical South America and large-scale ocean-atmospheric phenomena.** *Journal of climate*, v. 10, n. 10, p. 2690-2702, 1997.
- REBOITA, M. S., GAN, M. A., DA ROCHA, R. P., AMBRIZZI, T. **Regimes de Precipitação na América do Sul: Uma Revisão Bibliográfica.** *Revista Brasileira de Meteorologia (Impresso)*, v. 25, p. 185-204, 2010.
- REBOITA, M., KRUSCHE, N., AMBRIZZI, T., ROCHA, R. **Entendendo o tempo e o clima na América do Sul.** *Terra e Didática, Campinas*, v. 8, p. 34-50, 2012.
- ROSCH, A.; SCHMIDBAUER, H. **WaveleTOCmp: A guided tour through the R-package.** p. 1-38, 2014.
- RÖSCH, A., SCHMIDBAUER, H. **WaveleTOCmp 1.1: a guided tour through the R package.** p. 2-59, 2018.
- SANTOS, C. C. **Modelagem de Bacias Urbanas com Redes Neurais Artificiais.** Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. 105p. 2001.
- SANTOS, N. A. **Precipitação Sobre a América do Sul e Suas Relações com a Oscilação Multidecadal do Atlântico e a Oscilação do Atlântico Norte.** 30 f. TCC (Meteorologia). Instituto de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Alagoas. Maceió – AL, 2013.
- SANTOS, N. A., SIQUEIRA, A. H. B., BEZERRA, K. L. T., CASTRO, C. P. Q., MELO, M. L. D. **Eventos Extremos: Análise do Evento Ocorrido em Junho de 2010 na Costa Leste do Nordeste Brasileiro.** *Anais do XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. XVII CBAGRO, Guarapari – ES.* 2011.
- SANTOS, N. A., SIQUEIRA, A. H. B., MELO, M. L. D. **Precipitação Sobre a América do Sul e Suas Relações com a Oscilação Multidecadal do**

Atlântico e a Oscilação do Atlântico Norte. Revista Brasileira de Climatologia, v. 18, p. 207-218, 2016.

SANTOS, P. M., PEREIRA FILHO, A. J., CAMARGO, R., FESTA, M., FUNARI, F. L., SALUM, S. T., OLIVEIRA, C.T., SANTOS, E. M., LOURENÇO, P. R., SILVA, E. G., GARCIA, W., FIALHO, M. A. **Evolução Climática na Região Metropolitana de São Paulo.** Anais do XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia. XVI CBMET, Florianópolis – SC. P. 1-6. 2006.

SATYAMURTY, P., NOBRE, C. A., SILVA DIAS, P. L. **Chapter C – South America. Meteorology of The Southern Hemisphere.** Published by the American Meteorological Society. p. 119. v 27, n 49. 1998.

SCHIAVETTI, A., CAMARGO, A. F. M. 2002. **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações.** Ilhéus: Editus-Editora da UESC. 293 p.

SETOSA – **Principal Component Analysis.** Disponível em: <<http://goo.gl/0VHKtW>>. Acesso em 25 de abril de 2015.

SILVA DIAS, M. A. F. **Eventos Climáticos Extremos.** Revista USP, v. 103, p. 33-40, 2014.

SILVA NÓBREGA, R., SANTIAGO, C. F., AYANE, G. **Tendências do controle climático oceânico sob a variabilidade temporal da precipitação no Nordeste do Brasil.** Revista de geografia Norte Grande, n. 63, p. 9-26, 2016.

SILVA, T.R. 2019. **Precipitação em Rio Grande – Rs (1913 – 2016): análise descritiva e da variabilidade.** Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Geografia – PPGGEO, 90p. Instituto de Ciências Humanas e da Informação - ICHI, Universidade Federal do Rio Grande - FURG, Rio Grande, Brasil.

SIQUEIRA, A. H. B. e MOLION, L. C. B. **Análises Climáticas: O Filtro Hodrick-Prescott Aplicado aos Índices Atmosféricos da Oscilação Sul e da Oscilação do Atlântico Norte.** Revista Brasileira de Meteorologia, v. 30, n. 3, 307 - 318, 2015.

SIQUEIRA, A. H. B. **Variabilidade do clima da América do Sul e sua relação com os índices oceânicos e atmosféricos.** 79 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas. Maceió – AL, 2012.

SOLANKI, S. K. **Sunspots: an overview.** The Astronomy and Astrophysics Review, v. 11, n. 2-3, p. 153-286, 2003.

SRHE – Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos. **Bacia Hidrográfica.** Disponível em:

<<http://www.srhe.pe.gov.br/attachments/article/400/Bacia%20hidrogr%C3%A1fica.pdf>>. Acesso em 23 de setembro de 2018.

- TEDESCHI, R. G., CAVALCANTI, I. F. A. **Influência dos ENOS Canônico e Modoki na precipitação da América do Sul**. Anais do XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, v.16. Belém do Pará – PA. 2010.
- TEIXEIRA, R. F. F. **Estudo de técnicas de apoio a definições em contratos de energia elétrica**. Dissertação (mestrado acadêmico). Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia. Programa de Pós Graduação em Modelagem Computacional. Juiz de Fora – MG. 57f. 2017.
- TEODORO, V. L. I., TEIXEIRA, D., COSTA, D. J. L., FULLER, B. B. **O Conceito de Bacia Hidrográfica e a Importância da Caracterização Morfométrica para o Entendimento da Dinâmica Ambiental Local**. Revista Uniara, n.20, 2007.
- TORRENCE, C., COMPO, G. P. **A Practical Guide to Wavelet Analysis**. Program in Atmospheric and Oceanic Sciences, University of Colorado, Boulder, Colorado. Bulletin of the American Meteorological Society. Vol. 79, N° 1, 61-78, 1998.
- TUCCI, C. (org.) **Hidrologia – ciência e aplicação**. Editora da Universidade, ABRH, Porto Alegre. 2000.
- TUCCI, C. E. M. 1997. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 1997. (Col. ABRH de Recursos Hídricos, v.4).
- TUCCI, C. E. M., MENDES, C. A. **Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006.
- TUCCI, C. E. M. (1998) **Modelos hidrológicos**. ABRH Editora da UFRGS. Porto Alegre. 669 p.
- TUKEY, J. W. **Exploratory data analysis**. Reading, PA: Addison-Wesley. 1977.
- UCAR – University Corporation for Atmospheric Research. **The Sunspot Cycle**. Disponível em: < <https://scied.ucar.edu/sunspot-cycle> >. Acesso em 06 de janeiro de 2021.
- VACHA, L., BARUNIK, J. **Co-movement of energy commodities revisited: Evidence from wavelet coherence analysis**. *Energy Economics*. v. 34, n. 1, p. 241-247, 2012.
- VARANIS, M. V. M. PEDERIVA, R. **Deteção de Correlação entre Séries Temporais Utilizando Espectro Cruzado Wavelet e Coerência Wavelet**. In: X Conferência Brasileira de Dinâmica, Controle e Aplicações

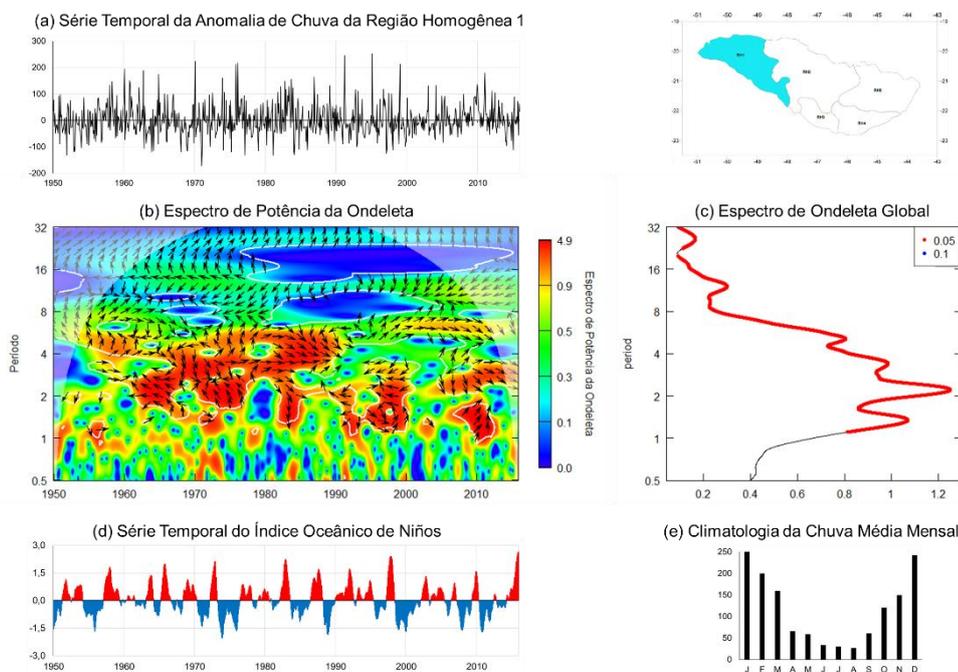
- Dincon 2011, 2011, Águas de Lindoia. CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE DINÂMICA, CONTROLE E APLICAÇÕES, 2011.

