

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

Programa de Pós-Graduação em Meteorologia



TESE

EDICARLOS PEREIRA DE SOUSA

**PADRÕES CLIMÁTICOS DE EVENTOS EXTREMOS DE CHUVA
UTILIZANDO ANÁLISE MULTIVARIADA E DE ONDELETAS NO
ESTADO DE MINAS GERAIS**

CAMPINA GRANDE – PB, MAIO DE 2016



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

TESE

**PADRÕES CLIMÁTICOS DE EVENTOS EXTREMOS DE CHUVA UTILIZANDO
ANÁLISE MULTIVARIADA E DE ONDELETAS NO ESTADO DE MINAS GERAIS**

EDICARLOS PEREIRA DE SOUSA

CAMPINA GRANDE - PB

MAIO DE 2016

EDICARLOS PEREIRA DE SOUSA

**PADRÕES CLIMÁTICOS DE EVENTOS EXTREMOS DE CHUVA UTILIZANDO
ANÁLISE MULTIVARIADA E DE ONDELETAS NO ESTADO DE MINAS GERAIS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande em cumprimento às exigências para obtenção do título de Doutor em Meteorologia.

Área de concentração: Meteorologia de Meso e Grande Escalas
Subárea: Climatologia Estatística

Orientadores: Profª. Dra. Célia Campos Braga
Prof. Dr. Vicente de Paulo Rodrigues da Silva

Orientando: Edicarlos Pereira de Sousa

CAMPINA GRANDE - PB

MAIO DE 2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

S725p Sousa, Edicarlos Pereira de.
Padrões climáticos de eventos extremos de chuva utilizando análise multivariada e de ondeletas no estado de Minas Gerais / Edicarlos Pereira de Sousa. – Campina Grande, 2016.
120f. : il. color.

Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2016.
"Orientação: Profa. Dra. Célia Campos Braga, Prof. Dr. Vicente de Paulo Rodrigues da Silva".
Referências.

1. Precipitação. 2. Mesoescala (Meteorologia). 3. Climatologia Estatística. 4. Variabilidade de Chuva - Minas Gerais. I. Braga, Célia Campos. II. Silva, Vicente de Paulo Rodrigues da. III. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande (PB). IV. Título.

CDU 551.577 (043)

EDICARLOS PEREIRA DE SOUSA

PADRÕES CLIMÁTICOS DE EVENTOS EXTREMOS DE CHUVA UTILIZANDO
ANÁLISE MULTIVARIADA E DE ONDELETAS NO ESTADO DE MINAS GERAIS

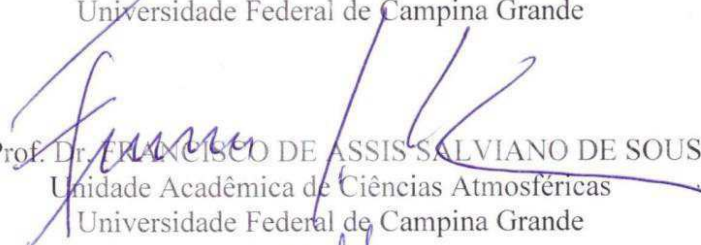
TESE APROVADA EM 31/05/2016


BANCA EXAMINADORA


Profa. Dra. CELIA CAMPOS BRAGA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Prof. Dr. VICENTE DE PAULO RODRIGUES DA SILVA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Prof. Dr. BERNARDO BARBOSA DA SILVA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Prof. Dr. FRANCISCO DE ASSIS SALVIANO DE SOUSA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Prof. Dr. CLÓVIS ANGELI SANSIGOLO
Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais


Profa. Dra. JOSICLEIDA DOMICIANO GALVÃO
Departamento de Ciências Geográficas
Centro de Filosofia e Ciências Humanas
Universidade Federal de Pernambuco

DEDICATÓRIA

A Deus, antes de tudo, por me dar forças todos os dias.

Aos meus pais, *Erenilton e Marilu*, pela sabedoria com que me criaram, e pelo apoio constante, fazendo tudo que era possível e às vezes quase o impossível para me proporcionar condições de seguir em frente.

Aos meus *irmãos, cunhadas, primos e tios*, que sempre estiveram ao meu lado, dando-me coragem para caminhar.

Aos meus sobrinhos, *Rafael, Arthur e Raylla*, pelos momentos de alegria, fazendo-me perceber que a felicidade está nas pequenas coisas.

À minha esposa, *Mabel*, e ao nosso filho, *Pedro Henrique*, que apesar dos poucos dias de vida, já nos ensina a lutar por um mundo melhor. A vocês todo o meu amor!

AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores, Profa. Dra. Célia Campos Braga e Prof. Dr. Vicente de Paulo Rodrigues da Silva, pela disponibilidade de compartilhar ideias e de dar sugestões a este trabalho, fazendo-me crescer substancialmente ao longo desses anos, culminando numa evolução profissional e pessoal.

Aos professores integrantes da banca examinadora, pelas sugestões pertinentes à melhoria da qualidade desta Tese.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia que tive a oportunidade de ser aluno.

Aos funcionários da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas. De modo especial, à Divanete, pela competência de seu trabalho enquanto esteve secretária do Programa de Pós-graduação, e à Arilene que, desde sua chegada, soube cativar e buscar desempenhar eficientemente suas funções.

À Universidade Federal de Campina Grande, pela estrutura física, didática, pedagógica e humana no decorrer de meus estudos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudo.

Aos colegas de curso que hoje se tornaram verdadeiros amigos. Em especial, agradeço a Sonaly, Francineide e Jonathan, por estarem presentes em momentos cruciais dessa caminhada. Agradeço, ainda, a José Alberto e Whéllyson, parceiros de muitos dias nesses últimos anos.

Aos meus colegas de trabalho da Universidade Federal do Cariri que colaboraram para que a finalização desta pesquisa fosse possível.

“O homem é do tamanho do seu sonho.”

(Fernando Pessoa)

RESUMO

O estado de Minas Gerais, localizado na região Sudeste do Brasil, possui um território planáltico, com áreas mais elevadas situadas na porção sul. O clima é predominantemente tropical e tropical de altitude, com temperaturas oscilando, normalmente, entre 17 e 20°C. Tais características o tornam, muitas vezes, susceptível a fortes chuvas, provocando transtornos diversos à população. Desse modo, buscou-se analisar a variabilidade da chuva mineira através de técnicas que fossem capazes de definir padrões espaciais e temporais de eventos secos e chuvosos, assim como modulá-los nas escalas tempo-frequência. Para isso, calculou-se o Índice de Precipitação Normalizada (IPN) mensal e trimestral no período 1977-2012. A fim de encontrar padrões espaço-temporais e regiões homogêneas (RH) do IPN mensal e trimestral, utilizaram-se as técnicas da Análise em Componentes Principais (ACP) e Agrupamentos (AA). A técnica da Transformada de Ondeletas (TO) foi aplicada para algumas localidades das diferentes RH em diversas escalas. A TO possibilitou encontrar oscilações importantes no sinal da precipitação, mostrando as componentes dominantes da variabilidade da chuva na área pesquisada. Nos espectros de fase e global de energia da TO, para a chuva mensal, predominou o ciclo anual em todas as localidades. Além da escala anual, observaram-se interações com escalas inferiores a doze meses, possivelmente decorrentes da sazonalidade da precipitação. A TO da precipitação e da Radiação de Onda Longa (ROL) diárias evidenciou frequências maiores que as da chuva mensal. A análise dos espectros de fase e de energia global, nas regiões centro-sul e oeste, apresentou maior energia no início das séries da precipitação e de ROL. Contribuições mais elevadas ocorreram nas escalas sinóticas e intrassazonais, principalmente nas localidades de Viçosa, Bom Despacho, Ituiutaba e Lavras. Esses padrões temporais estão associados com a Oscilação de Madden-Julian (OMJ), intensificando a atuação de sistemas moduladores do clima de Minas Gerais. Oscilações em escalas menores que dez dias foram detectadas nos anos de 2011 e 2012 e podem estar associadas aos sistemas de curto prazo que contribuíram para a chuva mineira. No caso de 2011, os eventos de chuva observados em meados de janeiro foram modulados pelos episódios da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e reforçados pela atuação da OMJ.

Palavras-chave: Índice de Precipitação Normalizada. Áreas homogêneas. Oscilação intrassazonal. Transformada de Ondeletas

ABSTRACT

The state of Minas Gerais, located in southeastern Brazil, has a plateau area, with higher areas in the southern part. The climate is predominantly tropical and tropical altitude, with temperatures ranging normally between 17 and 20°C. These characteristics make it often susceptible to heavy rains, causing many disorders the population. Thus, it sought to analyze the variability of the rain of Minas Gerais through techniques that were able to define spatial and temporal patterns of dry and wet events, and modulate them in the time-frequency ranges. For this, we calculated the Standardized Precipitation Index (SPI) monthly and quarterly in the period 1977-2012. In order to find spatiotemporal patterns and homogeneous regions (HR) of the monthly and quarterly SPI, we used the techniques of Principal Components Analysis (PCA) and Cluster Analysis (CA). The technique of Wavelets Transform (WT) has been applied to some locations of the different HR at various scales. The WT possible find important variations in rainfall signal, showing the dominant components of rainfall variability in the studied area. In phase spectra and global energy of WT, for the monthly rainfall, dominated the annual cycle in all locations. In addition to the annual scale, there were interactions with scales less than twelve months, possibly due to the seasonality of precipitation. The WT of precipitation and Outgoing Longwave Radiation (OLR) daily reported higher frequencies than the monthly rainfall. Analysis of phase spectra and global power, in south-central and western regions, showed higher energy at the beginning of the series of precipitation and OLR. Higher contributions occurred in the synoptic and intraseasonal scales, especially in the localities of Viçosa, Bom Despacho, Ituiutaba and Lavras. These temporal patterns are associated with the Madden-Julian Oscillation (MJO), intensifying the activity of modulators systems climate of Minas Gerais. Oscillations at smaller scales than ten days were detected in 2011 and 2012 and may be associated with short-term systems that contributed to the Minas Gerais rainfall. In the case of 2011 rain events observed in mid-January they were modulated by episodes of South Atlantic Convergence Zone (SACZ) and reinforced by the performance of MJO.

Keywords: Standardized Precipitation Index. Homogeneous areas. Intraseasonal Oscillation. Wavelets Transform

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da região de estudo: estado de Minas Gerais, Sudeste do Brasil..	42
Figura 2. (A) Localização dos postos pluviométricos na área pesquisada e (B) Mapa das mesorregiões do estado de Minas Gerais.....	43
Figura 3. Decomposição da ondeleta em diferentes níveis de resolução.....	54
Figura 4. Segundo nível da decomposição da ondeleta em diferentes resoluções.....	55
Figura 5. Resultado da análise de multirresolução dada pela função ondeleta.....	55
Figura 6. Parte real da função ondeleta de Morlet, representando uma onda com um envelope gaussiano.....	56
Figura 7. Distribuição espacial dos totais médios anuais de precipitação (mm/ano) para o período 1977-2012.....	57
Figura 8. Padrão espacial do primeiro fator (correlações) do IPN mensal no estado de Minas Gerais.....	59
Figura 9. Série temporal do primeiro fator comum (escores) do IPN-1 para o período 1977-2012.....	60
Figura 10. Padrão espacial do segundo fator (correlações) do IPN mensal no estado de Minas Gerais.....	60
Figura 11. Série temporal do segundo fator comum (escores) do IPN-1 para o período 1977-2012.....	61
Figura 12. Espacialização das Regiões Homogêneas do IPN-1 para o estado de Minas Gerais.....	62
Figura 13. Precipitação média mensal de cada região homogênea do IPN-1 em Minas Gerais.....	63
Figura 14. Variabilidade temporal do IPN-1 para o posto pluviométrico de São Romão	

(RH1) no período 1977-2012.....	64
Figura 15. Distribuições de frequência para as nove categorias do IPN-1 em São Romão (RH1).....	66
Figura 16. Variabilidade temporal do IPN-1 para o posto pluviométrico de Pedro Versiani – EFBM (RH2) no período 1977-2012.....	66
Figura 17. Distribuições de frequência para as nove categorias do IPN-1 em Pedro Versiani – EFBM (RH2).....	68
Figura 18. Variabilidade temporal do IPN-1 para o posto pluviométrico de Piranga (RH3) no período 1977-2012.....	69
Figura 19. Distribuições de frequência para as nove categorias do IPN-1 em Piranga (RH3).....	71
Figura 20. Variabilidade temporal do IPN-1 para o posto pluviométrico de Cristina – Montante (RH4) no período 1977-2012.....	71
Figura 21. Distribuições de frequência para as nove categorias do IPN-1 em Cristina – Montante (RH4).....	73
Figura 22. Padrão espacial do primeiro fator (correlações) do IPN-3 no estado de Minas Gerais.....	75
Figura 23. Série temporal do primeiro fator comum (escores) do IPN-3 para o período 1977-2012.....	76
Figura 24. Padrão espacial do segundo fator (correlações) do IPN-3 no estado de Minas Gerais.....	76
Figura 25. Série temporal do segundo fator comum (escores) do IPN-3 para o período 1977-2012.....	77
Figura 26. Espacialização das Regiões Homogêneas do IPN-3 para o estado de Minas Gerais.....	78

Figura 27. Variabilidade temporal do IPN-3 para o posto pluviométrico de São Romão (RH1) no período 1977-2012.....	79
Figura 28. Distribuições de frequência para as nove categorias do IPN-3 em São Romão (RH1).....	81
Figura 29. Variabilidade temporal do IPN-3 para o posto pluviométrico de Piranga (RH2) no período 1977-2012.....	81
Figura 30. Distribuições de frequência para as nove categorias do IPN-3 em Piranga (RH2).....	83
Figura 31. Variabilidade temporal do IPN-3 para o posto pluviométrico de Brasópolis (RH3) no período 1977-2012.....	84
Figura 32. Distribuições de frequência para as nove categorias do IPN-3 em Brasópolis (RH3).....	85
Figura 33. Variabilidade temporal do IPN-3 para o posto pluviométrico de Cascalho Rico (RH4) no período 1977-2012.....	86
Figura 34. Distribuições de frequência para as nove categorias do IPN-3 em Cascalho Rico (RH4).....	88
Figura 35. Série temporal da precipitação mensal no período 1977-2012 (A), localização do município de São Romão na RH1 (B), escalograma de fase da TO (C) e espectro global de ondeleta (D).....	89
Figura 36. Série temporal da precipitação mensal no período 1977-2012 (A), localização do distrito Pedro Versiani na RH2 (B), escalograma de fase da TO (C) e espectro global de ondeleta (D).....	90
Figura 37. Série temporal da precipitação mensal no período 1977-2012 (A), localização do município de Piranga na RH3 (B), escalograma de fase da TO (C) e espectro global de ondeleta (D).....	91

Figura 38. Série temporal da precipitação mensal no período 1977-2012 (A), localização do posto pluviométrico de Cristina-Montante na RH4 (B), escalograma de fase da TO (C) e espectro global de ondeleta (D).....	93
Figura 39. Série temporal da precipitação mensal no período 1977-2012 (A), localização do posto pluviométrico de Cascalho Rico na RH4 (B), escalograma de fase da TO (C) e espectro global de ondeleta (D).....	95
Figura 40. Localização das estações pluviométricas usadas na análise diária da TO para precipitação e ROL no estado de Minas Gerais.....	97
Figura 41. Análise de ondeleta da precipitação diária de: (A) – Arinos, (B) – Pedra Azul, (C) – Viçosa, (D) – Bom Despacho, (E) – Ituiutaba, (F) – Lavras. O período em destaque foi de outubro de 2010 a março de 2012.....	98
Figura 42. Análise de ondeleta de ROL diário de: (A) – Arinos, (B) – Pedra Azul, (C) – Viçosa, (D) – Bom Despacho, (E) – Ituiutaba, (F) – Lavras. O período em destaque foi de outubro de 2010 a março de 2012.....	99
Figura 43. Série temporal diária de ROL entre 01 outubro de 2010 e 31 de março de 2012, em Arinos (A), Pedra Azul (B), Viçosa (C), Bom Despacho (D), Ituiutaba (E) e Lavras (F).....	101
Figura 44. Série temporal diária da amplitude do índice de Madden-Julian entre janeiro de 2009 e dezembro de 2013.....	103
Figura 45. Carta sinótica de 15 de janeiro de 2011, às 00Z (A), ROL em 15 de janeiro de 2011 (B), Carta sinótica de 02 de janeiro de 2012, às 00Z (C), ROL em 02 de janeiro de 2012 (D), mostrando a atuação da ZCAS.....	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização dos eventos secos e chuvosos segundo o IPN.....	48
Tabela 2. Valores próprios (autovalores) e variâncias explicada e acumulada do IPN-1.....	58
Tabela 3. Caracterização dos eventos secos e chuvosos do IPN-1 para São Romão/MG no período 1977-2012.....	65
Tabela 4. Caracterização dos eventos secos e chuvosos do IPN-1 para Pedro Versiani (EFBM)/MG no período 1977-2012.....	67
Tabela 5. Caracterização dos eventos secos e chuvosos do IPN-1 para Piranga/MG no período 1977-2012.....	70
Tabela 6. Caracterização dos eventos secos e chuvosos do IPN-1 para Cristina – Montante/MG no período 1977-2012.....	72
Tabela 7. Valores próprios (autovalores) e variâncias explicada e acumulada do IPN-3.....	74
Tabela 8. Caracterização dos principais eventos secos e chuvosos do IPN-3 para São Romão/MG no período 1977-2012.....	80
Tabela 9. Caracterização dos principais eventos secos e chuvosos do IPN-3 para Piranga/MG no período 1977-2012.....	82
Tabela 10. Caracterização dos principais eventos secos e chuvosos do IPN-3 para Brasópolis/MG no período 1977-2012.....	84
Tabela 11. Caracterização dos principais eventos secos e chuvosos do IPN-3 para Cascalho Rico/MG no período 1977-2012.....	87

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

Siglas:

AA	Análise de Agrupamentos
ACC	Análise de Correlação Canônica
ACF	Apalachicola-Chattahoochee-Flint (rios)
ACP	Análise Fatorial em Componentes Principais
AMR	Análise de Multirresolução
ANA	Agência Nacional das Águas
AO	Análise de Ondeletas
ASAS	Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul
BCH	Baixa do Chaco
BNOA	Baixa do Noroeste da Argentina
CCM	Complexo Convectivo de Mesoescala
CP	Componente Principal
CPC	Climate Prediction Center
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CS	Correlação Simples
DPA	Dipolo do Atlântico
EFBM	Estrada de Ferro Bahia-Minas
ENOS	El Niño Oscilação Sul
EUA	Estados Unidos da América
GPT	Grupo de Previsão de Tempo
IAC	Instituto Agrônômico de Campinas
ICSO	Instabilidade Condicional de Segunda Ordem
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IOS	Índice de Oscilação Sul
IPN	Índice de Precipitação Normalizada
IPN-1	Índice de Precipitação Normalizada na escala de um mês
IPN-12	Índice de Precipitação Normalizada na escala de doze meses
IPN-3	Índice de Precipitação Normalizada na escala de três meses
IPN-6	Índice de Precipitação Normalizada na escala de seis meses

IPNO	Índice de Porcentagem Normal
ISSP	Índice de Severidade de Secas de Palmer
IVDN	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
NCEP	National Centers for Environmental Prediction
NDSC	Número de Dias sem Chuva
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OAN	Oscilação do Atlântico Norte
ODP	Oscilação Decadal do Pacífico
OMA	Oscilação Multidecadal do Atlântico
OMJ	Oscilação de Madden-Julian
PNM	Pressão ao Nível do Mar (PNM)
PRP	Precipitação
RH	Região Homogênea
RJ	Rio de Janeiro
RS	Rio Grande do Sul
SCM	Sistema Convectivo de Mesoescala
SEB	Sudeste do Brasil
SF	Sistemas Frontais
SMAS	Sistema de Monção da América do Sul
SP	São Paulo
TF	Transformada de Fourier
TJF	Transformada Janelada de Fourier
TO	Transformada de Ondeletas
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

Símbolos:

\mathbb{R}	Conjunto dos Números Reais
e	Constante irracional (base do logaritmo natural)
σ	Desvio-padrão
\neq	Diferença
\in	Elemento de

Ω	Frequência
$\Gamma(\alpha)$	Função matemática Gama
°	Grau
hPa	Hecto Pascal
=	Igualdade
\Rightarrow	Implica
$-\infty$	Infinito negativo
$+\infty$ ou ∞	Infinito positivo
ln	Logaritmo natural
>	Maior que
\bar{x}	média aritmética da precipitação
\leq	Menor ou igual que
<	Menor que
mm	Milímetro
'	Minuto
| |	Módulo
π	Número Pi
$\psi(t)$	Ondeleta-mãe
β	Parâmetro de escala
α	Parâmetro de forma
%	Porcentagem
Km ²	Quilômetro quadrado
$\sqrt{\quad}$	Raiz quadrada
''	Segundo
Σ	Somatório
W/m ²	Watt por metro quadrado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	18
2	JUSTIFICATIVA.....	21
3	OBJETIVOS.....	22
	3.1 Objetivo Geral.....	22
	3.2 Objetivos Específicos.....	22
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
	4.1 Aspectos climatológicos do estado de Minas Gerais.....	23
	4.1.1 Zona de Convergência do Atlântico Sul.....	24
	4.1.2 Sistemas Frontais.....	25
	4.1.3 Sistemas Convectivos de Mesoescala.....	27
	4.1.4 Convecção Orográfica.....	28
	4.1.5 Oscilação de Madden-Julian.....	29
	4.1.6 El Niño Oscilação Sul.....	30
	4.2 Índice de Precipitação Normalizada.....	31
	4.2.1 Aplicações do Índice de Precipitação Normalizada.....	32
	4.3 Análise multivariada de variáveis meteorológicas.....	34
	4.4 Análise de Ondeletas.....	37
5	MATERIAL E MÉTODOS.....	42
	5.1 Área de Estudo.....	42
	5.2 Dados Climatológicos.....	42
	5.3 Caracterização Climática.....	44
	5.4 Métodos.....	44
	5.4.1 Índice de Precipitação Normalizada.....	44
	5.4.2 Análises de Componentes Principais.....	48
	5.4.3 Análises de Agrupamentos.....	50
	5.4.4 Análises de Ondeletas.....	51
	5.4.5 A Transformada de Ondeletas.....	54
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
	6.1 Espacialização da precipitação em Minas Gerais.....	57
	6.2 Padrões espaciais e temporais do IPN-1.....	58
	6.3 Regiões Homogêneas do IPN-1.....	61

6.4	Características dos eventos secos e chuvosos do IPN-1.....	63
6.5	Padrões espaciais e temporais do IPN-3.....	74
6.6	Regiões Homogêneas do IPN-3.....	78
6.7	Características dos eventos secos e chuvosos do IPN-3.....	78
6.8	Análise de Ondeletas para dados mensais de precipitação.....	88
6.9	Análise de Ondeletas para dados diários de precipitação e de Radiação de Onda Longa (ROL)	95
7	CONCLUSÕES.....	104
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	106
	ANEXO.....	120

1 INTRODUÇÃO

Estudar o clima é procurar compreender os mecanismos atmosféricos e suas interações entre oceanos e continentes nas diferentes escalas de tempo, investigando assim as causas físicas dos fenômenos que impactam a natureza. O clima se caracteriza por apresentar variações sazonais importantes nos diversos parâmetros que o constituem e que são responsáveis por grandes transtornos ao meio ambiente. Para alguns setores da sociedade, tais como agropecuária, meio ambiente, recursos hídricos e/ou energéticos, é imprescindível conhecer e obter respostas para eventos de ordem natural. Waylen e Owusu (2014) definem o clima como algo que é esperado, enquanto o tempo é algo observado num dado instante ou período de tempo de curta duração. Para a climatologia, este mesmo conceito serve para descrever a possibilidade de eventos extremos, período ou intervalo de retorno, que é o intervalo de tempo médio esperado entre eventos de maior ou menor magnitude. Portanto, condições de extremos meteorológicos e seus impactos sociais decorrentes da presença na atmosfera têm sido uma preocupação constante dos pesquisadores de todo o mundo.

A precipitação é uma das variáveis meteorológicas mais importantes, por isso estudos mais realísticos da variabilidade na distribuição das chuvas produzem informações fundamentais que podem ser usadas para melhorar as estratégias de proteção do meio ambiente, previsão de enchentes e secas, planejamento agrícola, mudanças climáticas, dentre outros aspectos (GOCIC e TRAJKOVIC, 2013).

O monitoramento da precipitação é uma preocupação global e, por isso, políticas de previsão dos totais de chuva têm sido adotadas em todo o mundo. Nesse sentido, diversos mecanismos de alerta quanto à escassez ou excesso dos recursos hídricos tornam-se cada vez mais comuns. Assim, grande parte deles tem se estruturado através de índices de seca ou de chuva. Nesta pesquisa, utilizou-se o Índice de Precipitação Normalizada (IPN) a fim de detectar eventos de chuva ou de seca em diferentes escalas de tempo. A natureza do IPN permite ao pesquisador determinar a frequência de ocorrência de um evento anômalo numa escala de tempo específica para qualquer lugar do mundo a partir do histórico da precipitação (EDWARDS e MCKEE, 1997).

Criado nos Estados Unidos da América (EUA) por McKee et al. (1993), o IPN tem sido empregado com frequência por pesquisadores e órgãos operacionais de Meteorologia em todo o mundo. No Brasil, o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) utiliza o IPN para caracterizar anomalias de precipitação. Além do INMET, o IPN é também utilizado pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) através do Centro de Monitoramento e Mitigação

de Seca e Adversidades Hidrometeorológicas para monitorar e quantificar as secas no estado de São Paulo. Ressalte-se que, embora criado para monitorar secas, esse índice também pode ser usado para monitorar eventos chuvosos (SANSIGOLO, 2004; ALTAMIRANO, 2010).

Considerando o volume de informações do índice a ser analisado neste estudo, faz-se necessária a utilização de técnicas estatísticas adequadas para manipulá-lo. Assim, utilizou-se a Análise Fatorial em Componentes Principais (ACP) e a Análise de Agrupamentos (AA) por se tratar de ferramentas que permitem, muitas vezes, uma melhor representação, análise e interpretação de um conjunto de variáveis cujas particularidades e interrelação não poderiam ser evidenciadas à priori. A Análise de Componentes Principais é um procedimento matemático que usa uma transformação ortogonal para converter um conjunto de variáveis possivelmente correlacionadas em um conjunto de valores de variáveis não correlacionadas, chamadas Componentes Principais (CPs). A principal vantagem da ACP, diante de outras técnicas de análise de grande quantidade de dados, é que possibilita determinar padrões espaciais e temporais consistentes e detalhados de variáveis meteorológicas (WILKS, 2006; SANTOS, 2013; RAO et al., 2014).

Para a climatologia, investigar a frequência de ocorrência de eventos secos ou chuvosos, associando os fenômenos físicos inibidores ou responsáveis, é de fundamental importância. Diante disso, esta pesquisa fez uso da Análise de Ondeletas (AO), uma técnica matemática que atua na distribuição tempo-frequência ou, conforme outras nomenclaturas, tempo-escala de séries mensais e diárias de precipitação (PRP) e de séries diárias de radiação de onda longa (ROL). A AO é uma ferramenta poderosa para a análise de sinais não estacionários, permitindo identificar as principais periodicidades de uma série de tempo e sua evolução (TORRENCE e COMPO, 1998; ECHER et al., 2008). As ondeletas possuem propriedades matemáticas capazes de fornecer a informação de tempo e de frequência simultaneamente, ou seja, possibilitam representar a frequência-tempo da variável estudada (ARAÚJO, 2013). Devido à natureza dos sinais da precipitação, a análise de tempo-frequência em que a chuva ocorre revela características espectrais em função do tempo. As ondeletas podem ser utilizadas para a caracterização e medição de dados referentes a valores máximos e mínimos locais, como uma função de tempo e duração, alongando-se ou comprimindo-se ao longo do tempo (NAKKEN, 1999).

Segundo Abreu (1998), o estado de Minas Gerais sofre a influência de fenômenos meteorológicos de latitudes médias e tropicais, os quais imprimem à região características de um clima de transição, possuindo duas estações do ano bem definidas: uma seca e outra chuvosa. Portanto, esta pesquisa buscou, inicialmente, construir séries mensais e trimestrais

do Índice de Precipitação Normalizada para o estado de Minas Gerais a partir da série de dados de precipitação do período 1977-2012. Em seguida, foi feita a regionalização de áreas com características semelhantes dos padrões do IPN, utilizando a Análise Fatorial em Componentes Principais e a Análise de Agrupamentos. Finalmente, utilizou-se a Transformada de Ondeletras (TO) para discutir as variações de tempo-frequência nos padrões de chuva e de ROL, associando aos sistemas atmosféricos, oscilações intrassazonais e/ou mecanismos de interação entre oceano e atmosfera responsáveis pela dinâmica da chuva em Minas Gerais.

2 JUSTIFICATIVA

A precipitação é uma variável meteorológica determinante na definição das condições hídricas de uma região. Mudanças nos totais médios anuais da chuva acarretam grandes danos à sociedade. Sabe-se que tanto quantidades mínimas quanto registros pluviométricos excessivos trazem consigo inúmeros problemas. Se por um lado a precipitação intensa causa enchentes e deslizamentos de terra, por outro, a seca provoca redução nos níveis dos reservatórios que geram energia elétrica, diminuição das safras agrícolas e morte de animais. Estudar padrões climáticos de chuva em Minas Gerais torna-se relevante na medida em que se observa que esta unidade federativa é um importante centro agropecuário e industrial brasileiro, concentrando também algumas cidades com elevada população e, por isso, justifica-se a importância de se identificar eventos acima ou abaixo da média climatológica de chuva. Além disso, este trabalho permite mostrar que a falta ou o excesso de chuva em Minas Gerais traz à tona discussões com vistas à compreensão da dinâmica local, presumidamente influenciada por uma dinâmica atmosférica de escala maior, possibilitando descobrir possíveis mecanismos geradores dos valores máximos e mínimos da variável estudada, isto é, da precipitação. Por isso, a hipótese central aqui sugerida é que os padrões climatológicos diários, sazonais e/ou interanuais de chuva ocorridos no estado de Minas Gerais são decorrentes da influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul, da Oscilação de Madden Julian e do El Niño Oscilação Sul.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Analisar a variabilidade espaço-temporal da chuva através do Índice de Precipitação Normalizada e da Transformada de Ondeletas da precipitação e da Radiação de Onda Longa, associando aos mecanismos dinâmicos locais ou globais responsáveis pela precipitação no estado de Minas Gerais.

3.2 Objetivos Específicos

- Identificar padrões espaciais e temporais do Índice de Precipitação Normalizada nas escalas mensal e trimestral no estado de Minas Gerais;
- Obter Regiões Homogêneas do Índice de Precipitação Normalizada nas escalas mensal e trimestral no estado de Minas Gerais;
- Quantificar a ocorrência de eventos secos e chuvosos no estado de Minas Gerais utilizando a metodologia do Índice de Precipitação Normalizada proposta por McKee et al. (1993);
- Aplicar a Análise de Ondeletas às séries mensais de chuva e séries diárias de chuva e de Radiação de Onda Longa;
- Discutir os diferentes padrões climáticos de tempo-frequência da precipitação e a relação com sistemas meteorológicos, oscilações intrassazonais e/ou mecanismos atmosféricos atuantes na região.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A América do Sul tem regimes de precipitação tropical e extratropical que são afetados por diferentes sistemas meteorológicos de pequena, média e grande escalas (CAVALCANTI, 2012). Episódios de precipitação excessiva sobre o Sudeste do Brasil têm sido relacionados, por exemplo, a Sistemas Frontais, Zona de Convergência do Atlântico Sul e El Niño Oscilação Sul (CARVALHO et al., 2002; MINUZZI et al., 2005; LIMA et al., 2009; VASCONCELLOS e CAVALCANTI, 2010a, 2010b).

Sun et al. (2014) acreditam que há cada vez mais evidências entre a distribuição das variáveis meteorológicas e os modos de variabilidade climática em diferentes regiões do globo terrestre.

4.1 Aspectos climatológicos do estado de Minas Gerais

O início e o fim da estação chuvosa, assim como a intensidade e a variabilidade espacial e temporal da precipitação, são aspectos importantes na definição do clima de uma determinada região. Nas regiões tropicais e subtropicais, como a região Sudeste do Brasil, as datas de início e término da estação chuvosa e o total acumulado nesse período estão relacionados à variabilidade interanual da chuva nessa estação (ALVES et al., 2005).

A variabilidade da precipitação é uma característica climática importante. O conhecimento dessa característica pode nortear decisões com vistas à mitigação de danos decorrentes da irregularidade das chuvas. A região Sudeste do Brasil possui característica climática diversificada, devido a sua topografia, posição geográfica e, principalmente, aos aspectos dinâmicos da atmosfera, que incluem os sistemas meteorológicos de micro, meso e grande escalas, que atuam direta ou indiretamente no regime pluvial (MINUZZI et al., 2007).

As configurações da circulação troposférica, combinados com os efeitos topográficos, tornam-se subsídios ao entendimento dos centros de ação e dos sistemas atmosféricos que atuam sobre o estado de Minas Gerais, assumindo-os como aspectos importantes na análise das características que modulam o regime pluvial nas diferentes estações do ano. Por isso, destacam-se a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), os Sistemas Frontais (SF), os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCMs) e o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). Além disso, é importante mencionar as Oscilações Intrassazonais e a condição de transição da região Sudeste brasileira aos efeitos opostos do El Niño Oscilação Sul (ENOS), um fenômeno acoplado oceano-atmosfera constituído de duas

fases, uma quente (El Niño) e outra fria (La Niña) e considerado um importante modulador da variabilidade climática em diversas regiões do globo (ANDREOLI e KAYANO, 2005).

4.1.1 Zona de Convergência do Atlântico Sul

No Hemisfério Sul, durante os meses de verão, existe um fenômeno meteorológico que exerce um papel importante no regime de chuvas: a Zona de Convergência do Atlântico Sul. Sua principal característica é a persistência de uma faixa de nebulosidade orientada no sentido noroeste-sudeste, cuja área de atuação engloba o centro sul da Amazônia, as regiões Centro-Oeste e Sudeste, centro sul da Bahia, norte do estado do Paraná, prolongando-se até o sudoeste do oceano Atlântico. A ZCAS exerce um papel preponderante no regime de chuvas na região por onde atua, acarretando altos valores pluviométricos (FERREIRA et al., 2004).

Segundo Grimm (2011), uma das principais consequências da ZCAS é a ocorrência dos altos índices pluviométricos, principalmente no final da primavera e nos meses de verão. O início da estação chuvosa sobre boa parte do Centro-Oeste e Sudeste do Brasil ocorre, em média, na segunda quinzena de outubro. O pico da estação chuvosa, isto é, quando as chuvas mais intensas e frequentes acontecem, ocorre entre dezembro e fevereiro. Em meados de março e começo de abril, a atividade convectiva profunda se enfraquece sobre a região tropical (CARVALHO e JONES, 2009). Segundo esses autores, uma característica marcante da ZCAS é a sua rica variabilidade em diferentes escalas de tempo. Em escala sinótica, nota-se que a incursão de frentes frias sobre a Argentina e o sul do Brasil até latitudes mais baixas é acompanhada de um reforço da atividade convectiva no oeste-sudoeste da Amazônia, estendendo-se sobre a ZCAS.