- VELEDA, D., MONTAGNE, R., ARAUJO, M. **Cross-wavelet bias corrected by normalizing scales**. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, v. 29, n. 9, p. 1401-1408, 2012.
- VENEGAS, S. A., MYSAK, L.A., STRAUB, D. N. **Evidence for interannual and interdecadal climate variability in the South Atlantic**. Geophysical Research Letters, v. 23, n. 19, p. 2673-2676, 1996.
- VILLELA, S.M., MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGRAWHill do Brasil, 1975. 245p.
- WILKS, D. S. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences**, Second Edition. International Geophysics Series. Department of Earth and Atmospheric Sciences, Cornell University. Elsevier. CHAPTER 11, 463 p. 2006.
- WISLER, C. O., BRATTER, E.F. **Hidrologia**. Ao Livro Técnico. Rio de Janeiro, 1964. 484p.
- XAVIER, T. M. B., AMBRIZZI, T., SILVA. M. E. S. **Aplicações de Modelos e Técnica na Detecção de Variabilidade no Clima e Extremos**. Fortaleza - CE. Banco do Nordeste do Brasil S.A. p. 41, 2017.

ANEXO A

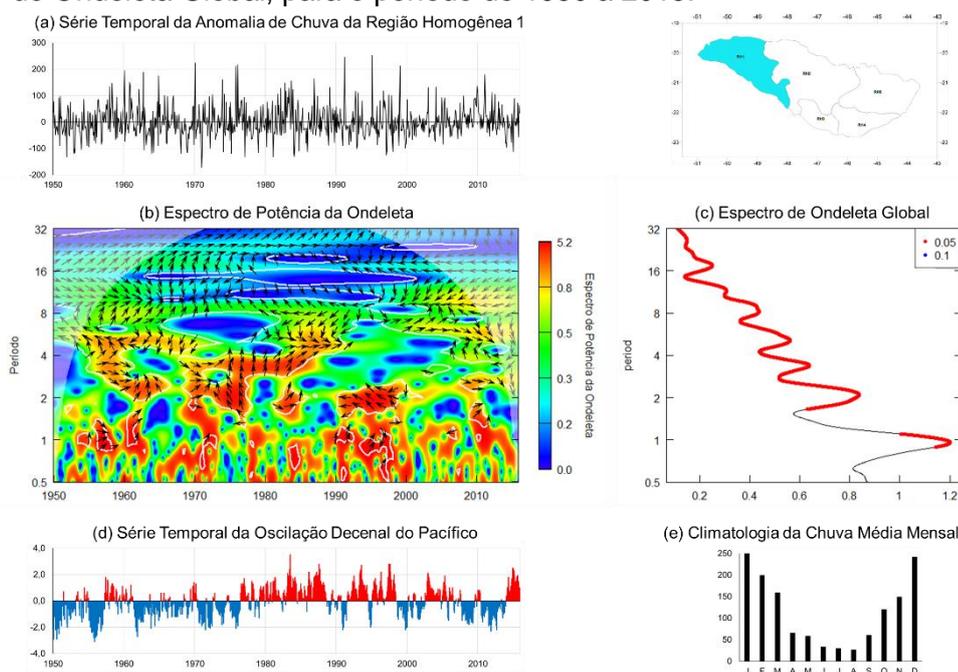
A.1. Região Homogênea 1 da Bacia do Rio Grande

Figura A. 1 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 1 da Bacia do Rio Grande e o Índice Oceânico de Niños e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.



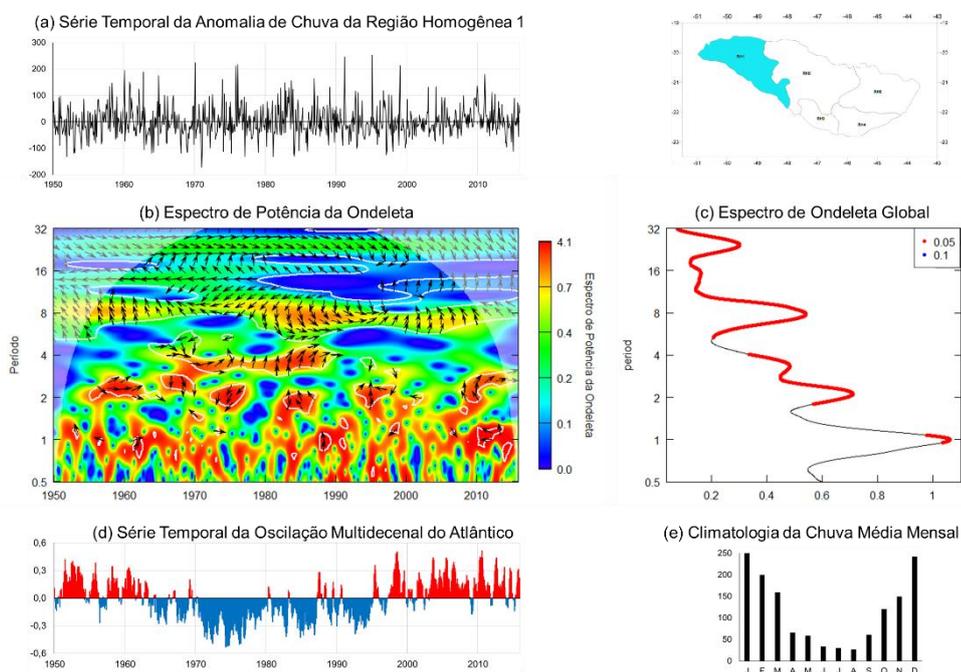
Fonte (do autor)

Figura A. 2 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 1 da Bacia do Rio Grande e a Oscilação Decenal do Pacífico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.



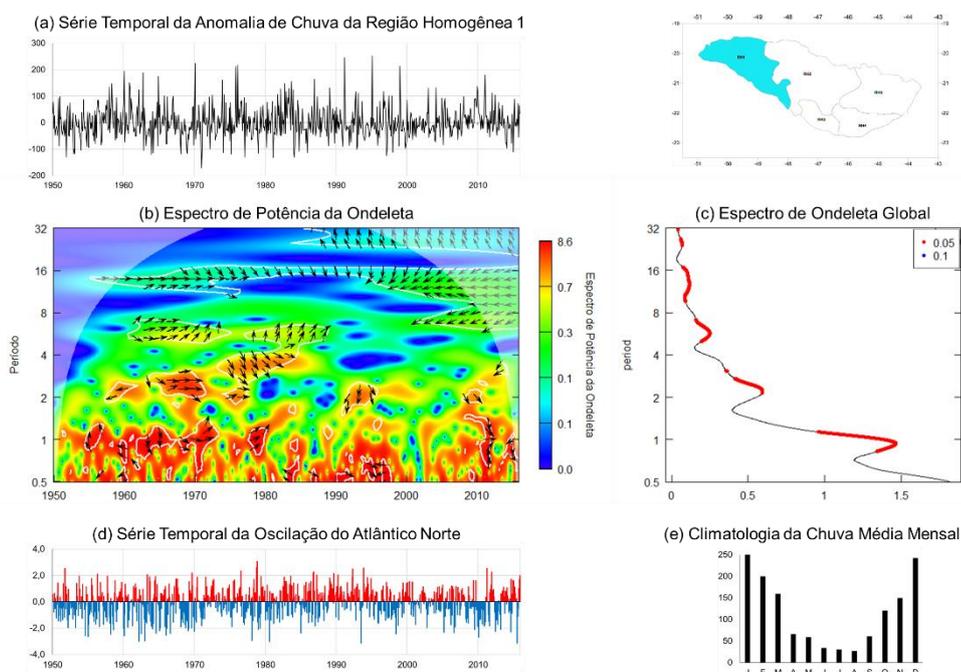
Fonte (do autor)

Figura A. 3 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 1 da Bacia do Rio Grande e a Oscilação Multidecenal do Atlântico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.



Fonte (do autor)

Figura A. 4 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 1 da Bacia do Rio Grande e a Oscilação do Atlântico Norte e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.



Fonte (do autor)

Figura A. 5 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homôgenea 1 da Bacia do Rio Grande e o Dipolo do Atlântico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.