Pesquisadores têm discutido com veemência a localização e as características espaciais da ZCAS. Grimm (2011) denota que a ZCAS está relacionada com o Sistema de Monção da América do Sul (SMAS). Um sistema de monção é definido pela inversão sazonal do vento nos baixos níveis da troposfera em resposta ao contraste térmico entre regiões continentais e oceânicas adjacentes. O SMAS tem relação direta com a ZCAS, modulando o ciclo sazonal da precipitação sobre a América do Sul tropical em distintas estações seca e chuvosa na região compreendida entre o equador e 25°S (SILVA, 2009).

Em muitas situações, imagens de satélite têm mostrado a atividade convectiva da ZCAS que pode se estender desde a Amazônia até o oceano Atlântico subtropical. Outras, porém, mostram a atuação desse sistema restrito apenas à região Sudeste do Brasil. Além

disso, alguns casos evidenciam a atividade convectiva intensa associada à ZCAS persistindo ativa por alguns dias, e em outras situações não persistem por muito tempo (CARVALHO e JONES, 2009).

Um dos fatores importantes para a localização da ZCAS é a topografia no centro-leste do Brasil, conforme demonstrado por Grimm et al. (2007). Segundo os autores, a topografia intensifica a precipitação, contribuindo para a manutenção da convecção na região através da geração de circulação ciclônica e convergência em baixos níveis (mecanismo ICSO, Instabilidade Condicional de Segunda Ordem). A manutenção da ZCAS deve-se à contribuição da umidade que pode ser gerada localmente pela evapotranspiração, ou transportada de outras áreas.

Aspectos orográficos exercem grande influência na circulação atmosférica na América do Sul durante a época de verão. Em geral, a ZCAS localiza-se na sua posição mais a leste em dezembro, principalmente em associação com a alta precipitação sobre o Brasil, o escoamento de nordeste sobre a parte leste da Bolívia e a baixa precipitação sobre o Altiplano. No mês de janeiro, a ZCAS posiciona-se mais a oeste, devido ao aumento da precipitação no Altiplano que é fortemente modulada pelo escoamento de ar úmido em baixos níveis na região leste dos Andes (CARVALHO e JONES, 2009).

A região Sudeste é a área mais afetada por eventos extremos de precipitação durante o verão, devido à influência de diversos sistemas meteorológicos na região, a exemplo da ZCAS (CAVALCANTI, 2012). Além disso, grande parte dessa região possui lavouras e atividade pecuária que dependem diretamente da regularidade da precipitação. Períodos extensos de precipitação podem afetar os grandes centros urbanos, causando enchentes e expondo vidas aos mais diversos riscos, principalmente nas cidades cuja infraestrutura é precária, com falta de saneamento, moradias às margens de encostas, vales de rios e córregos.

Segundo Jacobi et al. (2016), a Alta Subtropical do Atlântico Sul foi o principal fator responsável pela diminuição das precipitações do Sudeste brasileiro entre 2014-2015, pois a ASAS atuou como bloqueio atmosférico, impedindo o avanço de frentes frias e inibindo a formação da ZCAS.

4.1.2 Sistemas Frontais

Durante todo o ano, a atmosfera experimenta vários tipos de distúrbios transientes, tanto de origem tropical como extratropical. Os distúrbios transientes mais comuns são as frentes frias. Os sistemas frontais são de grande importância por provocarem mudanças

significativas no tempo em diversas partes do globo principalmente na região subtropical e de latitudes médias e altas. No Brasil, podem causar chuvas intensas, ventos fortes, geadas, com impactos, por exemplo, na agricultura e nos recursos hídricos (ANDRADE, 2005).

As frentes frias afetam o tempo sobre a América do Sul o ano inteiro. Durante o inverno, esses sistemas são acompanhados de massas de ar de latitudes altas que, muitas vezes, causam geadas e friagens em áreas agrícolas no Sudeste e Sul do Brasil (CAVALCANTI e KOUSKY, 2009). Os autores concluíram que em alguns casos, no verão, quando as frentes frias avançam para norte, interagem com o ar úmido e quente tropical, produzindo convecção profunda e chuvas fortes sobre o continente, causando excessiva precipitação e inundações, deslizamentos de encostas, além de ventos fortes e granizo. Além disso, observaram ainda que nessa época do ano as frentes frias estão frequentemente posicionadas ao longo da costa do Brasil, entre São Paulo e Bahia, na região da ZCAS.

Para Cavalcanti e Kousky (2009), existe uma sazonalidade na ocorrência de passagens de frentes frias, que são mais frequentes de maio a setembro e menos frequentes durante o verão do Hemisfério Sul. Para os autores, embora no verão ocorram passagens de frentes sobre o Sudeste do Brasil, induzindo a convecção e provocando precipitação nas regiões tropicais e subtropicais da América do Sul, estas nem sempre satisfazem ao critério considerado para a identificação de casos, que leva em conta a queda de temperatura, o aumento da pressão e a mudança na direção do vento.

Silva e Reboita (2011), ao estudarem a passagem de frentes frias na região sul de Minas Gerais no período de 2004 a 2010, contabilizaram 231 casos, com média anual de 33 frentes. Segundo os autores, a menor ocorrência de frentes no verão foi devido ao enfraquecimento dos gradientes de temperatura do Hemisfério Sul. No inverno, a resposta advém da atuação do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul que nessa época do ano está mais intenso e deslocado para oeste.

Assis et al. (2013) verificaram a passagem de frentes frias sobre Belo Horizonte, acompanhada por turbulências, fortes mudanças na direção e velocidade dos ventos e, normalmente, precipitações intensas. De fato, as frentes frias contribuíram para a ocorrência de chuvas durante a primavera e verão na capital mineira, especialmente quando associadas, por exemplo, à atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul.

Escobar (2014) buscou relacionar padrões de circulação em superfície e 500 hPa na América do Sul a eventos de anomalias positivas de precipitação no estado de Minas Gerais durante o mês de dezembro de 2011. Os resultados obtidos mostraram seis padrões principais em superfície e quatro padrões em 500 hPa. Em superfície, o segundo padrão de circulação foi

mais frequente, com o deslocamento de um sistema frontal pelo Sul e parte da região Sudeste do Brasil, atingindo o leste de São Paulo, Rio de Janeiro e o sul de Minas Gerais, podendo provocar episódios de chuva intensa sobre boa parte desses estados.

4.1.3 Sistemas Convectivos de Mesoescala

A convecção atmosférica caracteriza-se por ser organizada em diferentes escalas espaciais, observando-se desde células isoladas, de poucas centenas de metros, até grandes aglomerados convectivos, de milhares de quilômetros, com ciclos de vida da ordem de dias e compostos por diferentes tipos de nuvens (SILVA DIAS et al., 2009).

Os Sistemas Convectivos de Mesoescala representam um dos principais riscos meteorológicos em todo o mundo. A estrutura e intensidade desses sistemas são reguladas de forma significativa pelas condições meteorológicas ambientais, espaciais, pelos campos de vento, temperatura e umidade. Essas condições ambientais são determinadas por escalas sinóticas e/ou condições meteorológicas de grande escala que se desenvolvem em várias regiões de climas tropicais, subtropicais, de latitudes médias e regiões áridas ou semiáridas. Nestes climas, os SCMs ocorrem tanto em regiões continentais quanto oceânicas (TAKEMI, 2014).

Os Complexos Convectivos de Mesoescalas (CCMs) são conjuntos de cumulonimbus cobertos por densa camada de cirrus que podem ser facilmente identificados em imagens de satélite como sendo sistemas de nuvens aproximadamente circulares e com um crescimento explosivo num intervalo de tempo de 6 a 12 horas (SILVA DIAS, 1987).

Os CCMs evoluem ao longo de seu ciclo de vida, modificando sua intensidade, seu tamanho, sua forma e a composição das nuvens. Na fase inicial, são compostos quase que exclusivamente por células convectivas. Na fase madura, quando alcançam a maior área de cobertura de nuvens, são formados por diferentes partes: uma parte convectiva que apresenta aproximadamente 20% da área total; uma parte chamada de transição, composta por nuvens estratiformes e cumulonimbus em dissipação; e uma grande capa de nuvens cirrus, cobrindo aproximadamente 52% da área total. Embora as partes convectivas representem apenas 20% da área total, contribuem com aproximadamente 50% do total da precipitação, ocorrendo os outros 50% de precipitação nos 80% restantes da área (SILVA DIAS et al., 2009).

Para Reboita et al. (2010), complexos convectivos de mesoescala, bloqueios atmosféricos e brisas também atuam na região Sudeste do Brasil. Nesta região, os SCMs se

deslocam para leste no inverno, tendo um comportamento mais zonal, enquanto que, no verão, este deslocamento torna-se de sudoeste para nordeste (GUEDES et al., 1994).

4.1.4 Convecção Orográfica

A distribuição espacial da precipitação em áreas de montanha é alvo de estudos, por exemplo, na meteorologia, hidrologia e agronomia. Na maioria dos casos, estudos observacionais da distribuição da chuva concluíram que a precipitação acumulada tende a aumentar com a altura do terreno (BLANCO, 1999). Prates e Silva Dias (1994, 1996) simularam o efeito da topografia na distribuição espacial da chuva em Minas Gerais.

De acordo com Ávila et al. (2009), os maiores valores de precipitação em Minas Gerais ocorrem próximos à Serra da Mantiqueira e, em alguns casos, junto à Serra da Canastra, o que justifica a influência orográfica das serras na ocorrência das precipitações, como constatado por Mello et al. (2007), que conduziram um estudo sobre a estiagem no estado de Minas Gerais e concluíram sobre a relevante influência da topografia no favorecimento de precipitações nas vertentes de sistemas como Espinhaço, Mantiqueira e Canastra.

Para Lima e Fernández (2011), quando a atmosfera local encontra-se estável, o efeito orográfico é restrito aos níveis mais baixos, mais próximos das montanhas e influi na distribuição da chuva. Quando instável, o efeito orográfico potencializa e redistribui o volume da precipitação por uma área maior. Para os autores, no Sudeste do Brasil, o principal responsável pela chuva orográfica parece ser o fluxo de ar, representado pela atuação dos sistemas atmosféricos regionais (ventos predominantes de sudeste), pela brisa marinha e pela própria instabilidade potencial da atmosfera circundante (convecção).

De uma forma geral, pode-se relacionar a intensidade da precipitação com a instabilidade do sistema e/ou com a altura e inclinação das montanhas. Nesse sentido, Cardoso Neta e Gomes (2013) analisaram a ocorrência de um sistema convectivo em Minas Gerais que resultou em mais de 400 mm de precipitação ao longo das 15 horas de duração. Segundo as autoras, a maior parte dessa precipitação (80%) ocorreu entre a maturação e a dissipação do sistema.

Para Santos e Garcia (2016), no que concerne ao aspecto meteorológico, a precipitação é uma das variáveis mais importantes para a sociedade e ainda mais expressiva em Minas Gerais, pois a região é afetada por precipitação de diferentes origens: orográfica, ciclônica e de sistemas frontais, com chuvas de longa duração e de baixa a média intensidade.

4.1.5 Oscilação de Madden-Julian

A Oscilação de Madden-Julian (OMJ) é um fenômeno intrassazonal que foi inicialmente descrito por Madden e Julian, em 1971, como uma oscilação observada nos padrões do vento zonal nos níveis de 850 e 150 hPa sobre a Ilha Canton, com períodos que variam de 41 a 53 dias. Desde então, muitos estudos foram realizados com a intenção de proporcionar uma melhor compreensão sobre a referida oscilação (OLIVEIRA et al., 2015).

Segundo Castro (2007), Madden e Julian não encontraram evidências de oscilação intrassazonal na baixa troposfera no Atlântico e oeste da África. Por isso, estudaram campos de vento zonal, razão de mistura e temperatura, investigando a convergência (divergência) em baixos (altos níveis). Os resultados apontaram que os distúrbios convectivos tinham origem no oceano Índico. Posteriormente, vários estudos detectaram uma propagação para leste das anomalias de radiação de onda longa emergente e, por consequência, das células convectivas num período entre 40-50 dias, caracterizando assim a OMJ.

Atuando não apenas sobre o tempo e o clima ao longo dos trópicos, como também impulsionando as teleconexões globais, a OMJ está relacionada aos impactos locais e remotos. Por isso, estudos sobre tal oscilação são de grande interesse porque sugerem o potencial de se fazer previsões de alcance numa escala de tempo maior. Devido ao importante papel que as monções exercem sobre o clima global, muitas pesquisas têm se dedicado a compreender a influência da OMJ nas monções da América do Norte e do Sul, África, Índia, Ásia e Austrália (HENDON e LIEBMANN, 1990; VENTRICE et al., 2013).

Kayano e Kousky (1992) investigaram a variabilidade intrassazonal nos trópicos por meio de funções ortogonais empíricas das anomalias de radiação de onda longa. Segundo os autores, uma característica dominante no primeiro modo de variabilidade da radiação é um dipolo orientado na direção leste/oeste, sobre o oceano Índico/Pacífico oeste que se assemelha à oscilação intrassazonal (período de 30 a 60 dias) de Madden e Julian. Os resultados indicaram que as amplitudes do primeiro modo de variabilidade da radiação puderam ser utilizadas como índices para monitorar oscilações intrassazonais e para inferir épocas favoráveis à convecção em certas regiões tropicais.

Obregon (2001) utilizou dados diários e mensais de precipitação a fim de discutir a variabilidade intrassazonal sobre o Brasil. Os resultados obtidos mostraram a presença de padrões espaciais das oscilações intrassazonais de 20 a 40 dias para as regiões do Brasil, em diferentes estações. No caso da região Sudeste, as oscilações foram detectadas durante a primavera.

Vitorino (2002) descreveu a variabilidade atmosférica intrassazonal da radiação de onda longa emergente, da pressão ao nível do mar (PNM) e da vortacidade relativa em altos níveis sobre a América do Sul e oceanos adjacentes compreendendo o período 1979-1996. Para a autora, em termos de investigação regional da atmosfera, observaram-se características distintas nas escalas intrassazonais das oscilações de ROL e de PNM para cada sub-região estudada. Além disso, foi evidenciada uma defasagem de 30-60 dias entre ROL e PNM para as sub-regiões do Nordeste, sul da Amazônia e Sudeste do Brasil.

Wanderley et al. (2016) identificaram tendências mensais em dados médios de temperatura mínima e máxima do ar e precipitação entre 1969-2010 na Península Antártica. Os resultados indicaram aumento de ambas às temperaturas analisadas, com tendência maior para a mínima, principalmente nos meses de outono-inverno. A precipitação demonstrou uma redução para quase todos os meses. O aumento da temperatura na Península Antártica foi influenciado pela Oscilação de Madden-Julian que explica de 10 a 20% do aquecimento interdecadal sobre a Península Antártica e pelas fases dos ENOS.

4.1.6 El Niño Oscilação Sul

Os fenômenos acoplados entre oceano e atmosfera vêm sendo estudados há muitos anos em diferentes partes do mundo. Entre eles, os que são mais conhecidos são aqueles relacionados aos impactos dos fenômenos oceânicos no clima global. O ENOS é caracterizado por anomalias na Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do oceano Pacífico equatorial (GRIMM et al., 1998; CATALDI et al., 2010).

O ENOS provoca alterações na circulação atmosférica que afeta os elementos meteorológicos, principalmente a precipitação pluviométrica, em todas as regiões do Brasil. Em anos de El Niño, fase positiva do fenômeno, a precipitação pluviométrica é frequentemente acima da normal na região Sul e partes da região Sudeste do Brasil e em anos de La Niña, fase negativa do fenômeno, a precipitação tende a diminuir nessas mesmas regiões do país (PAULA, 2009). Para o nordeste brasileiro, os padrões ocorrem de modo oposto em relação às regiões acima citadas.

A evolução dos fenômenos atmosféricos, em escalas mais regionais ou locais, depende fortemente das condições da superfície local, tais como temperatura, umidade do solo, vegetação, topografia e TSM. No entanto, deve-se mencionar a influência de fenômenos atmosféricos de escala global, como é o caso do ENOS (TOMAZIELLO E GANDU, 2013). Para esses autores, esse mecanismo interfere, por exemplo, na variabilidade interanual da

ZCAS. Carvalho et al. (2004) mostraram que a(s) fase(s) quente (fria e neutra) do ENOS favorece (favorecem) a ocorrência de ZCAS oceânica (continental).

Na região Sudeste do Brasil, a resposta ao fenômeno ENOS não é tão linear quanto no cone Sul da América do Sul, talvez porque a região depende mais do que ocorre sobre o Atlântico, e a resposta no Atlântico não é tão simétrica quanto no Pacífico. A pouca consistência das anomalias no Sudeste brasileiro é devida justamente ao caráter de transição da região, pois as anomalias podem deslocar-se para norte ou para sul entre um evento e outro podendo, assim, alterar o seu sinal em relação a eventos anteriores (GRIMM et al., 1998).

Carvalho et al. (2002) consideram que em São Paulo observam-se mais eventos extremos de chuvas durante o El Niño, os quais são sensíveis à intensidade da Zona de Convergência do Atlântico Sul. Segundo Minuzzi et al. (2005), durante a fase quente do ENOS ocorre irregularidade na distribuição de chuvas mineiras, visto que estas tendem a ficar abaixo da média na metade nordeste, enquanto se dá o oposto na metade sudoeste do estado. Além disso, observou-se que os eventos de 1982/83 e 1997/98 foram os de maior influência em algumas regiões do estado. O primeiro ocasionou anomalias acima da média, principalmente na parte sudoeste de Minas Gerais, enquanto o outro originou chuvas abaixo da média, em especial na porção nordeste da região estudada.

De acordo com Santos (2011) e Grim (2015), a primavera é o período em que sofre maior influência do ENOS, e é justamente nesse período que começa a estação chuvosa em boa parte do Brasil, principalmente sobre a região Sudeste. Para os autores, o padrão de teleconexões nessa época indica que as regiões Sul e Nordeste do Brasil apresentam padrões inversos de variabilidade das chuvas.

4.2 Índice de Precipitação Normalizada

A utilização de índices de seca ou de chuva pode colaborar na compreensão de períodos com maior ou menor ocorrência de chuva em certo local ou região. Muitos desses índices necessitam de um conjunto de dados de um longo período. Além disso, alguns se baseiam, muitas vezes, em diferentes variáveis meteorológicas (por exemplo, precipitação ou temperatura do ar ou evapotranspiração), ou no escoamento superficial ou umidade do solo, dentre outras variáveis que, quando combinadas, podem identificar o início de um período de seca ou de maiores valores de chuvas. Porém, nem sempre as variáveis usadas para o cálculo de um determinado índice estão disponíveis, por isso McKee et al. (1993) propuseram um índice baseado apenas em dados de precipitação e o denominaram de Índice de Precipitação

Normalizada. Este índice identifica a ausência ou o aumento de precipitação em distintas escalas de tempo. Originalmente, o IPN foi calculado em escalas de tempo de três, seis, doze, vinte e quatro, e quarenta e oito meses.

McKee et al. (1993) também estabeleceram critérios para um evento de seca para qualquer uma das escalas de tempo mencionada. Segundo os autores, a seca ocorre sempre que o valor do IPN é predominantemente negativo e termina quando o valor do IPN se torna positivo. Para o cálculo do IPN, deve-se utilizar uma base de dados de precipitação com pelo menos 30 anos, sendo ajustada por meio da distribuição Gama, que posteriormente é transformada em uma distribuição normal, que por definição, apresenta sua média com valor zero e variância unitária.

O IPN tem a vantagem de ser bastante simples, quando comparado a outros índices, levando-se em consideração que utiliza apenas dados de precipitação. Por isso, foi o índice escolhido para compor esta pesquisa. De acordo com Santos (2013), esse índice possibilita descrever condições importantes da variabilidade da chuva para diversas aplicações na meteorologia, agricultura e hidrologia. Para o autor, outra vantagem do IPN, é a versatilidade temporal, útil para a análise da dinâmica das secas, especialmente na determinação do início e fim, as quais têm sido difíceis de controlar com outros índices. Além disso, outro aspecto positivo do IPN é proveniente de sua padronização, o que garante que pode ser aplicado à frequência de eventos extremos em qualquer local e em qualquer escala de tempo (HAYES et al., 1999; ALTAMIRANO, 2010).

4.2.1 Aplicações do Índice de Precipitação Normalizada

Desde a criação do IPN, por McKee, para quantificar o déficit de precipitação para uma dada escala de tempo e local, surgiram diversos trabalhos que o utilizaram na identificação de eventos extremos de seca e de chuva em várias regiões do mundo.

Sansigolo (2004) utilizou séries históricas do Índice de Precipitação Normalizada em Piracicaba-SP (1917-2001) para compará-las com as séries correspondentes do Índice de Severidade de Secas de Palmer (ISSP) usando análise espectral. O ISSP apresentou oito periodicidades significativas, explicando cerca de 57% da variância total, enquanto os vários IPNs (1-60 meses) não apresentaram nenhuma periodicidade significativa. O ISSP e o IPN estiveram linearmente correlacionados.

Cañón et al. (2007) estudaram a distribuição espacial da precipitação ao longo da Bacia do rio Colorado, sudoeste dos Estados Unidos, através do Índice de Precipitação

Normalizada, e sua relação com a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) e El Niño Oscilação Sul. Como resultado, os autores observaram que anos de El Niño apresentam condições favoráveis para situações extremamente úmidas, enquanto apenas padrões muito secos são predominantes durante anos de La Niña. Oscilações plurianuais comuns entre IPN, Oscilação Decadal do Pacífico e séries temporais de ENOS foram também estudadas. A ocorrência de valores extremos de IPN associados ao ENOS e ODP foi avaliada como um produto comum desses índices que interferem nas condições de umidade no período em que atuam.

Altamirano (2010) apresentou uma climatologia de eventos chuvosos e secos severos, extremos e muito extremos para as regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul do Brasil, usando o Índice de Precipitação Normalizada para o período 1958-2001. As regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul apresentaram maiores porcentagens de eventos chuvosos que eventos secos. Os estados de Goiás, Tocantins, Bahia e Mato Grosso apresentaram as maiores porcentagens de eventos chuvosos, enquanto Rondônia, Mato Grosso do Sul, Rio Grande do Sul e Santa Catarina tiveram as maiores porcentagens de eventos secos. Os resultados indicam que os IPN-1 (mensal) e IPN-3 (trimestral) são espacialmente e temporalmente variáveis. As maiores escalas (IPN-6 e IPN-12) responderam mais lentamente ao processo de déficit ou excesso de chuvas, mostrando, respectivamente, a ocorrência de secas ou chuvas de longa duração, sendo recomendadas para monitorar grandes áreas.

Blain e Kayano (2011) utilizaram dados mensais de precipitação para a cidade de Campinas-SP no cômputo do Índice de Precipitação Normalizada. Com isso, os autores puderam analisar a variabilidade do IPN mensal entre os anos de 1890 e 2007. Sob o ponto de vista acadêmico, o tratamento probabilístico e padronizado dos déficits/excesso de precipitação pluvial empregado no cálculo do IPN o tornaram um interessante índice alternativo na investigação de forçantes climáticas condicionantes/moduladoras do clima da região estudada.

Batista Júnior (2012) avaliou a ocorrência de eventos extremos na Bacia do rio Guandu (Espírito Santo) através do Índice de Precipitação Normalizada. Foram realizados estudos compostos por análises dos IPN-3, IPN-6 e IPN-12 em diferentes tratamentos temporais. Segundo o autor, os resultados encontrados validaram a utilização desse índice na caracterização de diferentes tipos de secas.

Yan-jun et al. (2012) discutiram a intensidade de extremos secos e chuvosos para trinta e cinco estações meteorológicas na Bacia do rio Huaihe (China). O IPN foi aplicado para analisar uma série de dados de precipitação para o período de 1961 a 2010. Os resultados mostraram que a frequência de eventos secos na Bacia do rio Huaihe diminuiu nos últimos

anos do século 20 e aumentou no início do século 21. Secas leve ou moderada prevaleceram, enquanto casos de secas severas raramente ocorreram.

Gocic e Trajkovic (2013) utilizaram o Índice de Precipitação Normalizada como entrada numa Análise de Componentes Principais para identificar os padrões de seca a partir de dados de 12 estações sinóticas localizadas na Sérvia durante o período 1980-2010. Dois períodos principais de seca foram detectados (1987-1994 e 2000-2003). A análise mensal da série de precipitação sugeriu que todas as estações tiveram uma tendência decrescente em fevereiro e setembro. Sazonalmente, a precipitação mostrou tendências crescentes no outono e inverno, enquanto que a maioria das estações não apresentou tendência significativa em escala anual.

Teixeira et al. (2013) analisaram a ocorrência de extremos de chuva utilizando o número de dias sem chuva (NDSC), o índice de porcentagem normal (IPNO) e o IPN para a localidade de Bagé-RS. O ajuste da função de probabilidade Gama aos dados do estudo foi comprovado por meio do teste Qui-quadrado. Os resultados indicaram que tanto o NDSC quanto o IPNO foram capazes de detectar os eventos de seca extrema e severa que contribuíram para a diminuição no rendimento da soja em Bagé. Os anos de ocorrência de seca classificada como severa e extrema coincidem com os anos de ocorrência do fenômeno La Niña. Dos 1164 meses analisados, quanto aos valores de IPN, 6,8% (79) foram classificados como eventos de seca severa e extrema.

Stevens e Ruscher (2014) aplicaram o Índice de Precipitação Normalizada e a Análise de Correlação Canônica (ACC) para descobrir a relação entre a chuva local da Bacia dos rios Apalachicola-Chattahoochee-Flint (ACF) nos Estados Unidos e quatro mecanismos climáticos: Oscilação Multidecadal do Atlântico (OMA), Oscilação do Atlântico Norte (OAN), Oscilação Decadal do Pacífico e Índice de Oscilação Sul (IOS). Dois testes foram aplicados. No primeiro teste, o IPN revelou relações principalmente com OMA e OAN. O segundo teste mostrou as maiores contribuições e variância explicada no IPN de escala bianual, evidenciando a contribuição da Oscilação Multidecadal do Atlântico e da Oscilação Decadal do Pacífico.

4.3 Análise multivariada de variáveis meteorológicas

As técnicas de Análise Multivariada foram introduzidas em estudos meteorológicos na década de 1950, por Lorenz. A partir daí, têm sido empregadas por pesquisadores em todo o mundo com diferentes finalidades. A Análise Fatorial em Componentes Principais e a

Análise de Agrupamentos são geralmente aplicadas para identificar e classificar padrões espaciais e temporais que servirão de base para caracterizar a variabilidade das variáveis meteorológicas, e associá-la aos mecanismos atmosféricos responsáveis.

Fragoso e Gomes (2008), ao estudarem a região sul de Portugal, aplicaram ACP a dados de chuva para identificar padrões espaciais de precipitação associados a eventos intensos. Os resultados mostraram que na região de Algarve as chuvas de forte caráter torrencial foram mais frequentes. A maior predominância de dias com chuva ocorre no outono e no início do inverno. Através da combinação da ACP e do método de agrupamento k-means, quatro diferentes padrões de precipitação foram obtidos. Cinco tipos de sistemas de circulação foram identificados, indicando uma considerável diversidade entre as condições de circulação atmosférica de grande escala, favorecendo a ocorrência de chuvas torrenciais.

Stathis e Myronidis (2009) aplicaram ACP a uma série de dados de 35 anos de precipitação em 75 estações meteorológicas na Tessália (Grécia Central). O objetivo foi determinar padrões de precipitação na região. Duas componentes principais foram obtidas e descreveram 87,7% da variância total dos dados. A primeira componente principal estava relacionada com a frequência de ciclones que atravessam a região, enquanto a segunda descreveu a ocorrência de anticiclones e tipos de tempo não gradientes (não teve padrão bem definido ou associado a nenhum sistema de escala sinótica). Ou seja, a primeira componente remeteu ao período chuvoso da região e a segunda componente explicou as chuvas de verão.

Ellouze et al. (2009) estudaram a variabilidade espacial e temporal das características das chuvas no sul da Tunísia. Análise de Componentes Principais e vários métodos de regressão foram utilizados em doze estações (1930-2000) para descobrir a natureza da distribuição das chuvas e as variáveis dominantes relacionadas com a sua variabilidade. Foi utilizada a rotação Varimax e o critério de Kaiser para melhor descrever as componentes principais. Na série mensal, três componentes principais foram encontradas, explicando 69% da variância total dos dados. A variabilidade da precipitação mostrou-se dependente das condições sazonais. Por outro lado, os padrões espaciais anuais foram regidos principalmente pela topografia e influência costeira, apresentando também três componentes principais que, desta vez, explicaram 90% da variabilidade da chuva. Quatro regiões são delineadas com base na projeção sobre o plano fatorial, mostrando a influência da topografia e da sazonalidade sobre a variabilidade da precipitação anual na região estudada.

Richman e Adrianto (2010) reduziram e regionalizaram um conjunto de dados de Pressão ao Nível do Mar da América do Norte e Europa utilizando Análises de Componentes Principais e de Agrupamento, respectivamente. O agrupamento não hierárquico k-means

mostrou-se mais preciso em relação aos métodos hierárquicos. Os resultados encontrados sugeriram que, inequivocamente, a classificação da PNM mostrou-se coerente a partir da AA.

Amanajás (2011) empregou o método da ACP para encontrar os principais padrões climatológicos de precipitação na Amazônia oriental, relacionando-os com os mecanismos climáticos dos oceanos Pacífico e Atlântico tropicais. Os resultados obtidos pela ACP mostraram a existência de três padrões pluviométricos bem definidos que explicaram aproximadamente 92% da variância total dos dados. O padrão dominante definiu áreas de chuva que são influenciadas pela atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). O segundo padrão espacial relacionou-se aos eventos de mesoescala, tais como as linhas de instabilidade que favorecem a ocorrência de chuvas na região, entre maio e agosto. E o terceiro padrão espacial evidenciou a influência da ZCAS, sistema atuante no final da primavera e início do verão, bem como de sistemas de escala local.

Escobar e Seluchi (2012) realizaram uma classificação dos campos de pressão atmosférica ao nível médio do mar sobre a América do Sul, durante as estações de verão e inverno, utilizando a técnica de Análise de Componentes Principais numa série de dados de reanálise do National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR) para o período 1985-2010. Os resultados destacaram cinco padrões de circulação que representam aproximadamente 80% dos casos analisados. Durante o verão, a Baixa do Chaco (BCH), localizada entre o norte da Argentina, Paraguai, Mato Grosso do Sul e o sul da Bolívia, está associada principalmente com dois padrões sinóticos. A Baixa do Noroeste da Argentina (BNOA) está associada apenas com um padrão sinótico, similar ao campo médio sazonal. No inverno, a BCH não aparece, confirmando seu caráter térmico, gerada principalmente pela liberação de calor latente, produto da convecção observada na área de atuação deste sistema. A BNOA também está associada apenas com um padrão sinótico durante essa estação. Este padrão é similar ao obtido no verão, porém representando menor porcentagem de variância e relacionado principalmente com perturbações sinóticas.

Omondí et al. (2012) investigaram os padrões espaço-temporais dos modos de variabilidade da precipitação decenal na África oriental e o potencial de previsibilidade dessa variável a partir da temperatura da superfície do mar. Utilizaram dados observados de precipitação de 1920 a 2004 e dados globais de TSM para o período 1950-2004. ACP, Correlação Simples (CS) e Correlação Canônica foram empregadas. Os resultados mostraram sinais decenais nos dados de chuva entre março e maio e de outubro a dezembro. Nos meses de junho a agosto, no entanto, os ciclos com período de 20 anos foram predominantes. A rotação das componentes principais da TSM apresentou correlações positivas significativas

com as correlações canônicas no período de março a maio sobre o oceano Índico equatorial central.

Moura et al. (2013) utilizaram a metodologia da Análise de Componentes Principais rotacionadas para classificar a sequência sinótica de campos de pressão ao nível médio do mar e da altura geopotencial em 500 hPa, associados à ocorrência de precipitação intensa na cidade do Rio de Janeiro – RJ, durante o período de 1997-2010. Os resultados mostraram três tipos de padrões sinóticos que causaram eventos extremos de chuva, representando aproximadamente 56% da variância total dos casos. O padrão dominante mostrou a passagem de frentes frias com trajetória predominantemente zonal. O segundo padrão estava relacionado ao ingresso de frentes frias clássicas, acompanhadas de intensos anticiclones pós-frontais. Por último, observou-se um padrão relacionado ao posicionamento de um anticiclone a leste do Rio Grande do Sul, que gera ventos de quadrante sul no Rio de Janeiro.

Santos (2013) aplicou ACP e Agrupamentos para determinar padrões do Índice de Precipitação Normalizada e regiões homogêneas de eventos extremos de chuva no estado do Pará. Os resultados mostraram três regiões homogêneas de precipitação, respondendo, respectivamente, ao deslocamento norte-sul da ZCIT, à influência da ZCAS e aos sistemas frontais juntamente com a convecção local.

Fernández-González et al. (2014) descreveram, através da Análise de Componentes Principais, a influência da TSM do Atlântico norte e do Mediterrâneo sobre a precipitação de inverno na Península Ibérica, de outubro de 1951 a setembro de 2011. A ACP foi aplicada para condensar as informações fornecidas pelos 1431 pontos de grade da TSM com um pequeno número de variáveis. As componentes principais extraídas serviram de entrada para um algoritmo de regressão linear múltipla, a fim de obter uma estimativa da precipitação de inverno em cada bacia hidrográfica. O processo de validação mostrou que o algoritmo explicou quase 50% da variabilidade interanual da precipitação nas bacias da Península Ibérica.

4.4 Análise de Ondeletas

Em meados da década de 1940, um pesquisador chamado Dennis Gabor percebeu que a aplicabilidade da Transformada de Fourier (TF) em séries temporais não estacionárias apresentava limitações. Isso se tornou um problema, visto que tais séries temporais são a maioria dos fenômenos encontrados na natureza. Por isso, Gabor procurou modificar a TF utilizando como critério a divisão da série temporal em vários segmentos de comprimentos

fixos, aplicando, posteriormente, a TF a cada um desses segmentos. Esse método ficou conhecido como a Transformada Janelada de Fourier – TJF (ARAÚJO, 2013). Embora a TJF de Gabor tenha dado uma contribuição enorme para o estudo de séries temporais não estacionárias, havia ainda dois problemas para serem solucionados: o primeiro era o fato da janela da TJF ser fixa, não permitindo modificações após sua aplicação; o segundo dizia respeito às funções trigonométricas possuírem energia infinita, isto é, são limitadas apenas entre $-\infty$ e ∞ (BOLZAN, 2006).