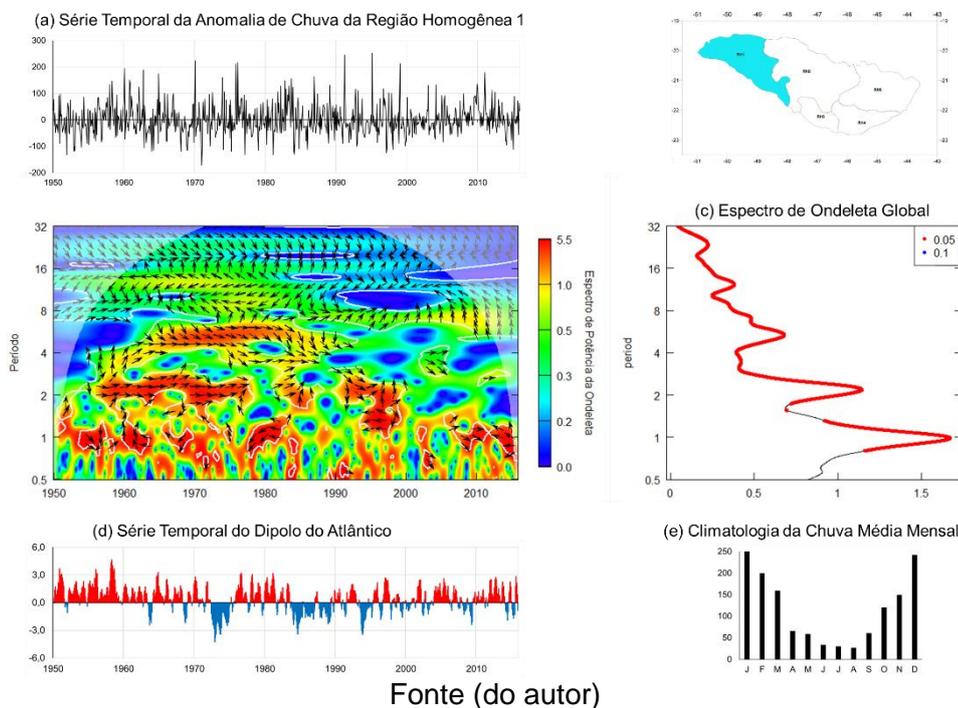
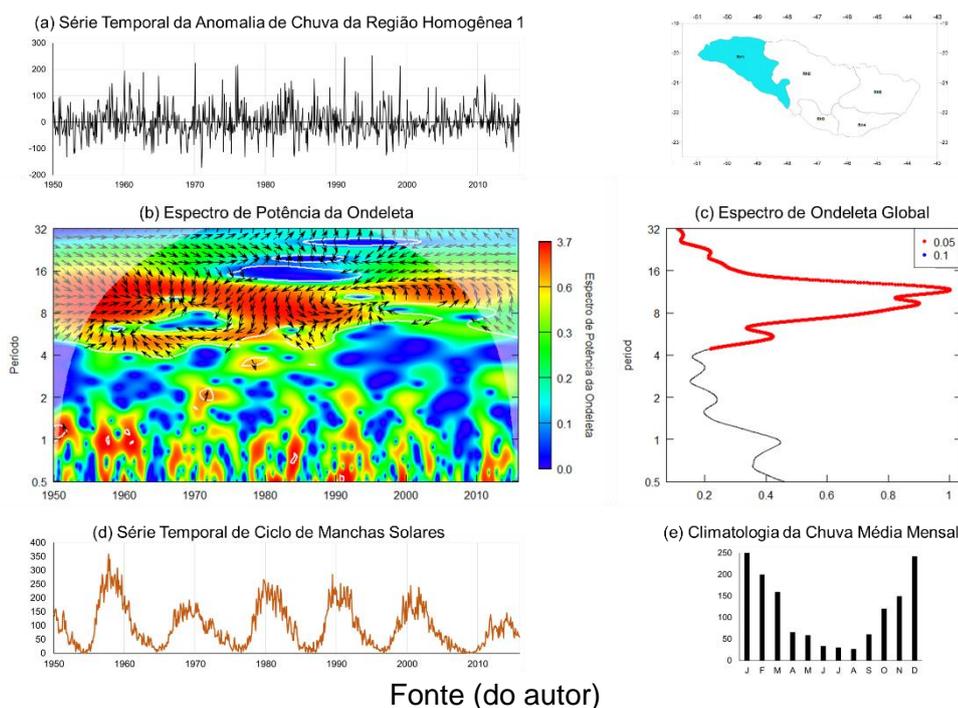
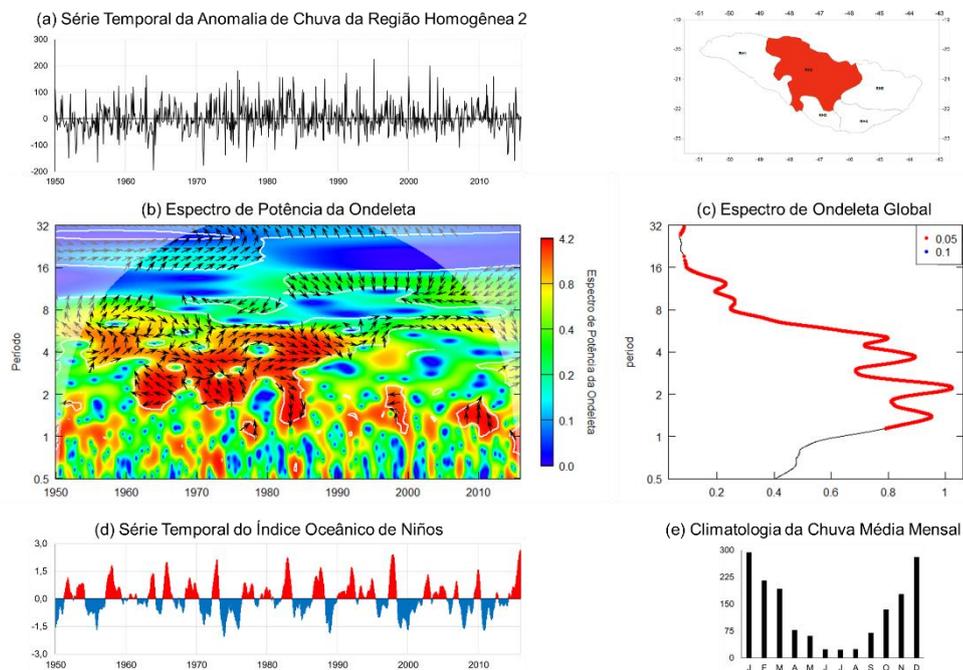


Figura A. 6 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homôgenea 1 da Bacia do Rio Grande e o Ciclo de Manchas Solares e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.



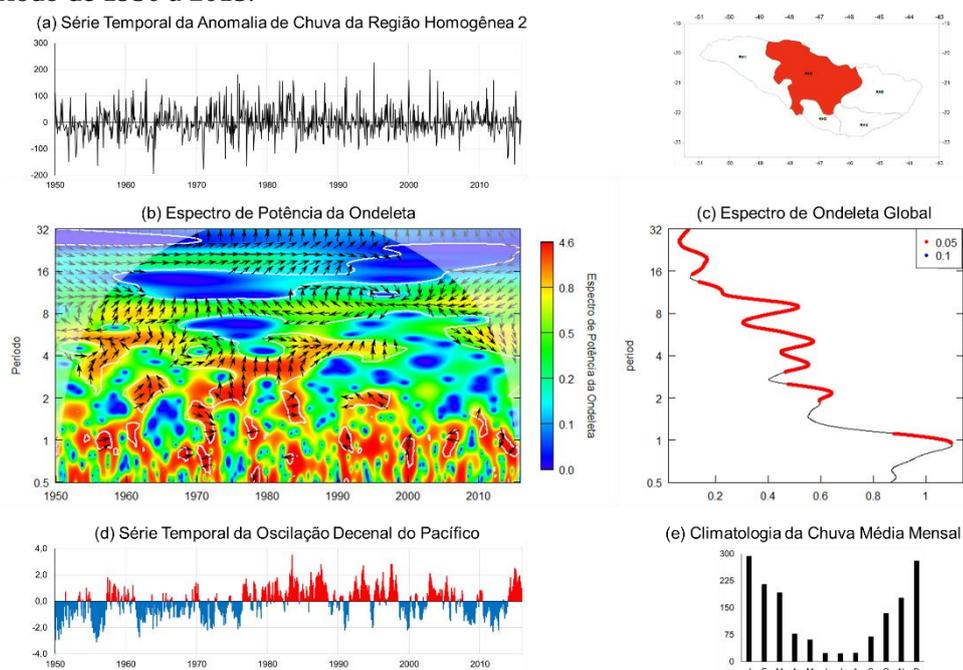
A.2. Região Homôgenea 2 da Bacia do Rio Grande

Figura A. 7 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homôgenea 2 da Bacia do Rio Grande e o Índice Oceânico de Niños e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.



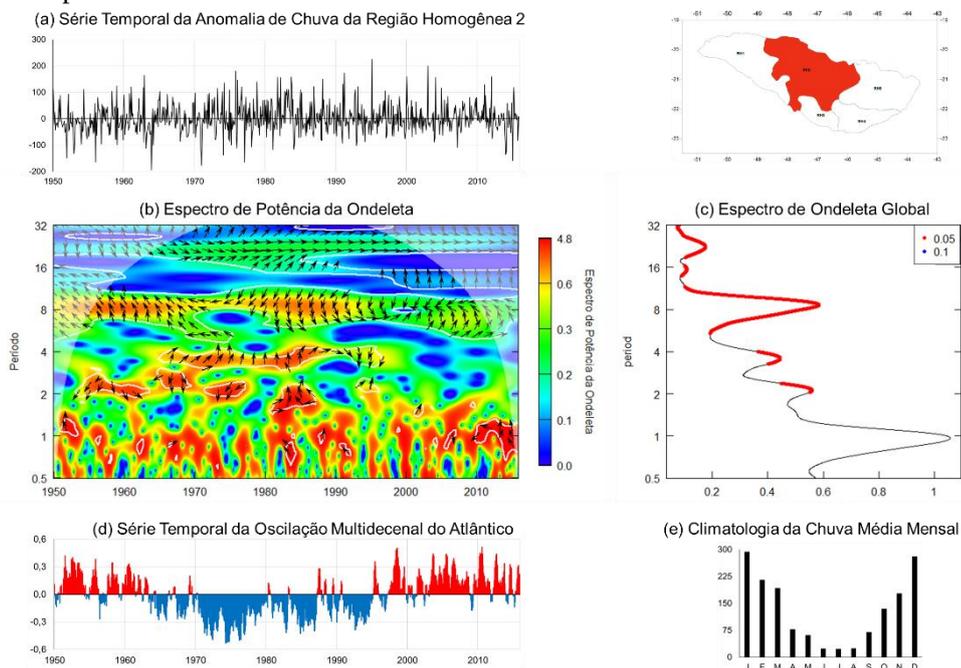
Fonte (do autor)

Figura A. 8 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homôgenea 2 da Bacia do Rio Grande e a Oscilação Decenal do Pacífico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.



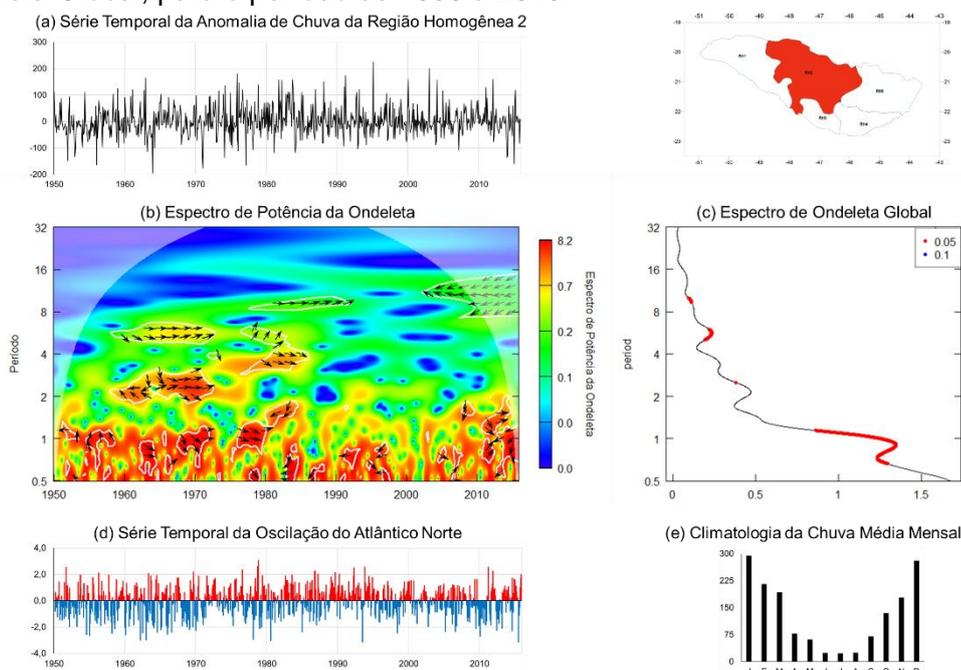
Fonte (do autor)

Figura A. 9 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homôgenea 2 da Bacia do Rio Grande e a Oscilação Multidecenal do Atlântico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.



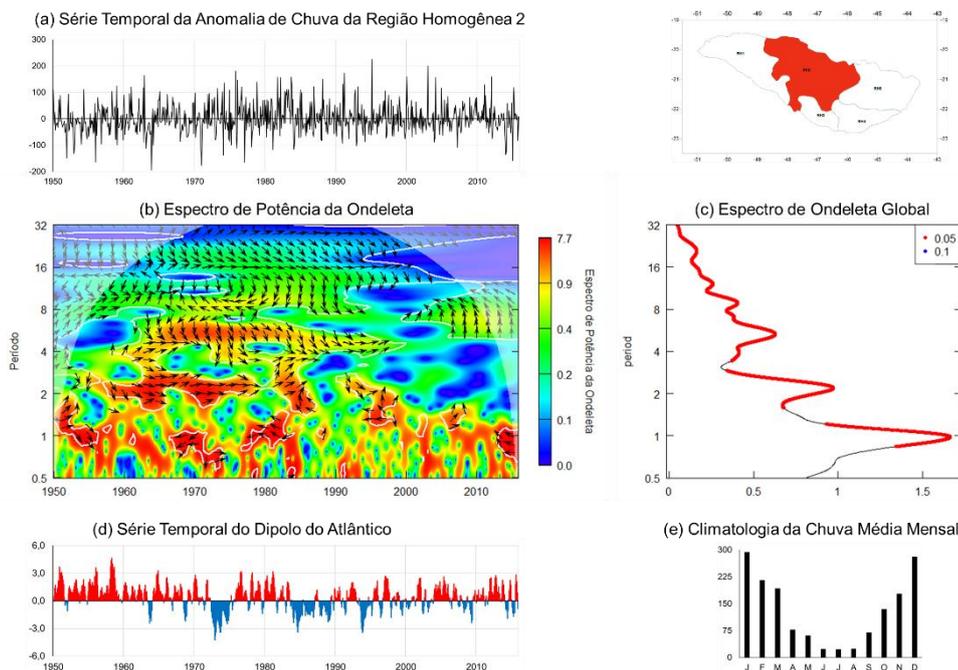
Fonte (do autor)

Figura A. 10 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homôgenea 2 da Bacia do Rio Grande e a Oscilação do Atlântico Norte e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.



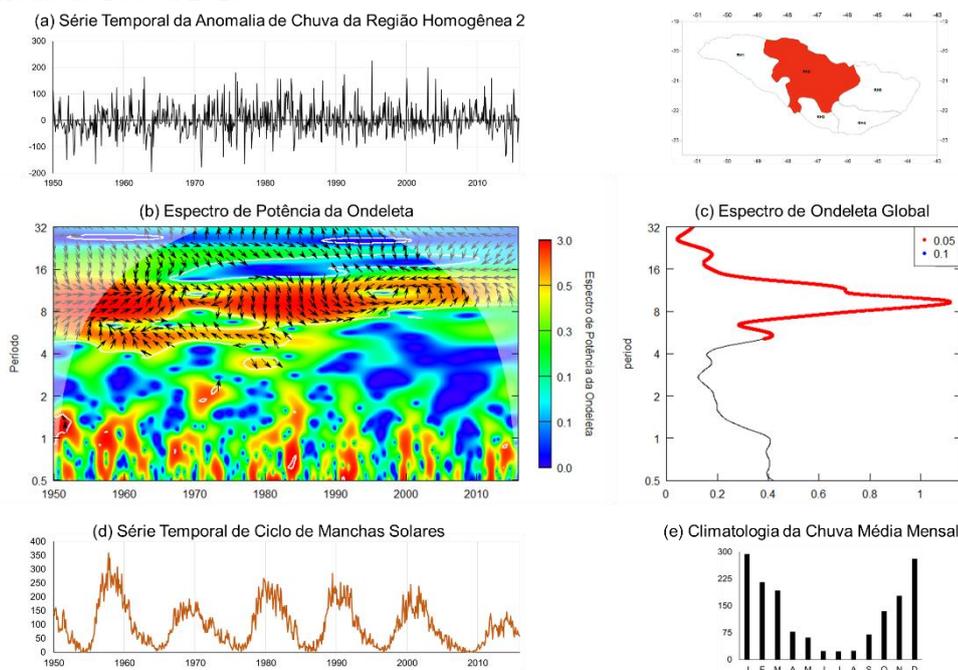
Fonte (do autor)

Figura A. 11 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 2 da Bacia do Rio Grande e o Dipolo do Atlântico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.



Fonte (do autor)

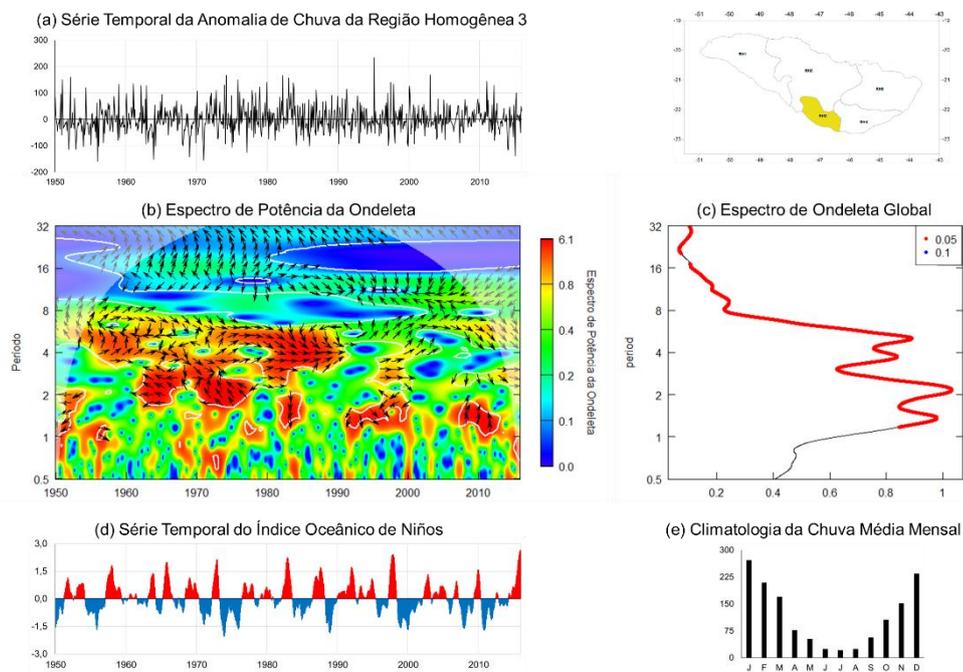
Figura A. 12 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 2 da Bacia do Rio Grande e o Ciclo de Manchas Solares e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.