No início da década de 1980, o francês Jean Morlet percebeu os dois problemas ao aplicar a TJF em séries temporais de ecos geofísicos na busca de poços petrolíferos (BOLZAN, 2006). Assim, Morlet se deparou com a necessidade de desenvolver uma suposta função matemática base, a ondeleta-mãe, ψ (psi), que possuísse energia finita e que fosse totalmente capaz de dilatar ou comprimir, suprindo as limitações da TJF. Pouco tempo depois, Alex Grossmann juntou-se a Morlet na busca dessas funções matemáticas base que possuíssem características de pequenas ondas. Desta forma, construíram as bases matemáticas da teoria de ondeletas, com ênfase nas representações de sinais por “blocos construtivos” os quais Grossmann e Morlet chamaram de “Ondelette” referindo-se às “pequenas ondas”; daí teve origem o termo em inglês “Wavelets” ou, em português, “Ondaletas”, traduzido por Moretin, em 1999 (BARBOSA e BLITZKOW, 2008; SANTOS et al., 2012).

Torrence e Compo (1998) elaboraram um guia prático para análise de ondeletas a partir de exemplos tirados de séries temporais do El Niño Oscilação Sul. O guia inclui, por exemplo, uma comparação entre Transformada de Ondeletas e a Transformada Janelada de Fourier, mencionando ainda a importância da escolha de uma função ondeleta base adequada à natureza da variável a ser estudada, bem como a relação entre a escala de ondeleta e a frequência de Fourier. Além disso, o trabalho mostra testes de significância estatística para os espectros de potência de ondeletas, estabelecendo níveis de significância e intervalos de confiança. O ajuste do tempo ou escala pode ser usado para aumentar a confiança do espectro de ondeletas. A abordagem do trabalho constitui-se um excelente roteiro para a compreensão da técnica de ondeletas.

Ainda no que diz respeito a casos não estacionários, diversos estudos deram ênfase aos diferentes aspectos desses processos no domínio da frequência, definindo-se o chamado espectro dependente do tempo (MORETTIN, 1999). O estudo de sinais não estacionários exige abordagens matemáticas robustas de análise para poder compreender fenômenos físicos que estão agindo em qualquer sistema natural. Entende-se como característica não estacionária as séries temporais cujos momentos estatísticos, média, variância, etc., variam em

qualquer segmento tomado nesta série (BOLZAN, 2004). Este autor entende ainda que a ideia central da análise de ondeletas consiste em decompor um sinal em diferentes níveis de resolução, processo conhecido como Análise de Multirresolução (AMR). Este processo permite a decomposição de um sinal em vários níveis de resolução de modo a reter as características principais do sinal original.

Segundo Labat (2005), o objetivo básico da análise de ondeletas é determinar a frequência (ou escala) presente num sinal e determinar a variação temporal desta frequência. Esta propriedade está em completo contraste com a análise de Fourier. Portanto, a transformada de ondeletas é a ferramenta matemática apropriada quando os sinais são caracterizados por eventos de alta frequência localizada ou quando os sinais são caracterizados por um grande número de processos de escala variável. Devido a sua propriedade de localização tempo-escala, a Transformada de Ondeletas permite rastrear a evolução temporal dos processos em diferentes escalas do sinal.

A Transformada de Fourier é comumente utilizada no estudo das periodicidades de séries geofísicas. Na TF, a série é considerada estacionária e as periodicidades presentes em toda a série são obtidas. Entretanto, com o uso da TO, a decomposição é realizada não somente na frequência, como na TF, mas também no tempo, ou seja, a TO produz um espectro de potência decomposto em tempo e escala (frequência) denominado espectro de potência local da ondeleta. Com isso, esta técnica permite tanto caracterizar a intermitência dos sinais geofísicos, quanto indicar possíveis interações entre os picos de variância em diversas escalas temporais (GUEDES, 2005).

A variabilidade da radiação de onda longa atmosférica e da vorticidade relativa sobre a América do Sul foi estudada por Vitorino et al. (2006) para o período de 1979 a 1996, utilizando a função ondeleta contínua de Morlet. A análise focou na variação espacial da convecção em escalas intrassazonais e submensais, verificadas através de escalogramas. Oscilações em períodos de 7 a 15 dias também foram observadas em latitudes tropicais e extratropicais na primavera e no inverno, indicando que os distúrbios transientes desempenham um papel mais proeminente. Quanto à vorticidade relativa, a intensidade de energia nos trópicos foi mais alta na primavera e no verão, enquanto que nas regiões subtropicais e extratropicais prevaleceu nos meses de outono e inverno. A dinâmica para períodos de 25 e 45 dias da vorticidade relativa indica uma possível correlação com ondas de Rossby sobre o leste do oceano Pacífico tropical, principalmente durante o verão. No inverno, as oscilações de 7 e 15 dias da vorticidade relativa são mais frequentes em latitudes mais altas.

Para Cerqueira (2010), diversos estudos utilizam modelos capazes de descrever processos físicos, introduzindo suposições que permitam a obtenção de propriedades probabilísticas e estatísticas desejáveis. Os métodos usados em séries temporais baseiam-se fortemente nos conceitos de estacionariedade e linearidade. Contudo, há certas áreas do conhecimento científico nas quais os modelos não estacionários e não lineares estão frequentemente presentes, como é o caso dos estudos na área de meteorologia, onde os sinais de propagação no tempo e no espaço sofrem grande variabilidade.

Blain e Kayano (2011) aplicaram a Transformada de Ondeletas nos dados mensais de 118 anos do índice padronizado de precipitação na localidade de Campinas-SP, entre os anos de 1890 e 2007. Por meio de análises espectrais e testes não paramétricos, verificou-se uma variabilidade na escala de três a quatro anos. Contudo, não foi possível observar marcante influência do fenômeno El Niño Oscilação Sul nas condições mensais de variabilidade climática na localidade de Campinas. A longo prazo, observou-se ainda uma tendência de intensificação nas condições de déficit de precipitação pluvial durante o mês de agosto, enquanto nos demais meses não foram vistas alterações significativas.

Chen et al. (2011) analisaram dados mensais de precipitação em 36 estações pluviométricas na bacia do rio Dongjiang, sul da China, para o período 1956-2002, usando o método de Transformada de Ondelela contínua e o teste de tendência de Mann-Kendall. Os resultados indicaram que: (1) a precipitação aumenta na primavera e no inverno, diminuindo nos meses de verão e outono; (2) a distribuição espacial da anomalia de precipitação é semelhante à tendência de precipitação; (3) as mudanças de precipitação na bacia do rio Dongjiang são controladas principalmente pelas monções do Sudeste Asiático.

Quiroz et al. (2011) procuraram reconstruir séries de precipitação diária a partir de dados de pluviômetros e do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) para o planalto andino centrado em torno do lago Titicaca na fronteira com o Peru e a Bolívia. A TF e a TO foram usadas para estimar o tempo de resposta entre a precipitação e a vegetação na região. A análise de ondeletas mostrou-se eficaz, fornecendo mecanismos para separar a tendência do ruído e possibilitando saber quando um evento ocorre e qual sua importância relativa ou variância no conjunto de dados.

Braga et al. (2014) fizeram uma análise diagnóstica da precipitação mensal para o estado da Paraíba, relacionando-a com a TSM, nas regiões de monitoramento do Pacífico equatorial e Atlântico tropical para os anos 1962-2007. Para isso, utilizaram a técnica da Transformada de Ondeletas e a análise estatística dos mínimos quadrados. Os resultados da aplicação da TO na precipitação mostraram que o espectro global de energia da ondeleta é

mais marcante no ciclo anual tanto nas localidades estudadas como nas regiões oceânicas equatoriais. Para a precipitação, além da escala anual, são observadas interações complexas de oscilações em diferentes escalas de tempo, tais como: mensal, intrassazonal, semianual, anual, bianual e decadal. A análise da TSM do Pacífico apresentou escala anual mais intensa na parte leste do oceano, decrescendo no sentido leste-oeste, onde a escala decadal se tornou mais acentuada. A análise da TSM do Atlântico indicou basicamente duas oscilações: uma na escala anual e outra na escala decadal. A TSM do Pacífico relacionou-se melhor com a precipitação nos eventos mais intensos do El Niño Oscilação Sul, e o Dipolo do Atlântico (DPA) com as chuvas na parte oeste do estado.

Waylen e Owusu (2014) reexaminaram um dos maiores registros contínuos de chuva mensal na África ocidental (1895-2005) visando identificar padrões no comportamento periódico dos totais anuais e sazonais de chuva. Foram investigadas as probabilidades de mudança nos regimes de chuvas a partir dos tercis de toda a série temporal. Com base nas observações e na análise de ondeletas, três grandes períodos foram definidos. Dentro de cada um desses períodos, foram realizadas correlações cruzadas entre a chuva e TSM global e identificadas as principais causas da variabilidade interanual da precipitação sazonal como El Niño Oscilação Sul e TSMs do Atlântico tropical. Os efeitos do ENOS são mais pronunciados entre maio e junho, sendo duas vezes maiores, em média, na fase fria do que na fase quente. Os períodos de seca curta (julho-agosto) e de menor precipitação (setembro-outubro) parecem ser controlados pela TSM no Golfo da Guiné e pela menor extensão do Atlântico equatorial.

Recentemente, Oliveira et al. (2015) utilizaram o teste t de Student para provar estatisticamente a existência de uma diferença significativa entre os valores médios de diferentes variáveis meteorológicas durante as fases ativas e inativas da Oscilação de Madden-Julian na Amazônia Oriental. A transformada de ondeleta foi utilizada para identificar 14 casos de ocorrência da OMJ. A análise mostrou que as variáveis influenciadas pela convecção, como radiação de onda longa, temperaturas média e máxima e a insolação, apresentaram diferenças entre cada fase da OMJ em níveis de significância de 95% ou superior.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Área de Estudo

Localizado na região Sudeste do Brasil, o estado de Minas Gerais fica entre $14^{\circ}13'58''$ e $22^{\circ}54'00''$ de latitude sul e entre $39^{\circ}51'32''$ e $51^{\circ}02'35''$ a oeste de Greenwich (Figura 1), ocupando uma área de aproximadamente $586.852,35 \text{ Km}^2$. Limita-se com São Paulo (sul e sudeste), Rio de Janeiro (sudeste), Mato Grosso do Sul (oeste), Goiás e Distrito Federal (noroeste), Espírito Santo (leste) e a norte e nordeste com a Bahia (MINAS GERAIS, 2014).

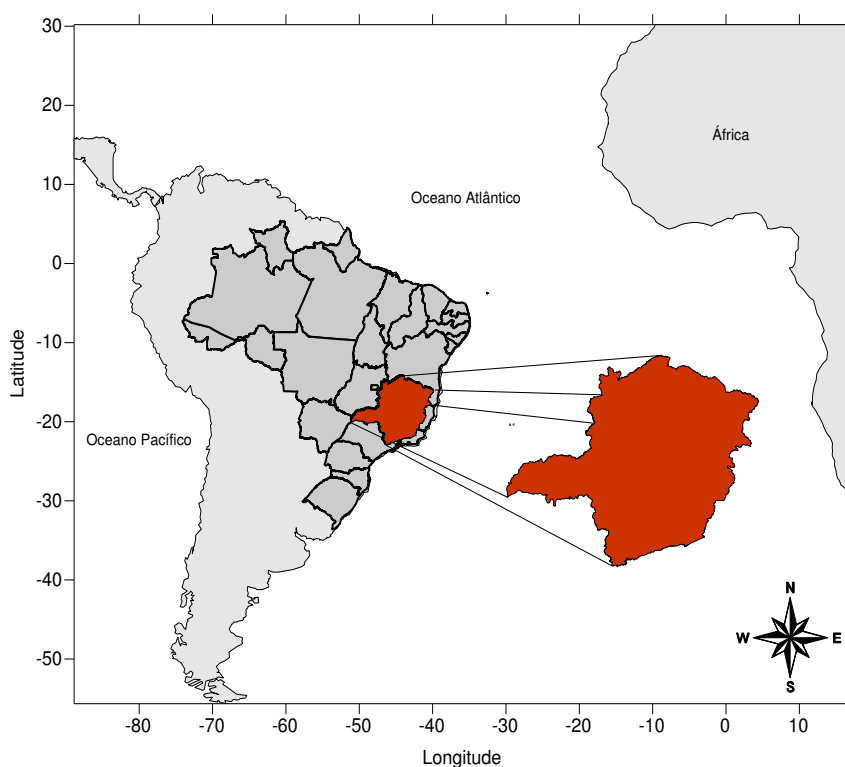
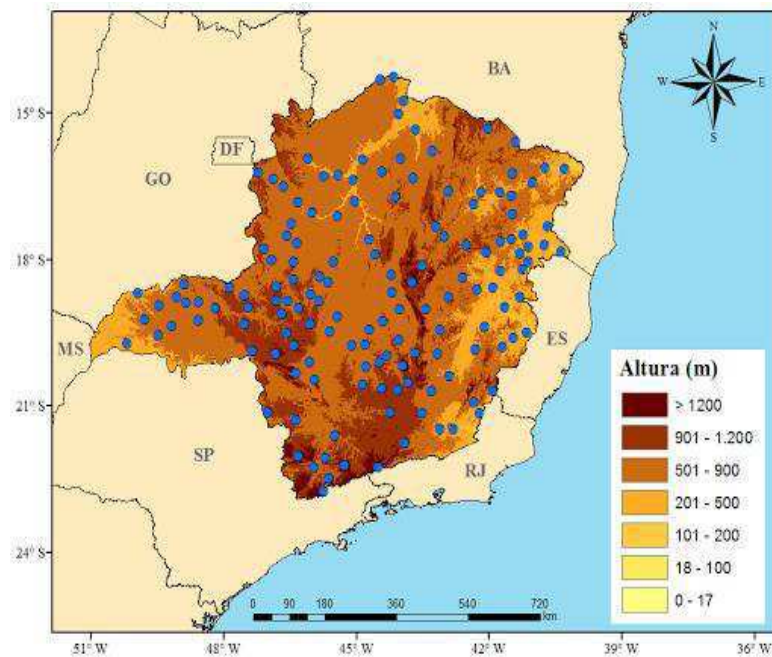


Figura 15. Localização da região de estudo: estado de Minas Gerais, Sudeste do Brasil

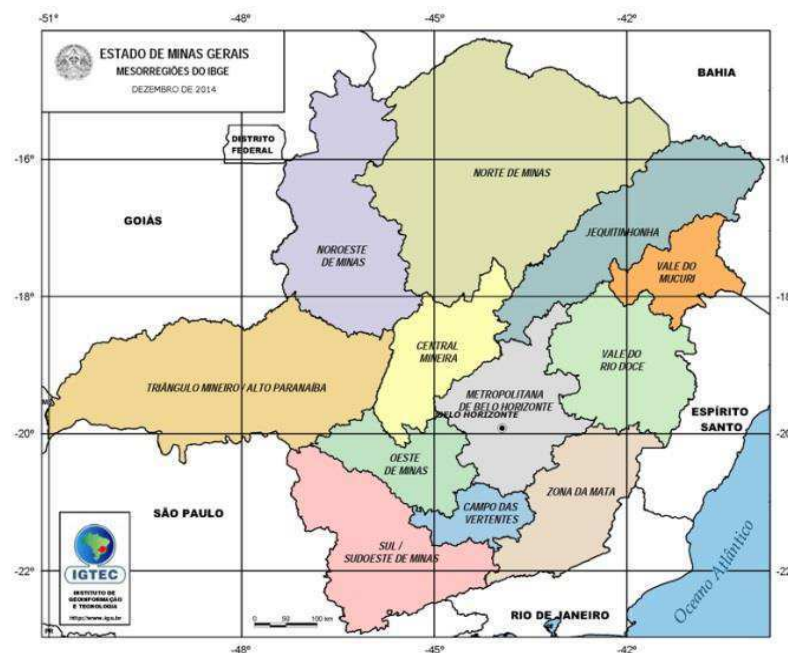
5.2 Dados Climatológicos

Os dados mensais utilizados no cálculo do IPN são provenientes de séries de precipitação de 148 postos pluviométricos mineiros para um período de 36 anos, isto é, de 1977 a 2012. Esses dados foram obtidos no site da Agência Nacional das Águas (ANA). Os dados diários de precipitação utilizados na TO são referentes ao período 2003-2012 e estão disponíveis no site do Instituto Nacional de Meteorologia. Além desses, foram utilizados

dados diários de radiação de onda longa emergente entre outubro de 2010 e março de 2012, disponibilizados pelo NCEP/NCAR. Esse último período de estudo foi escolhido por ter apresentado a melhor qualidade em ambas as séries de chuva diária e de radiação. Na Figura 2 (A), observa-se a distribuição espacial dos postos pluviométricos dos dados mensais selecionados e (B) o mapa das mesorregiões mineiras.



(A)



(B)

Figura 16. (A) Localização dos postos pluviométricos na área pesquisada e (B) Mapa das mesorregiões do estado de Minas Gerais (MINAS GERAIS, 2014)

5.3 Caracterização Climática

O clima do estado de Minas Gerais apresenta uma diversificação muito grande, devido às condições topográficas, altitudes dominantes, continentalidade, latitude e longitude (COSTA et al., 1998). Em seus estudos, Alvares et al. (2013) perceberam a presença de clima *Aw* (tropical com inverno seco) a noroeste do estado, abrangendo áreas mais baixas, depressões e planaltos da bacia do rio São Francisco. O clima *As* (tropical com verão seco) também foi observado no norte de Minas Gerais, especialmente sobre a Serra do Espinhaço (região de Montes Claros) e nas planícies do São Francisco. Além disso, destacou-se também a ocorrência de climas *Cwa* (inverno seco e verão quente) e *Cwb* (inverno seco e verão moderadamente quente) na maior parte do sul e na porção central.