Fonte (do autor)

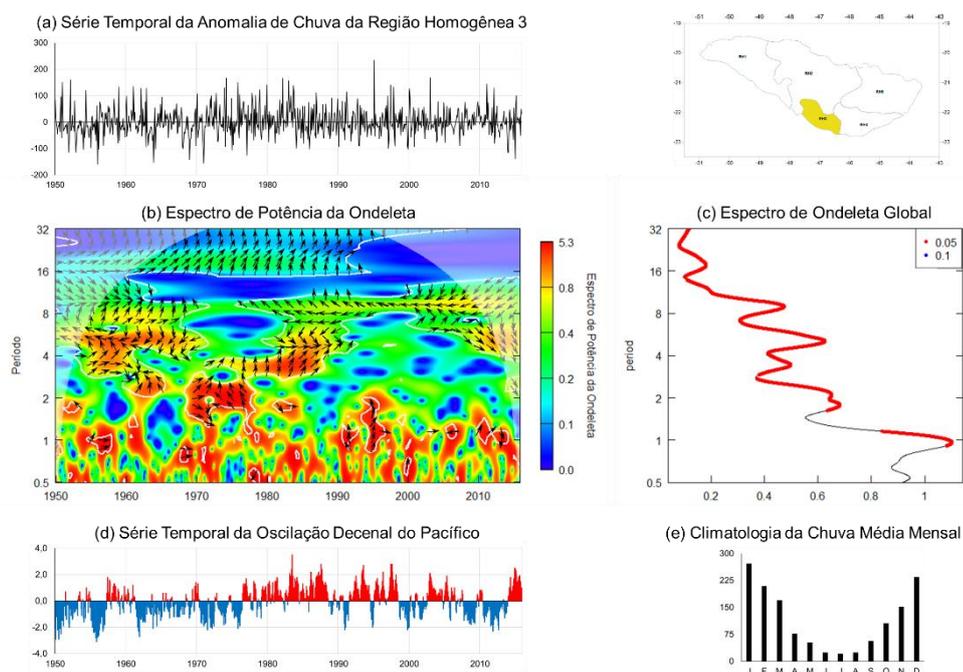
A.3. Região Homogênea 3 da Bacia do Rio Grande

Figura A. 13 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 3 da Bacia do Rio Grande e o Índice Oceânico de Niños e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.



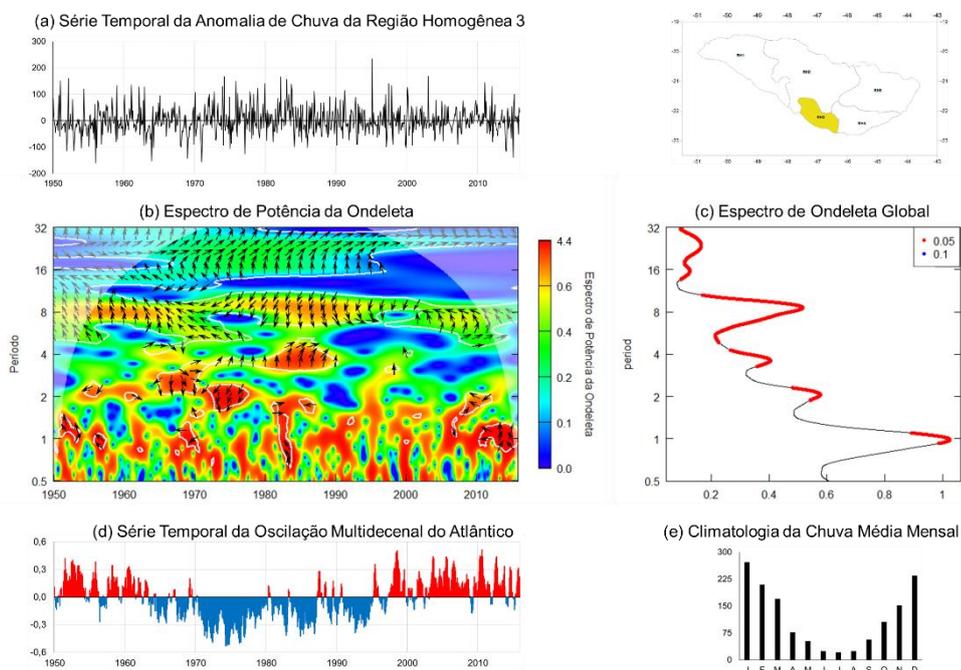
Fonte (do autor)

Figura A. 14 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 3 da Bacia do Rio Grande e a Oscilação Decenal do Pacífico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.



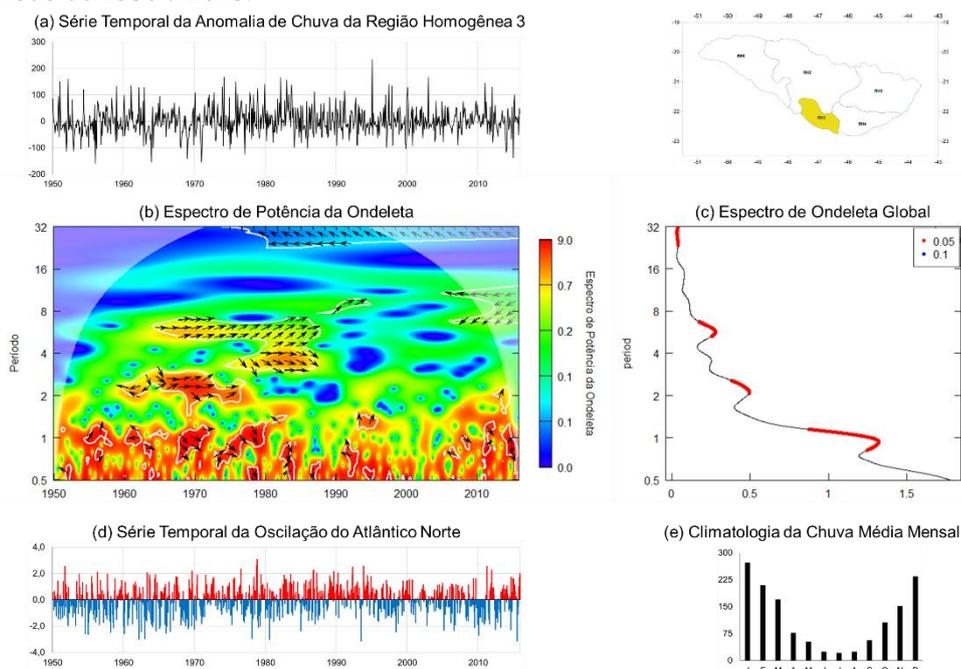
Fonte (do autor)

Figura A. 15 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 3 da Bacia do Rio Grande e a Oscilação Multidecenal do Atlântico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.



Fonte (do autor)

Figura A. 16 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 3 da Bacia do Rio Grande e a Oscilação do Atlântico Norte e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.



Fonte (do autor)

Figura A. 17 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 3 da Bacia do Rio Grande e o Dipolo do Atlântico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.

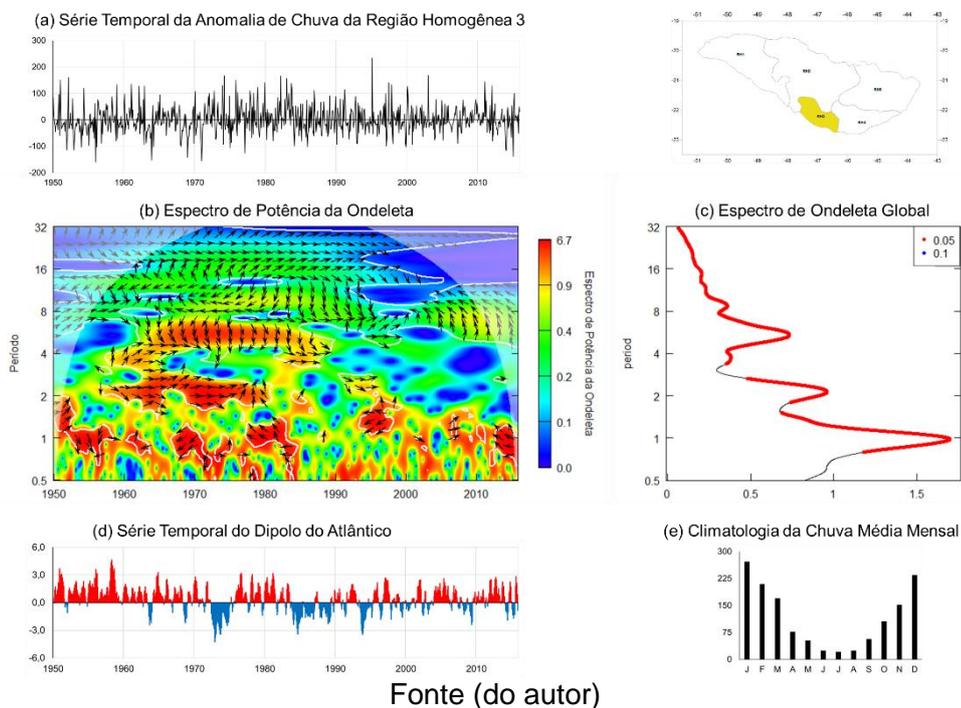
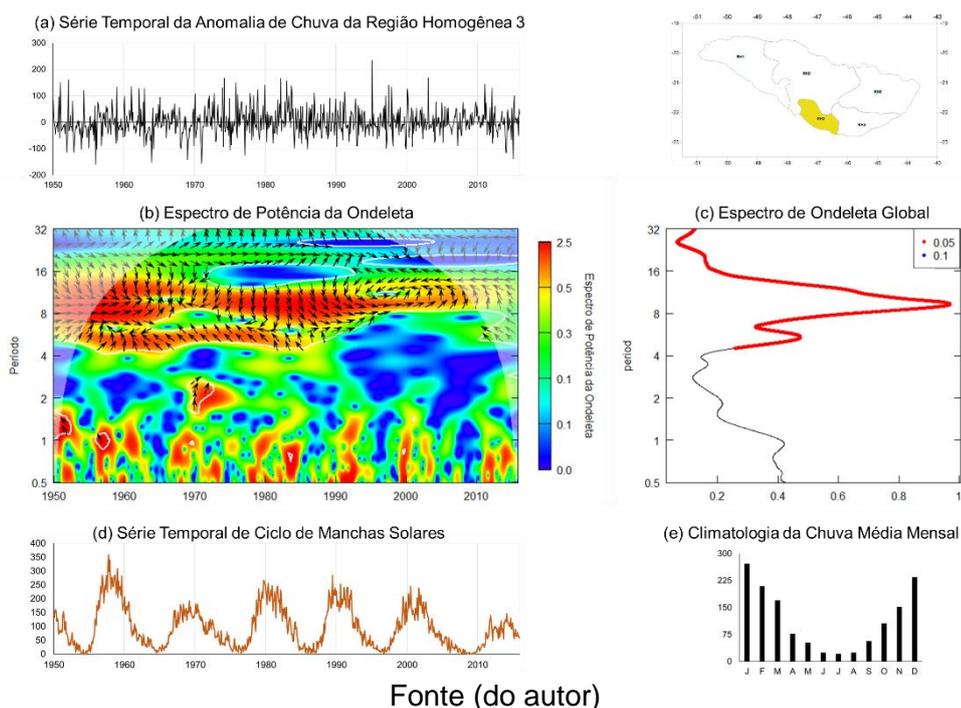


Figura A. 18 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 3 da Bacia do Rio Grande e o Ciclo de Manchas Solares e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.



A.4. Região Homogênea 4 da Bacia do Rio Grande

Figura A. 19 – Espectro de Potência de Ondeleita Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 4 da Bacia do Rio Grande e o Índice Oceânico de Niños e Espectro de Ondeleita Global, para o período de 1950 a 2015.

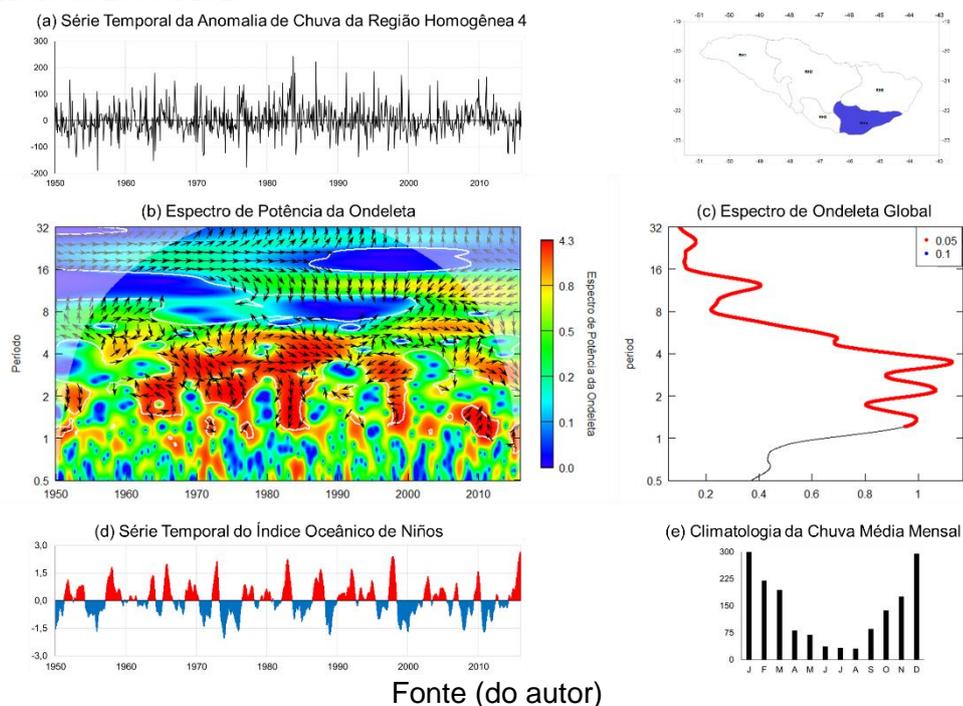


Figura A. 20 – Espectro de Potência de Ondeleita Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 4 da Bacia do Rio Grande e a Oscilação Decenal do Pacífico e Espectro de Ondeleita Global, para o período de 1950 a 2015.

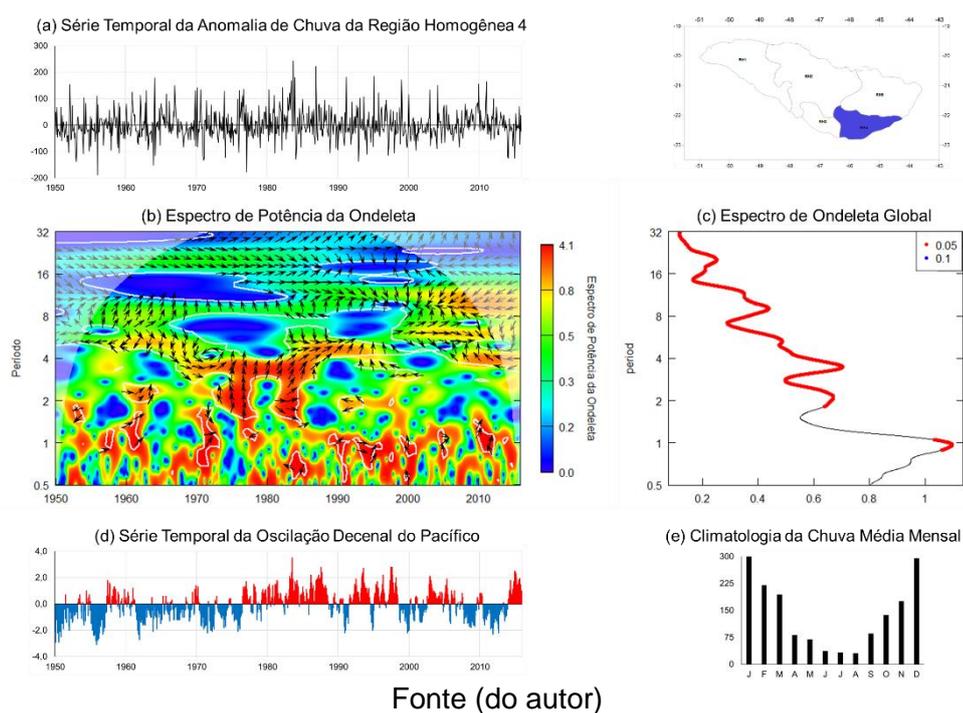
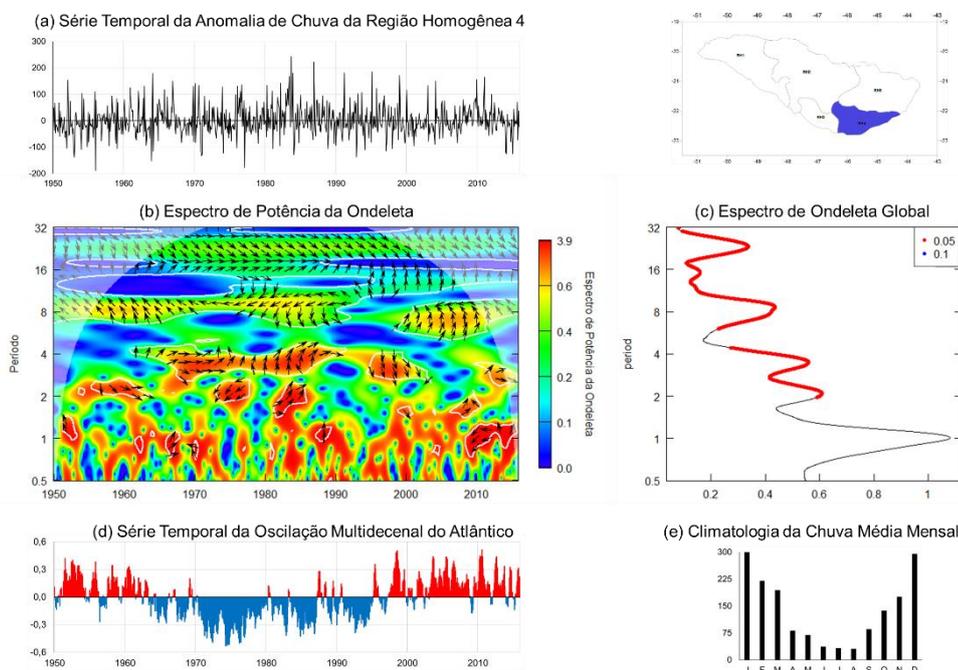
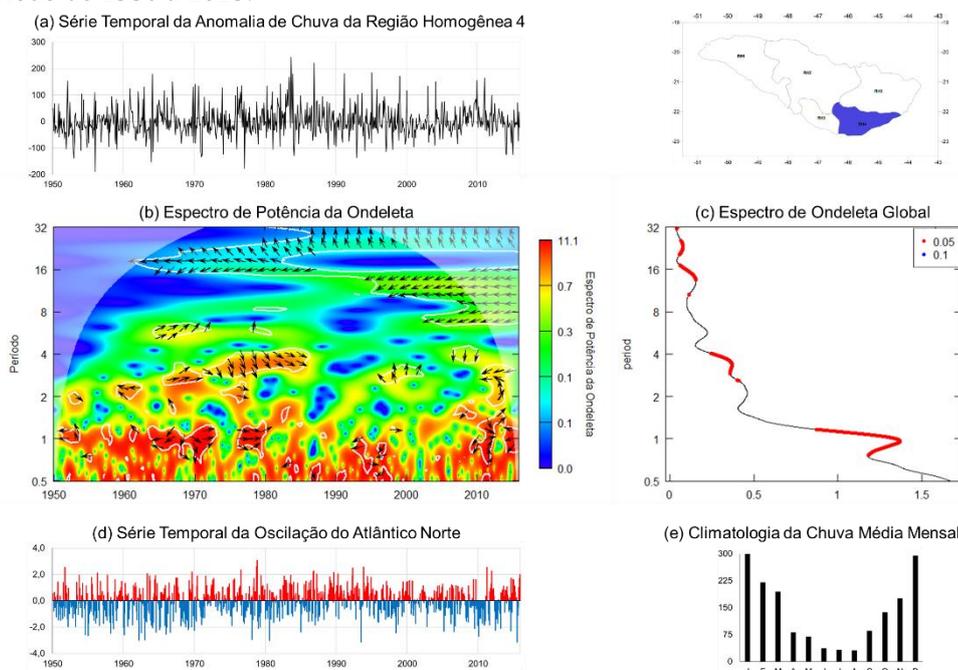


Figura A. 21 – Espectro de Potência de Ondeleita Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 4 da Bacia do Rio Grande e a Oscilação Multidecenal do Atlântico e Espectro de Ondeleita Global, para o período de 1950 a 2015.