A associação dos diversos fatores físico-climáticos no território mineiro cria paisagens distintas, favorecendo o estabelecimento de diferentes formas de vegetação. De acordo com o IBGE (2016), basicamente três biomas predominam no estado: Cerrado, na porção central-ocidental (57%), Mata Atlântica, na região oriental (41%) e Caatinga, no setor norte (2%).

5.4 Métodos

5.4.1 Índice de Precipitação Normalizada

Inicialmente, determinou-se o IPN para o estado de Minas Gerais em diferentes escalas de tempo. O IPN é bastante utilizado para estudar a flutuação da precipitação de um determinado local em diferentes escalas temporais, necessitando apenas dos dados da precipitação da região. Neste estudo, foram discutidos os padrões do IPN-1 (mensal) e IPN-3 (trimestral), para cada região homogênea do índice. As referidas escalas refletem as condições de curto prazo que são importantes para monitoramento das precipitações nas escalas mensais e sazonais.

O cálculo do IPN consiste inicialmente em ajustar uma função densidade de probabilidade à distribuição de frequência da precipitação de uma determinada estação meteorológica. Há uma variedade de distribuições de probabilidade usadas para representar um conjunto de dados. A escolha frequente, usada para representar dados de precipitação, é a distribuição Gama (WILKS, 2006). A função densidade de probabilidade Gama pode ser definida pela equação abaixo:

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \text{ para } x > 0 \quad (1)$$

em que:

$\alpha > 0$ (parâmetro de forma)

$\beta > 0$ (parâmetro de escala)

$x > 0$ (quantidade de precipitação)

$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy$ (função matemática Gama)

(2)

Os parâmetros acima são estimados considerando-se especificidades como, por exemplo, a estação e a escala temporal escolhida pelo pesquisador. Segundo Edwards e McKee (1997), as equações (3) e (4) podem ser utilizadas para uma estimativa de $\hat{\alpha}$ e $\hat{\beta}$, a partir do método da máxima verossimilhança:

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (3)$$

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}} \quad (4)$$

Sendo:

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(x) \quad (5)$$

\bar{x} (média aritmética da precipitação)

n (número de observações da série de precipitação)

Então, estimados $\hat{\alpha}$ e $\hat{\beta}$, calcula-se a distribuição de probabilidade acumulada de um evento extremo de chuva num dado período de tempo. A distribuição de probabilidade acumulada é dada por:

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\hat{\beta}^{\hat{\alpha}} \Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x x^{\hat{\alpha}-1} e^{-x/\hat{\beta}} dx \quad (6)$$

Fazendo $t = x/\hat{\beta}$, a equação (6) torna-se uma função Gama incompleta, descrita a seguir:

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x t^{\hat{\alpha}-1} e^{-t} dt \quad (7)$$

Conforme definição, a função Gama não admite valores nulos. No entanto, essa variável pode conter valores de x iguais a zero. Nesses casos, a probabilidade cumulativa mista de precipitação é dada por (EDWARDS e MCKEE, 1997):

$$H(x) = q + (1 - q)G(x) \quad (8)$$

em que:

$$q = \frac{m}{n} \text{ (probabilidade de ocorrência de precipitação nula)} \quad (9)$$

m é o número de zeros numa série temporal de precipitação

n é o número total de observações da série de precipitação

$G(x)$ é a probabilidade acumulada da precipitação

A probabilidade acumulada da série temporal de chuva, de acordo com Edwards e McKee (1997), é então transformada num conjunto de novas variáveis aleatórias Z , com média aritmética zero e variância um. Esses novos valores representam o IPN.

Os valores de IPN podem ser obtidos a partir das equações fornecidas por Abramowitz e Stegun (1972), pelas quais há um ajuste da probabilidade acumulada a uma distribuição normal:

$$Z = \text{IPN} = - \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad \text{para } 0 < H(x) \leq 0,5 \quad (10)$$

$$Z = \text{IPN} = + \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad \text{para } 0,5 < H(x) \leq 1,0 \quad (11)$$

$$t = \sqrt{\ln \left\{ \frac{1}{[H(x)]^2} \right\}} \quad \text{para } 0 < H(x) \leq 0,5 \quad (12)$$

$$t = \sqrt{\ln \left\{ \frac{1}{1,0 - [H(x)]^2} \right\}} \quad \text{para } 0,5 < H(x) \leq 1,0 \quad (13)$$

Os coeficientes das equações (10) e (11) assumem os seguintes valores:

$$\begin{aligned} c_0 &= 2,515517 & d_1 &= 1,432788 \\ c_1 &= 0,802853 & d_2 &= 0,189269 \\ c_2 &= 0,010328 & d_3 &= 0,001308 \end{aligned} \quad (14)$$

Nos casos em que a série pesquisada se ajustar a uma distribuição gaussiana, o IPN pode ser obtido simplesmente subtraindo-se cada valor da precipitação à sua média e dividindo pelo desvio-padrão (WILKS, 2006):

$$\text{IPN} = Z_i = \frac{X_i - \bar{X}_i}{\sigma_i} \quad (15)$$

sendo:

i : escala temporal (3, 6, 9 ou 12 meses)

X_i : precipitação acumulada no período considerado

\bar{X}_i : média da série precipitação no período considerado

σ_i : desvio-padrão da série de precipitação no período considerado

A precipitação total para o período é então especificada com um valor de IPN consistente com a probabilidade. Ou seja, valores de IPN positivos ou negativos significam, respectivamente, valores superiores ou inferiores à mediana da precipitação. Os valores diferentes de zero são uma medida probabilística da gravidade de um evento ser chuvoso ou seco, que pode ser usado para avaliação de risco. O valor zero indica precipitação média. Na Tabela 1 constam as categorias de IPN de acordo com o descrito por McKee et al. (1993). Neste estudo foram calculados os IPN-1 e IPN-3, visando melhor compreender a escassez e/ou excessos de precipitação de curto prazo para o estado de Minas Gerais.

Tabela 1. Caracterização dos eventos secos e chuvosos segundo o IPN

Valor do IPN	Categoria
> 2,00	Chuva Extrema
1,51 a 2,00	Chuva Severa
1,01 a 1,50	Chuva Moderada
0,51 a 1,00	Chuva Fraca
-0,50 a 0,50	Normal
-0,51 a - 1,00	Seca Fraca
-1,01 a - 1,50	Seca Moderada
-1,51 a - 2,00	Seca Severa
< -2,00	Seca Extrema

Fonte: adaptado de McKee et al. (1995)

5.4.2 Análises de Componentes Principais

Aplicou-se a ACP ao IPN-1 e IPN-3 da precipitação mineira, com o propósito de discutir a variabilidade da chuva naquela região. A ACP é uma técnica estatística multivariada amplamente utilizada nas ciências atmosféricas. O objetivo da ACP é reduzir um conjunto de dados contendo um grande número de variáveis em um conjunto menor de novas variáveis que representam uma grande fração da variabilidade contida nos dados originais (WILKS, 2006).

A ACP vem sendo utilizada em diversas aplicações meteorológicas (GREEN et al., 1993; CEBALLOS e BRAGA, 1995; ESTEBAN et al., 2006). O método consiste em transformar p variáveis originais correlacionadas em componentes não correlacionadas ou ortogonais, tendo propriedades especiais em termos de variância. As novas componentes são funções lineares das variáveis originais e mostradas em ordem decrescente de importância, ou seja, a primeira componente é a combinação linear de importância máxima (BOUROCHE e SAPORTA, 1982; MARQUES e MENDES MARQUES, 2005).

Em síntese, a coleta básica de informações na análise fatorial é a matriz de dados (PANDŽIĆ, 1988). Em n observações existem m variáveis onde a matriz de dados normalizada tem média zero e variância um. A normalização de cada ponto de observação de uma determinada área ou região tem a mesma importância na determinação dos padrões espaciais e temporais. A matriz de correlação R é dada por:

$$R = \frac{1}{n-1} (Z)(Z)^t \quad (16)$$

na qual R é uma matriz simétrica positiva de dimensão ($k \times k$), diagonalizável por uma matriz A , de mudança de base, denominada matriz de autovetores.

A matriz diagonal D , cujos elementos da diagonal principal são os autovalores de R , é obtida pela equação:

$$D = A^{-1}RA \quad (17)$$

Como os autovetores são ortogonais, a inversa de A (A^{-1}) é igual a sua transposta (A^t). Assim, as CPs U_1, U_2, \dots, U_p são obtidas por combinações lineares entre a transposta dos autovetores (A^t) e a matriz de observações (X), ou seja:

$$U = A^tX \quad (18)$$

$$X = AU \quad (19)$$

Cada linha de U corresponde a uma CP, formando as séries temporais associadas aos autovalores. Os valores de X do n -ésimo local podem ser calculados por:

$$X_i = a_{j1}U_1 + a_{j2}U_2 + \dots + a_{jk}U_k + a_{np}U_p \quad (20)$$

A solução desta equação é única. Cada CP contém uma porção da variância total dos dados de IPN, mostradas em ordem decrescente dos autovalores mais significativos em A .

Logo:

$$U_k = \sum_{j=1}^m a_{jk} X_k \quad (21)$$

Muitas vezes, os fatores extraídos não estão bem relacionados à grande maioria das variáveis. No entanto, este relacionamento fica mais claro depois de feita uma rotação, aumentando o seu poder explicativo e facilitando assim a interpretação dos dados. Quando se faz a rotação ortogonal calculam-se novas componentes a partir da maximização da variância, onde as componentes originais passam a ser rotacionadas através da redistribuição dos pesos entre as CPs. Se esse procedimento for aplicado, a concentração dos dados será feita pela máxima variância e não pela característica normalizada da série temporal como ocorre no

caso das CPs não rotacionadas (RICHMAN, 1986; WILKS, 2006; BEZERRA, 2007). Um dos métodos de rotação mais utilizados que maximiza a variância em cada componente é o Varimax, descrito pela equação (WILKS, 2006):

$$\text{Var} = \sum_{j=1}^r \left(m \sum_{i=1}^m (a_{ij})^2 - \left(\sum_{i=1}^m a_{ij}^2 \right)^2 \right) / m^2 \quad (22)$$

em que r é o número de CPs que representam as informações físicas e m o número de variáveis.

5.4.3 Análises de Agrupamentos

A determinação das regiões homogêneas do Índice de Precipitação Normalizada em Minas Gerais foi realizada através da técnica de Análise de Agrupamentos. Esta técnica permitiu descobrir a natureza complexa dos dados investigados. A classificação das variáveis em grupos homogêneos e a identificação de suas características comuns possibilitaram um melhor conhecimento do fenômeno em questão. A Análise de Agrupamento tem sido empregada nas ciências atmosféricas para particionar dados em diferentes grupos de padrões semelhantes (RICHMAN e ADRIANTO, 2010).

Os dois métodos de classificação mais utilizados são o método hierárquico (em que a partição dos grupos se dá a partir de um mínimo de grupos não definidos inicialmente) e o não hierárquico (onde a partição dos grupos é produzida a partir de um número de grupos fixado à priori). Há um grande número de métodos hierárquicos e não hierárquicos usados em problemas climatológicos (RICHMAN e ADRIANTO, 2010). Em ambos os métodos, a classificação dos indivíduos em grupos distintos depende da medida numérica de similaridade ou de dissimilaridade (função de agrupamento) e de um critério matemático (BOUROCHE e SAPORTA, 1982; EVERITT, 1993; WILKS, 2006; POHLMANN, 2007).

Nos métodos aglomerativos, todos os processos de hierarquização são similares, iniciando-se pela determinação da função de agrupamento que é usada como critério para medir a distância entre dois pontos ou para estabelecer o quanto eles são similares (WILKS, 2006). As medidas de similaridade ou de dissimilaridade mais utilizadas são os coeficientes de correlação e a distância euclidiana por apresentar facilidade de cálculo. A distância euclidiana entre dois indivíduos x e y é dada por:

$$d(x, y) = \|x - y\| = \left[\sum_{k=1}^k (X_k - Y_k)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (23)$$

No caso dos métodos de hierarquização, os grupos são determinados por cortes transversais no dendrograma a partir do critério de agregação e do conhecimento prévio da região estudada (BOUROCHE e SAPORTA, 1982; EVERITT, 1993).

5.4.4 Análises de Ondeletas

Para se compreender a Análise de Ondeletas, faz-se necessário retomar sucintamente a ideia das Séries e da Transformada de Fourier. Utilizando-se da teoria sobre a análise de frequências, Joseph Fourier postulou que toda função periódica $f(x)$ poderia ser reescrita como uma combinação linear das funções senos e cossenos (BOLZAN, 2004):

$$f(x) = a_0 + \sum_{k=1}^{+\infty} [a_k \cos(kx) + b_k \sin(kx)] \quad (24)$$

sendo:

$$a_0 = \frac{2}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) dx$$

$$a_k = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \cos(kx) dx \quad (25)$$

$$b_k = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \sin(kx) dx$$

A Transformada de Fourier é uma importante técnica matemática que permite encontrar a contribuição de energia que cada função seno e cosseno possuem numa série temporal em relação à energia total da série periódica. A TF pode ser vista também como uma projeção do domínio temporal para o domínio da frequência, de acordo com a equação abaixo (LABAT, 2005):

$$y(t, \omega) = \exp(i2\pi\omega t) \rightarrow S(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)y(t, \omega)dt \quad (26)$$

em que o produto escalar $S(\omega)$ é a amplitude do espectro do sinal $x(t)$ na frequência ω .

A transformação de um sinal é uma operação matemática que resulta em uma representação diferente daquele sinal. A Transformada de Fourier dá o espectro de qualquer sinal periódico como uma única representação de uma soma contínua de senoidais de diferentes amplitudes, frequências e fases. Apesar da funcionalidade, principalmente na obtenção da análise espectral do sinal, a TF não é suficiente para representar os sinais não estacionários. Isto ocorre porque a Transformada de Fourier pressupõe que o sinal a ser transformado é periódico e de comprimento infinito. Por consequência, usando Fourier, se o sinal estiver bem localizado num domínio (por exemplo, no domínio espacial), então estará mal localizado no outro domínio (ou seja, no domínio da frequência) e vice-versa (NAKKEN, 1999).

A Transformada Janelada de Fourier trouxe vastas contribuições no estudo e análise de séries temporais não estacionárias. Porém, algumas limitações ainda permaneceram (BARBOSA e BLITZKOW, 2008):

1. A janela temporal permanecia fixa, não possibilitando mudanças no seu tamanho após o início da aplicação da técnica TJF;
2. As funções trigonométricas usadas possuem energia infinita, ou seja, as mesmas são limitadas entre $-\infty$ e $+\infty$.

Concebido por Morlet e Grossmann, o termo “Ondeletas” refere-se a um conjunto de funções em forma de ondas geradas por dilatações $\psi(t) \rightarrow \psi(2t)$ e translações $\psi(t) \rightarrow \psi(t + 1)$ de uma função de variável real. Uma vez que na análise de Fourier toda função periódica, de período 2π , de quadrado integrável, ou seja, $L^2(0,2\pi)$, é gerada por uma superposição das exponenciais complexas de Euler, o princípio matemático das ondeletas é estender $L^2(0,2\pi)$ para $L^2(\mathbb{R})$, isto é, gerar um novo espaço com base numa função padrão, de energia finita, por vezes referida como a ondeleta-mãe mostrada a seguir (MORETTIN, 1999; VITORINO et al., 2006; BLAIN e KAYANO, 2011):

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (27)$$

com $a, b \in \mathbb{R}$ e $a \neq 0$, sendo \mathbf{a} o fator de dilatação e \mathbf{b} o fator de translação. O parâmetro \mathbf{a} determina a frequência de oscilação e o comprimento da ondeleta e o parâmetro de translação \mathbf{b} determina a sua posição de deslocamento. Usualmente, tomam-se valores especiais para \mathbf{a} e \mathbf{b} : $a = 2^{-j}$ e $b = k2^{-j}$, com j e $k \in \mathbb{Z}$.

O fator $\frac{1}{\sqrt{a}}$ é chamado de constante de normalização da energia de cada ondeleta-filha, de forma que juntas mantenham a mesma energia da ondeleta principal $\psi(t)$. A equação das ondeletas-filhas pode ser expressa por (BOLZAN, 2006):

$$\psi_{j,k}(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} \psi\left(\frac{t-k}{j}\right) \quad (28)$$

com $j, k \in \mathbb{R}$ e $j \neq 0$, sendo \mathbf{j} o fator de dilatação e \mathbf{k} o fator de translação.

Para que uma função seja denominada de função ondeleta base, representada por ψ_0 , a mesma deve satisfazer duas propriedades distintas (BARBOSA e BLITZKOW, 2008):

1ª propriedade. A integral dessa função deve ser zero:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \psi_0(t) dt = 0 \quad (29)$$

2ª propriedade. A função ondeleta base deve possuir energia unitária:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |\psi_0(t)|^2 dt = 1 \quad (30)$$

De acordo com Barbosa e Blitzkow (2008), a primeira propriedade permite que a função ondeleta base assuma a forma de uma onda, assegurando a transformada inversa da função ondeleta base (condição de admissibilidade). Na segunda propriedade, ainda conforme

esses autores, a função ondeleta base tem um decaimento rápido de amplitude, garantindo que a ondeleta-mãe possua uma localização espacial.

5.4.5 A Transformada de Ondeletas

Para f de $L^2(\mathbb{R})$, ou seja, no espaço de funções quadraticamente integráveis (energia finita), a Transformada de Ondeletas, em relação a ψ , é expressa por (MORETTIN, 1999; VITORINO et al., 2006):

$$(W_{\psi}f)(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (31)$$

com $a, b \in \mathbb{R}$ e $a \neq 0$. Assim, observa-se que a TO é o produto interno da função $f(t)$ a ser analisada pela função ondeleta-mãe.