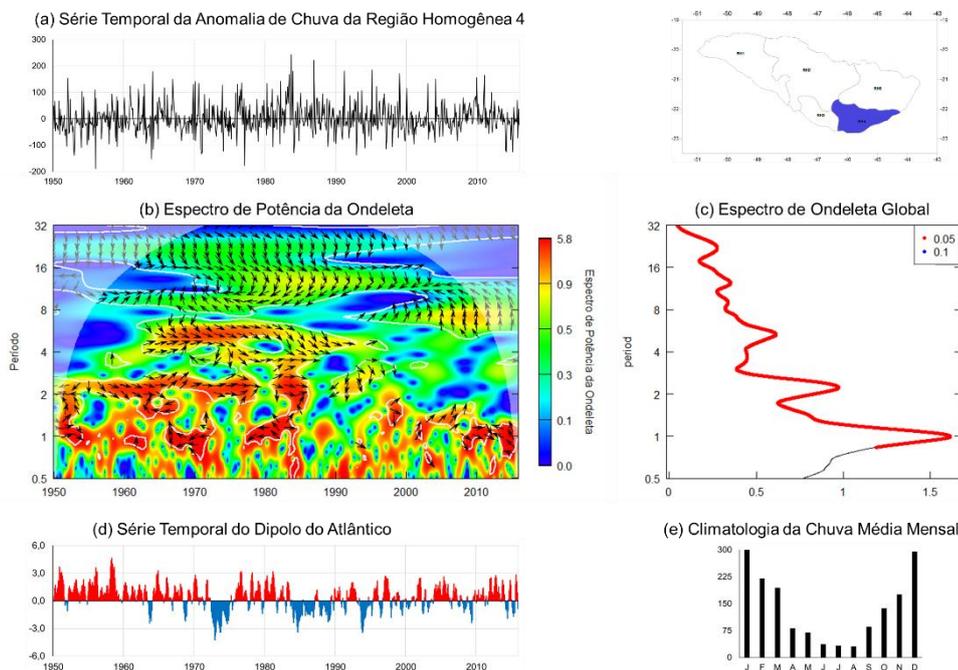
Fonte (do autor)

Figura A. 22 – Espectro de Potência de Ondeleita Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 4 da Bacia do Rio Grande e a Oscilação do Atlântico Norte e Espectro de Ondeleita Global, para o período de 1950 a 2015.



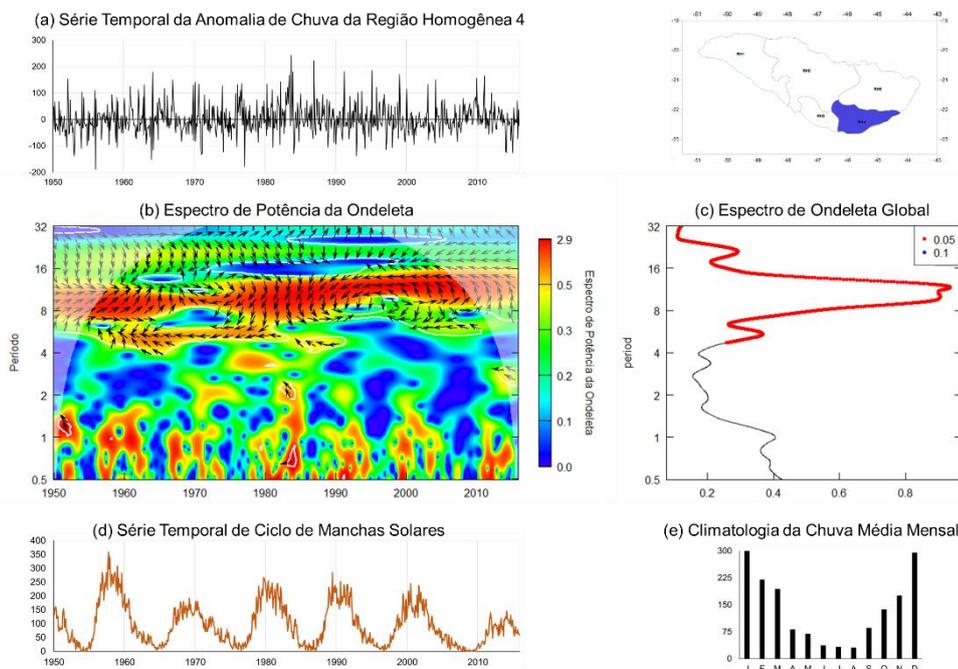
Fonte (do autor)

Figura A. 23: Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 4 da Bacia do Rio Grande e o Dipolo do Atlântico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.



Fonte (do autor)

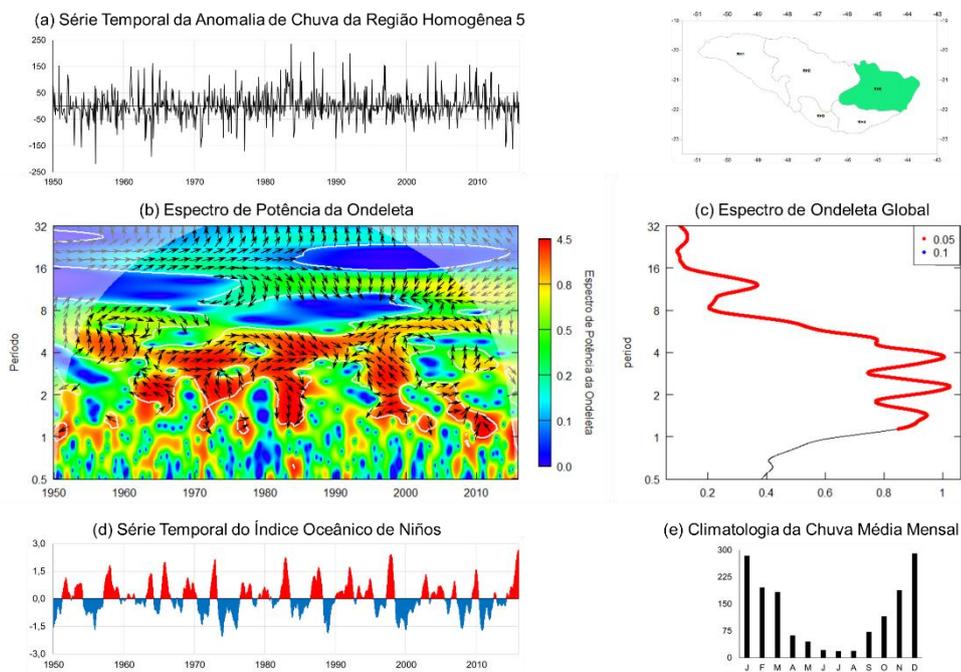
Figura A. 24 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 4 da Bacia do Rio Grande e o Ciclo de Manchas Solares e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.



Fonte (do autor)

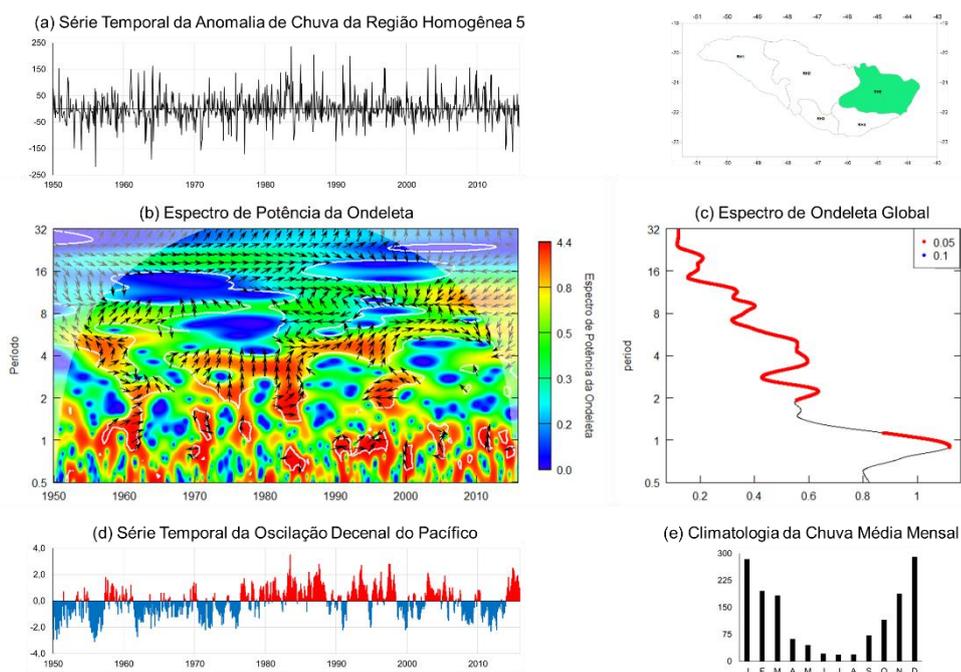
A.5. Região Homogênea 5 da Bacia do Rio Grande

Figura A. 25 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 5 da Bacia do Rio Grande e o Índice Oceânico de Niños e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.