Dada uma série temporal com um comprimento s de pontos. Represente s na forma de potência de base 2, de modo que $s = 2^n$. Considere, como exemplo, que $s = 512$. Assim, $512 = 2^n \Rightarrow n = 9$. Isso significa que há 9 escalas (ou frequências) que a ondeleta, particularmente as chamadas discretas, pode detectar. Neste contexto, $n - 1 = 8$ representa a primeira escala (ou frequência) em que a função ondeleta irá atuar, indicando que a série temporal será dividida em 2 partes iguais, cada uma com $n - 1 = 8 \Rightarrow 2^8 = 256$ pontos. A função ondeleta-mãe será comprimida pela metade e será aplicada na primeira metade da série temporal. Em seguida, a ondeleta será transladada para a segunda parte da série temporal (BOLZAN, 2006).

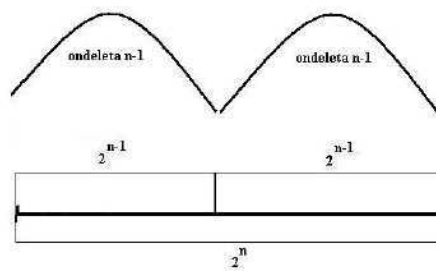


Figura 17. Decomposição da ondeleta em diferentes níveis de resolução (BOLZAN, 2006)

Continuando o processo, no segundo nível de resolução, tem-se $n - 2 = 7 \Rightarrow 2^7 = 128$ pontos. Ou seja, a série temporal estará subdividida em quatro partes. Novamente, a função ondeleta será comprimida pela metade de modo a caber no primeiro segmento da série de 128 pontos para, em seguida, ser transladada para os demais segmentos da série temporal (Figura 4).

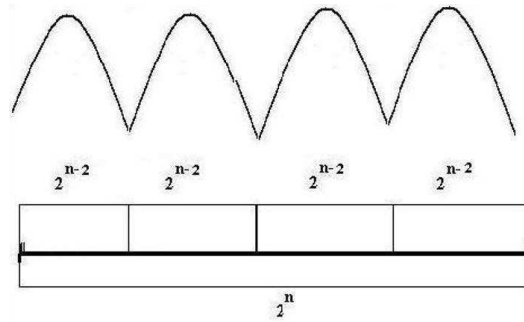


Figura 18. Segundo nível da decomposição da ondeleta em diferentes resoluções (BOLZAN, 2006)

A decomposição da série até $n = 1 \Rightarrow 2^1 = 2$ pontos representa o último nível de decomposição da ondeleta, fornecendo um diagrama denominado de Periodograma de Ondeleta:

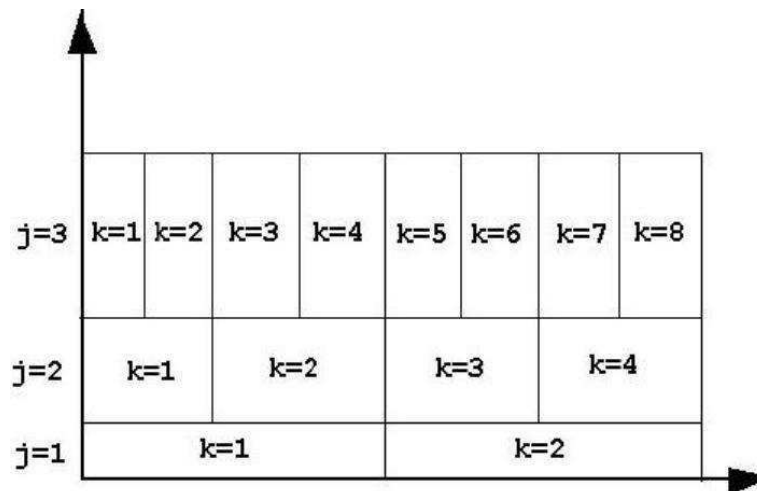


Figura 19. Resultado da análise de multirresolução dada pela função ondeleta (BOLZAN, 2006)

A ondeleta-mãe utilizada deve ter um padrão semelhante ao sinal em estudo (NAKKEN, 1999; BLAIN e KAYANO, 2011). Nesse contexto, diversos trabalhos afirmam que a ondeleta de Morlet é recomendada no estudo de séries temporais cujos dados apresentam características oscilatórias, tornando-se, por isso, adequada para estudar a

amplitude e a fase do sinal da precipitação (TORRENCE e COMPO, 1998; VITORINO et al., 2006; BLAIN e KAYANO, 2011):

$$\psi(t) = e^{iw_0t} e^{-\frac{t^2}{2}} \quad (32)$$

onde o parâmetro t (adimensional) refere-se ao período ou escala temporal estudados e W_0 (adimensional) à frequência do sinal.

Neste estudo, aplicou-se a ondeleta de Morlet aos dados diários e mensais de chuva e aos dados diários de radiação, uma vez que tal função complexa tem desejáveis propriedades simetria/assimetria e variações de tempo íngremes e suaves. De acordo com a literatura, este é um critério para a escolha da função ondeleta (WENG e LAU, 1994; VITORINO et al., 2006). Diversos autores (TORRENCE e COMPO, 1998; VITORINO et al., 2006; BLAIN e KAYANO, 2011) descrevem que a ondeleta de Morlet pode ser entendida como uma função periódica cuja amplitude é modulada por uma gaussiana.

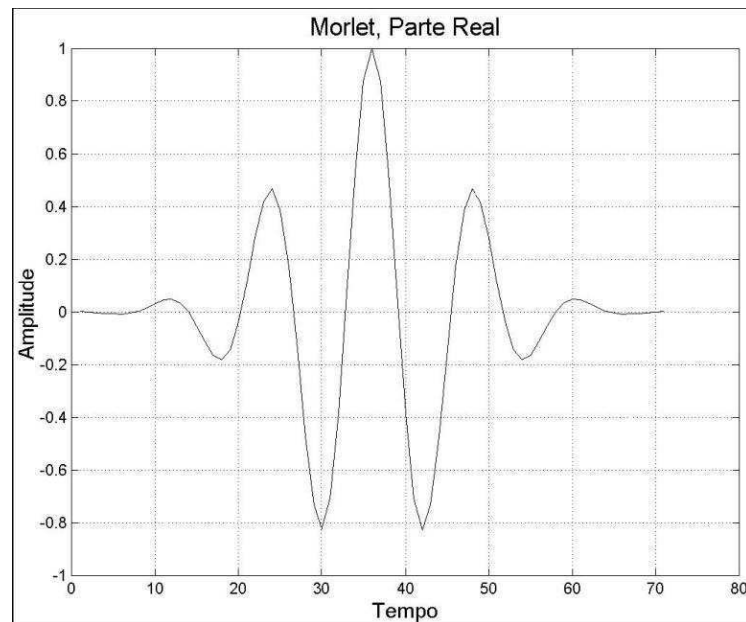


Figura 20. Parte real da função ondeleta de Morlet, representando uma onda com um envelope gaussiano (BOLZAN, 2006)

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Espacialização da precipitação em Minas Gerais

Em Minas Gerais, a variabilidade espacial e temporal da precipitação é bastante diversificada, como consequência da atuação dos diferentes sistemas atmosféricos ou como resposta dos efeitos dinâmicos provocados pela sua orografia que dão ao estado características peculiares. A Figura 7 ilustra a espacialização dos totais médios anuais da precipitação no período de 36 anos.

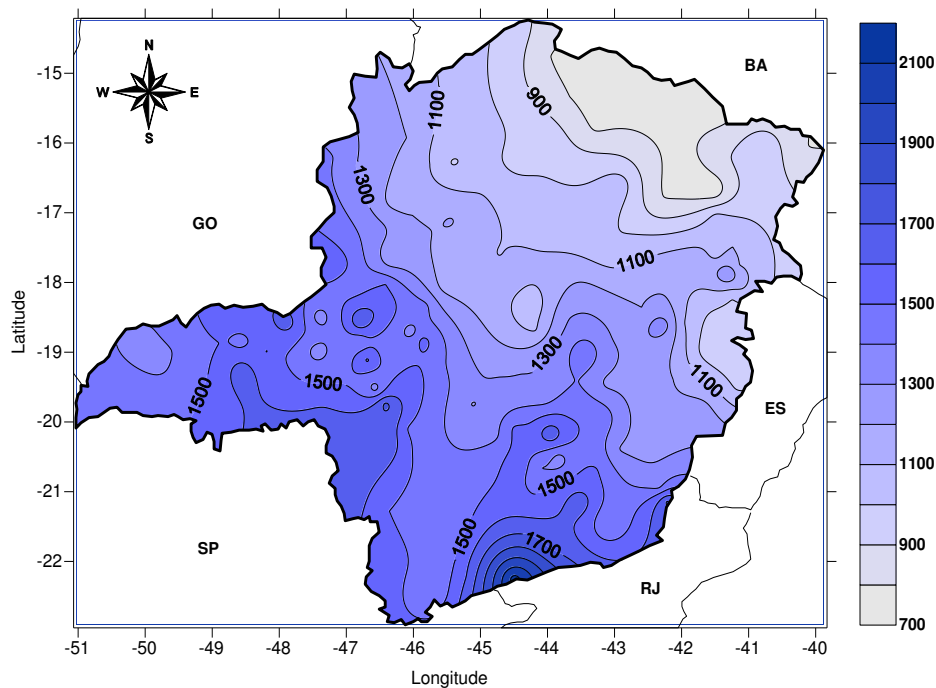


Figura 21. Distribuição espacial dos totais médios anuais de precipitação (mm/ano) para o período 1977-2012

Os valores mais elevados da precipitação encontram-se na região sul e sudoeste do estado, nos limites com São Paulo e Rio de Janeiro. Na região do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, a média pluviométrica supera os 1500 mm e na mesorregião Sul/Sudoeste ultrapassa 1700 mm. As áreas com maiores índices pluviométricos são decorrentes de fenômenos atmosféricos importantes que caracterizam o estado com um período chuvoso de outubro a março e um período seco de abril a setembro. Para Mello e Viola (2013), chuvas frontais (frentes frias), chuvas convectivas e chuvas geradas pela influência da ZCAS favorecem a ocorrência de precipitação na região. Além disso, a topografia, aliada à elevação das temperaturas, é um dos principais causadores de chuvas orográficas no início da estação

chuvosa (MOREIRA e ABREU, 2002). Nesse contexto, de acordo com Cupolillo (1997), a topografia exerce forte influência no regime pluvial, favorecendo fortes precipitações nas vertentes de sistemas como Espinhaço, Mantiqueira e Canastra.

Os sistemas sinóticos não atuam de forma semelhante e, por isso, diferentemente da porção sul, o norte-nordeste mineiro tem índices pluviométricos médios inferiores a 900 mm. Minuzzi et al. (2007) ressaltam, por exemplo, que a atuação da Alta Subtropical do Atlântico Sul sobre o extremo norte do Sudeste do Brasil (SEB), da mesma forma que inibe a formação de nuvens, impede que frentes frias avancem ou que a ZCAS atue intensamente na referida região.

6.2 Padrões espaciais e temporais do IPN-1

Os padrões espaciais e temporais do IPN mensal, obtidos pela ACP, foram discutidos logo abaixo. A aplicação dessa técnica para o IPN-1 resultou em 13 fatores comuns que explicaram quase 72% da variância total dos dados (Tabela 2).

Tabela 2. Valores próprios (autovalores) e variâncias explicada e acumulada do IPN-1

CP	Fatores não rotacionados			Fatores rotacionados (Varimax)		
	Autovalor	Variância Explicada (%)	Variância Acumulada (%)	Autovalor	Variância Explicada (%)	Variância Acumulada (%)
1	65,12	44,00	44,00	21,41	14,46	14,46
2	15,48	10,46	54,46	20,76	14,03	28,49
3	6,49	4,38	58,84	18,94	12,80	41,29
4	4,29	2,90	61,74	10,68	7,22	48,51
5	2,93	1,98	63,73	10,32	6,97	55,48
6	2,61	1,76	65,49	9,35	6,32	61,80
7	1,81	1,22	66,71	4,20	2,84	64,64
8	1,62	1,10	67,81	2,73	1,85	66,49
9	1,39	0,94	68,75	1,97	1,33	67,82
10	1,36	0,92	69,67	1,91	1,29	69,11
11	1,22	0,83	70,49	1,65	1,12	70,22
12	1,07	0,73	71,22	1,29	0,87	71,09
13	1,04	0,70	71,92	1,23	0,83	71,92
...
148	...	...	100	...	...	100

Embora tenham sido selecionados 13 fatores, são discutidos apenas os dois primeiros fatores não rotacionados que representaram 54,46% da variabilidade dos dados. Observa-se na Tabela 2 que, a partir do terceiro fator, a variância explicada dos dados do IPN mensal decresce lentamente. Figueiredo Filho e Silva Júnior (2010) sugerem que, apesar de não

existir um critério consensual para definir quantos fatores deverão ser extraídos, a solução ótima é identificar o número mínimo de fatores que maximiza a quantidade de variância total explicada. O padrão espacial do primeiro fator comum do IPN-1, que explica 44% da variância total dos dados, apresenta as maiores correlações (positivas), superiores a 0,74, nas regiões central e norte/noroeste, diminuindo nas direções oeste, sul e nordeste do estado, muitas vezes, inferiores a $r = 0,54$ (Figura 8).

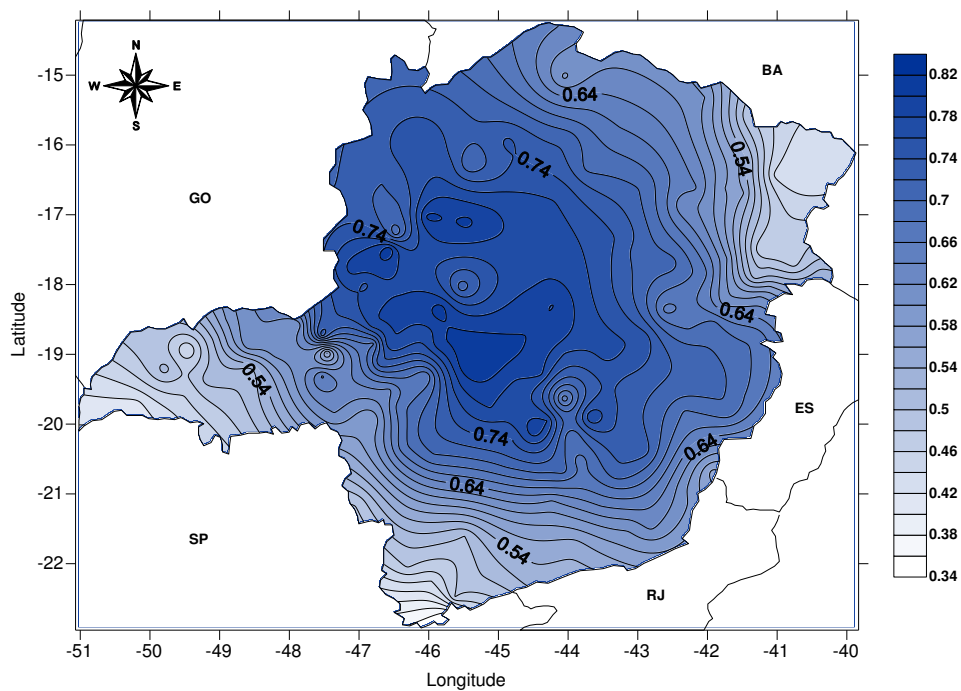


Figura 22. Padrão espacial do primeiro fator (correlações) do IPN mensal no estado de Minas Gerais

A variabilidade mensal da precipitação em Minas Gerais está representada pela oscilação dos escores positivos e negativos na série temporal do primeiro fator do IPN-1 (Figura 9). Observam-se escores máximos superiores a 2,0 em alguns meses dos anos 1978, 1979, 1981, 1985, 1986 e 1990. A análise temporal também mostra, por exemplo, que os maiores picos de contribuições negativas ocorreram em novembro de 1982 e dezembro de 2012. Meses consecutivos com escores máximos do IPN-1 ocorreram, em sua maioria, nos anos 1978/1979, 1983, 1989, 1992, 2006/2007, enquanto que alguns mínimos predominaram em 1983, 1989, 1990 e ao longo da década de 2000. Portanto, a distribuição espacial das correlações e os escores temporais do primeiro fator do IPN-1 identificaram um padrão bem definido nas chuvas mineiras em escala mensal.

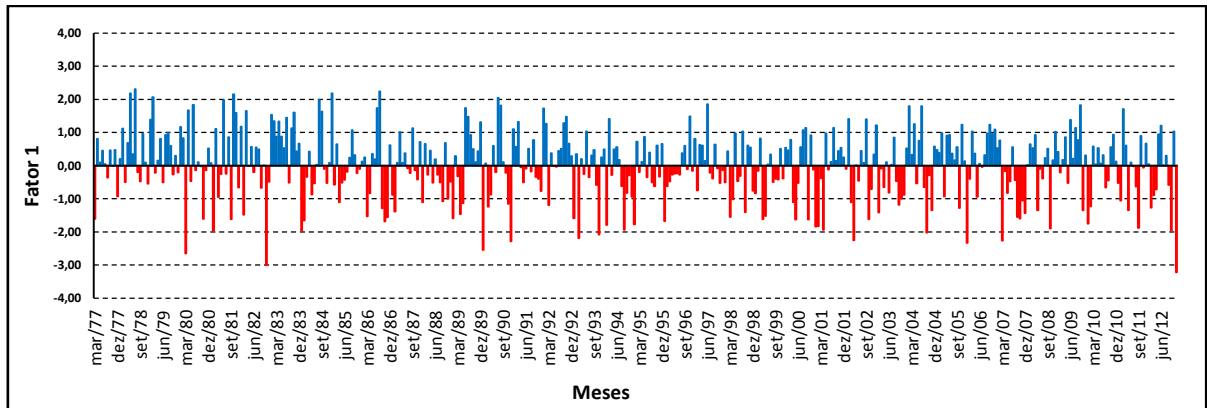


Figura 23. Série temporal do primeiro fator comum (escores) do IPN-1 para o período 1977-2012

O segundo fator não rotacionado, que contém 10,46% da variância total do IPN-1, possui correlações superiores a 0,40 nas porções oeste, sudoeste e sul (Figura 10). As correlações decrescem na direção norte/nordeste e atingem os menores valores (negativos) no extremo nordeste.