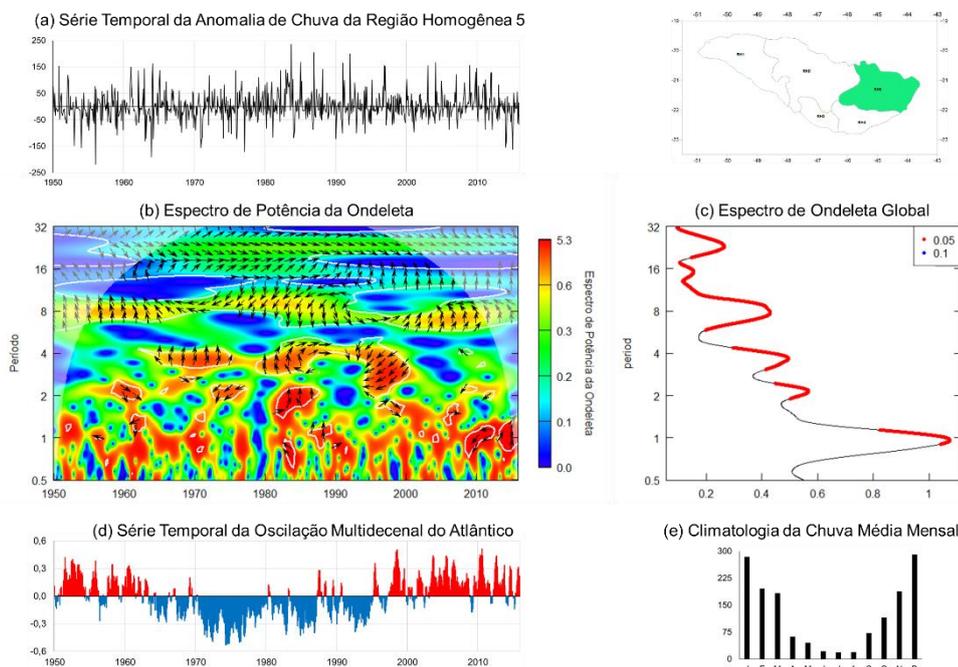
Fonte (do autor)

Figura A. 26 – Espectro de Potência de Ondeleta Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 5 da Bacia do Rio Grande e a Oscilação Decenal do Pacífico e Espectro de Ondeleta Global, para o período de 1950 a 2015.



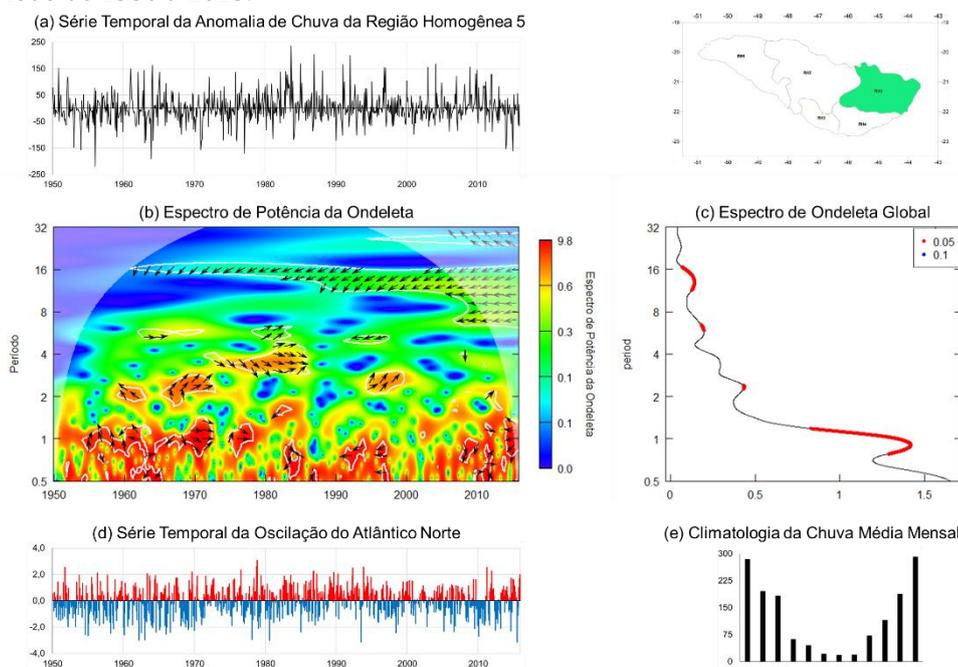
Fonte (do autor)

Figura A. 27 – Espectro de Potência de Ondeleita Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homôgenea 5 da Bacia do Rio Grande e a Oscilação Multidecenal do Atlântico e Espectro de Ondeleita Global, para o período de 1950 a 2015.



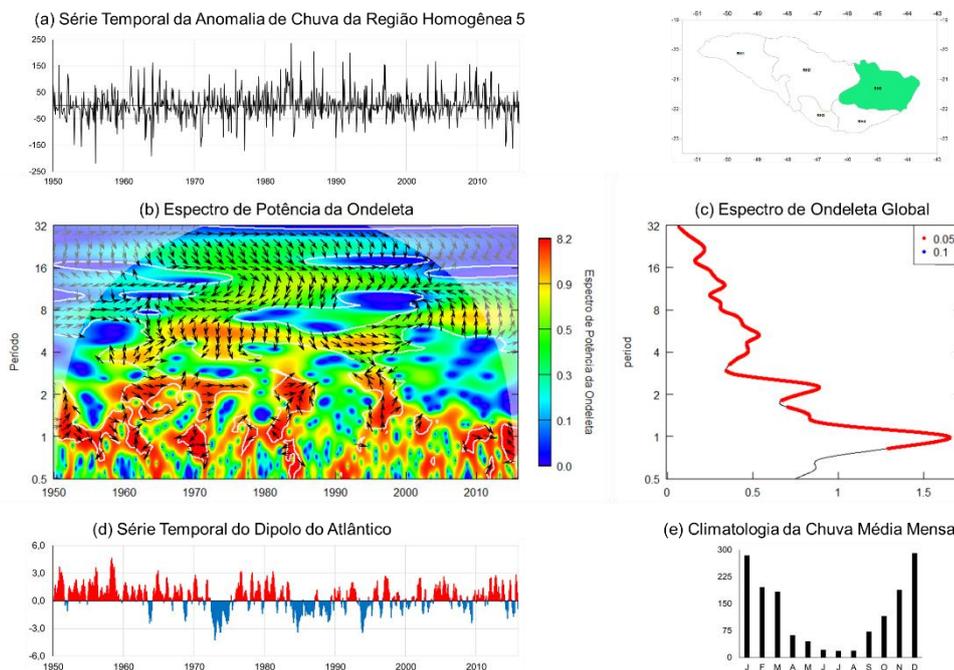
Fonte (do autor)

Figura A. 28 – Espectro de Potência de Ondeleita Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homôgenea 5 da Bacia do Rio Grande e a Oscilação do Atlântico Norte e Espectro de Ondeleita Global, para o período de 1950 a 2015.



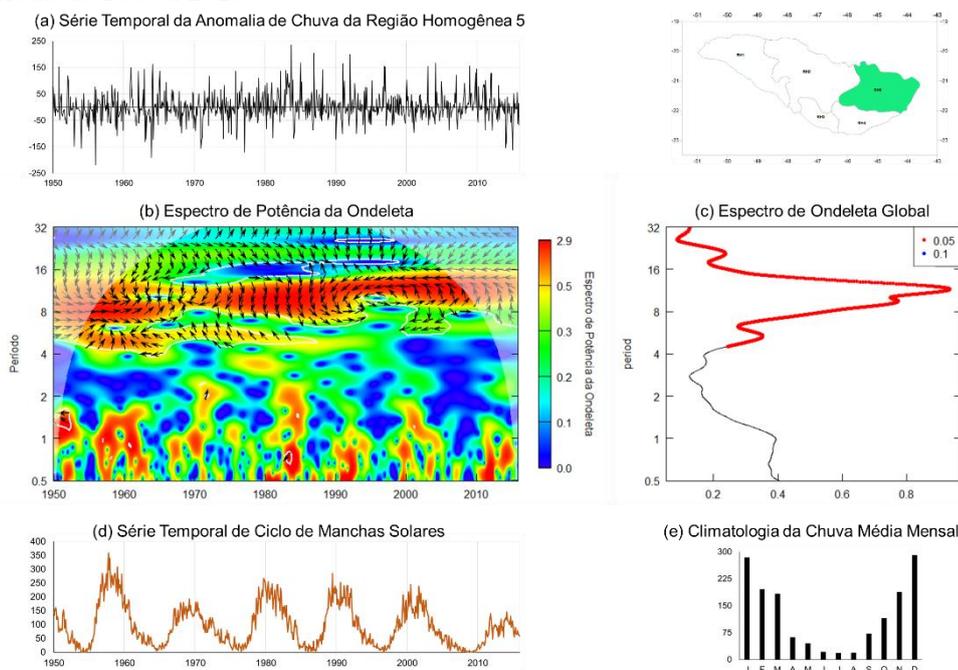
Fonte (do autor)

Figura A. 29 – Espectro de Potência de Ondeleita Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 5 da Bacia do Rio Grande e o Dipolo do Atlântico e Espectro de Ondeleita Global, para o período de 1950 a 2015.



Fonte (do autor)

Figura A. 30 – Espectro de Potência de Ondeleita Cruzada da anomalia mensal de precipitação da Região Homogênea 5 da Bacia do Rio Grande e o Ciclo de Manchas Solares e Espectro de Ondeleita Global, para o período de 1950 a 2015.



Fonte (do autor)