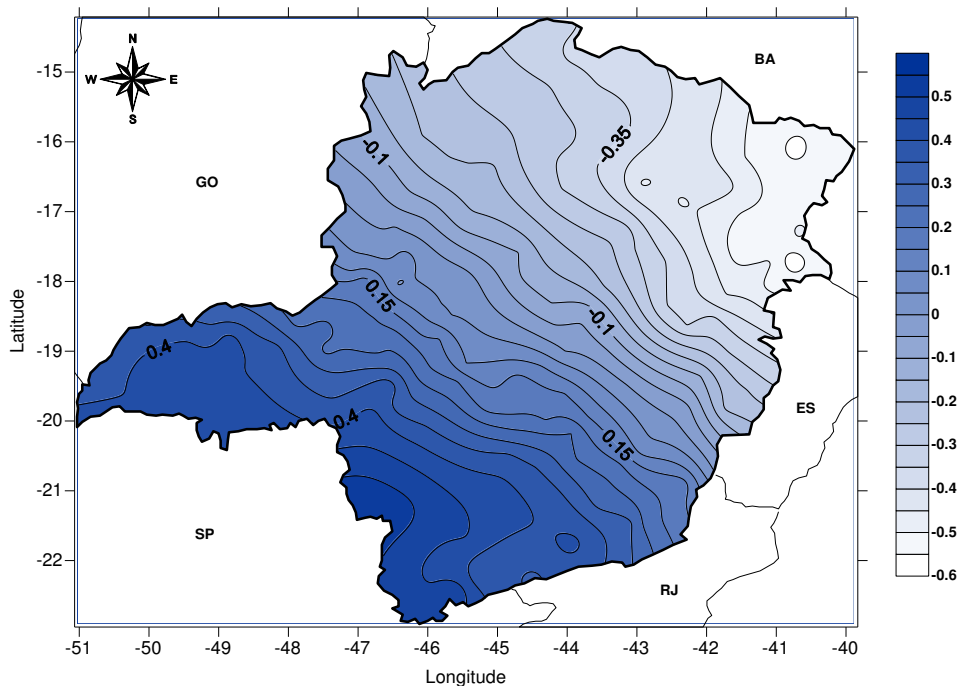


Figura 24. Padrão espacial do segundo fator (correlações) do IPN mensal no estado de Minas Gerais

A série temporal associada ao segundo fator tem elevadas contribuições superiores a 2,0 nos anos 1982/1983, 1998 (El Niño forte). Escores negativos são vistos de modo irregular, sem nenhum padrão de repetição ao longo da série. Isso pode ser explicado pelo fato deste fator evidenciar as chuvas mensais da parte sul/sudoeste de Minas, região mais favorável à

precipitação. Pode-se observar um padrão de dipolo com correlações positivas (sul/sudoeste) e negativas (norte/nordeste) em Minas Gerais. Nessa região de maiores correlações, a estação chuvosa é representada pelo período entre novembro e abril e a precipitação desse período corresponde a aproximadamente 83% do total anual (SILVA et al., 2009; AQUINO et al., 2012).

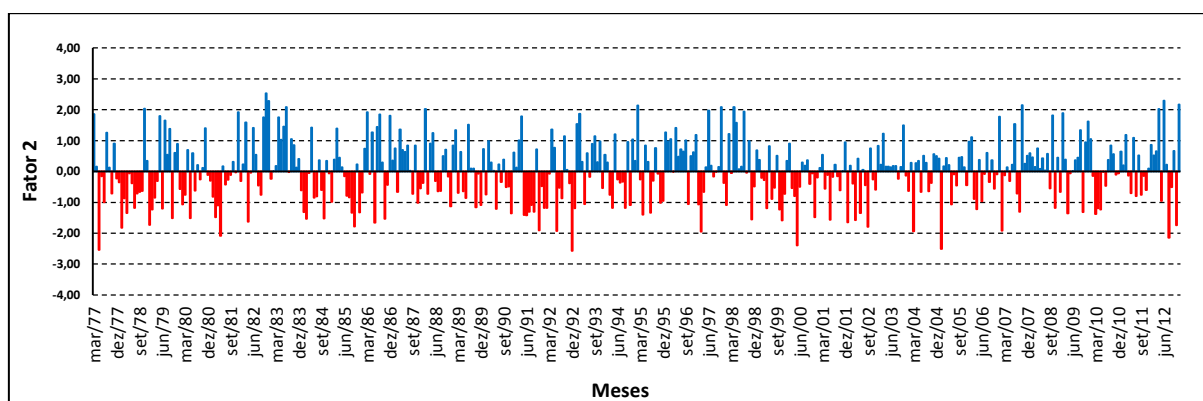


Figura 25. Série temporal do segundo fator comum (escores) do IPN-1 para o período 1977-2012

Embora a escala temporal (mensal) dos dados de chuva utilizada na obtenção do IPN-1 não permita identificar a atuação de sistemas de curto prazo, é plausível concordar com Reboita et al. (2010) ao mencionarem que ZCAS, chuvas convectivas, sistemas frontais (frentes frias) e ciclones ajudam a explicar o regime de chuvas no sudeste do Brasil e de Minas Gerais. Ainda sobre a região sul mineira, Mello et al. (2007) concluíram que a topografia tem papel relevante no favorecimento de precipitação em encostas como Espinhaço, Mantiqueira e Canastra. Aspectos climáticos gerais podem causar elevada variabilidade temporal da precipitação. No entanto, outros mecanismos dinâmicos também podem influenciar o regime de precipitação daquela região, tal como o ENOS.

6.3 Regiões Homogêneas do IPN-1

As Regiões Homogêneas (RH) do IPN-1 foram determinadas a partir dos fatores comuns temporais e espaciais que explicaram quase 72% da variância total dos dados. As RH foram obtidas pelo método de agrupamento de Ward, proposto em 1963. Optou-se por este método porque ele apresentou melhor coerência espacial com o regime pluviométrico da região. O número de grupo baseou-se na curva de inércia e no conhecimento prévio da

climatologia da região em estudo. As RH do IPN-1 estão ilustradas na Figura 12 e concordam com as áreas homogêneas obtidas por Guimarães et al. (2009).

A RH1 abrange 26 postos pluviométricos e está localizada no setor norte/noroeste mineiro. A RH2, na porção nordeste de Minas, é composta por 37 postos pluviométricos. A RH3 é caracterizada por ser uma zona de transição entre os contrastes do norte e do sul do estado, num total de 64 postos pluviométricos, e a RH4, com 21 postos pluviométricos, está subdividida nas porções extremas do sul e oeste de Minas.

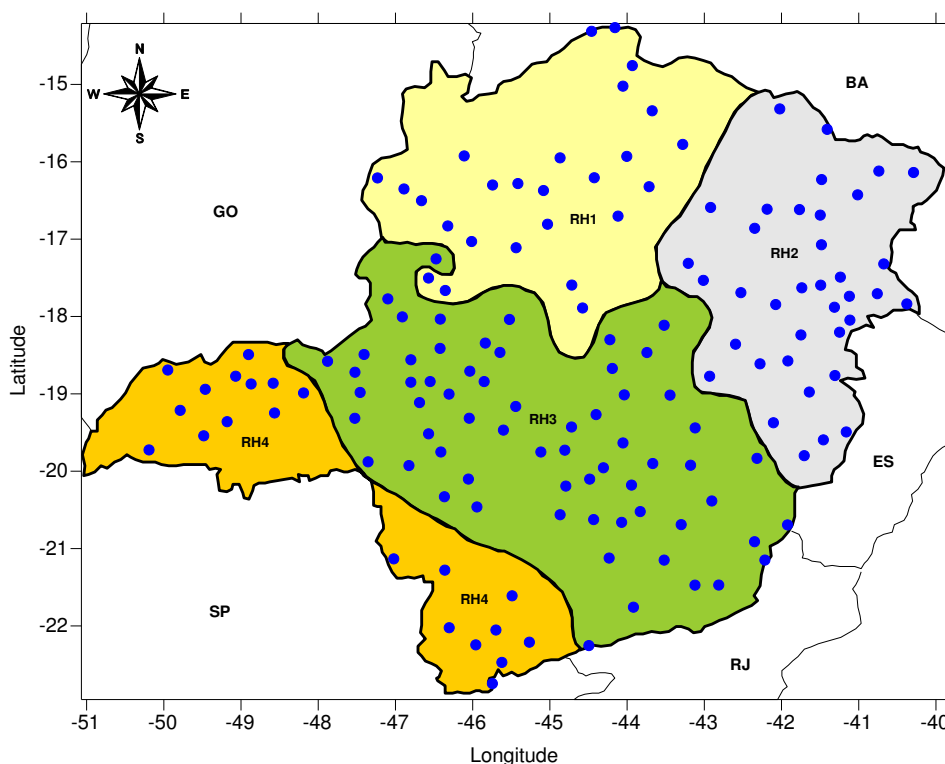


Figura 26. Espacialização das Regiões Homogêneas do IPN-1 para o estado de Minas Gerais

A Figura 13 (A, B, C e D) ilustra o padrão médio mensal da precipitação nas áreas RH1, RH2, RH3 e RH4, respectivamente, onde é possível observar que, de modo geral, apesar de algumas diferenças na quantidade de chuvas, os trimestres janeiro-março e outubro-dezembro são os que mais chovem. Souza et al. (2006) afirmam que, para os municípios mineiros de Guanhães, Belo Oriente e Nova Era, o trimestre mais chuvoso ocorre de outubro a dezembro e o segundo mais chuvoso acontece de janeiro a março, definindo a estação chuvosa daquelas localidades de outubro a março. Ávila et al. (2009), num mapeamento da precipitação mínima provável para o sul de Minas Gerais, corroboram com os resultados supracitados acerca do período chuvoso naquele estado. Resultados semelhantes foram encontrados também por Vieira et al. (2010) para Diamantina, no vale do Jequitinhonha, que

definiram a estação seca e a chuvosa: período chuvoso prolongando-se de outubro a março, acumulando 88% do total da precipitação anual, e período seco de abril a setembro.

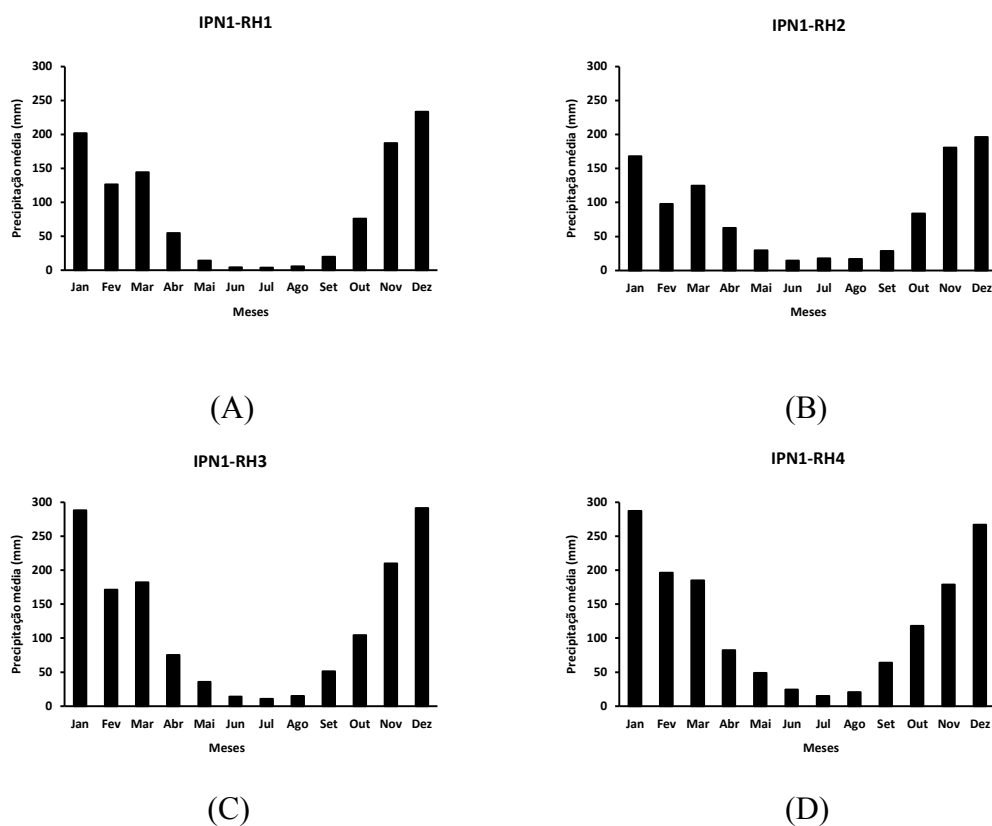


Figura 27. Precipitação média mensal de cada região homogênea do IPN-1 em Minas Gerais

6.4 Características dos eventos secos e chuvosos do IPN-1

Selecionou-se, para cada RH, uma estação pluviométrica para representar a variabilidade temporal do índice mensal. A Figura 14 ilustra a série temporal do IPN-1 apenas nos meses considerados chuvosos (outubro-março) para a localidade de São Romão (RH1). O IPN com eventos secos mínimos de -3,71 e -2,49 ocorreu em novembro de 1982 e janeiro de 2006, respectivamente. Os maiores picos de chuva ocorreram em dezembro de 1989 e fevereiro de 2007, atingindo 2,13 e 2,05, nessa ordem, ou seja, com intensidade inferior ao que foi observado nos casos dos picos de seca. Vale ressaltar que a seca extrema em novembro de 1982, com precipitação mensal de apenas 6,4 mm, e a chuva extrema em dezembro 1989, com acumulado mensal de 520 mm, ocorreram, respectivamente, em períodos de El Niño e La Niña considerados fortes. Nessa região, o IPN-1 detectou que os picos de seca são mais intensos do que os de chuva. Nobre et al. (2012) observaram que a região norte de Minas Gerais apresenta baixa pluviosidade, sendo o período de maiores

chuvas concentrado nos meses de novembro e dezembro, diminuindo nos meses subsequentes, estendendo-se até março.

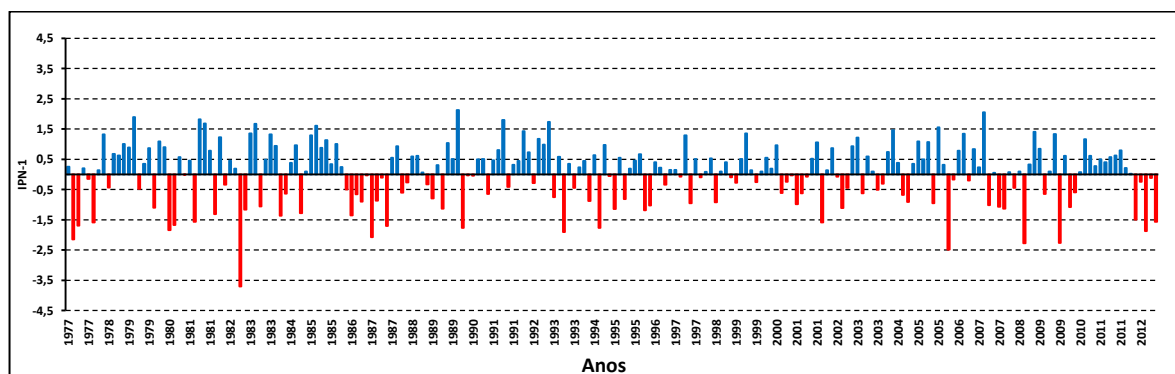


Figura 28. Variabilidade temporal do IPN-1 para o posto pluviométrico de São Romão (RH1) no período 1977-2012

A Tabela 3 apresenta as características (início, fim, duração, pico e índice médio) dos principais eventos secos e chuvosos do IPN mensal, com duração mínima de dois meses, em São Romão. O índice detectou 19 eventos de seca e 27 de chuva. As médias dos eventos de IPN mensal mostram intensidades de secas fraca, moderada, severa e extrema que variaram de -0,51 a -2,42. O evento mais prolongado de seca ocorreu de outubro de 2000 a março de 2001, numa escala fraca. Somam-se a esse episódio, outras secas fracas verificadas em novembro e dezembro de 1977, janeiro e fevereiro de 1984, fevereiro e março de 1986, outubro e novembro de 1986, em dezembro de 1988 e janeiro de 1989, janeiro e março de 1990, dezembro de 1994 e janeiro de 1995, outubro e novembro de 2002 e de 2004, janeiro e fevereiro de 2010 e de fevereiro a março de 2012. Secas moderadas foram registradas em janeiro e fevereiro dos anos 1987, 1996 e 2006, novembro e dezembro de 2007 e de outubro a dezembro de 2012. É possível observar uma única seca severa e uma única seca extrema, de fevereiro a março de 1977 e de novembro a dezembro de 1982, respectivamente. Esta última teve um pico de -3,71 e sugere a influência da fase quente do ENOS na redução das chuvas de novembro daquele ano, cuja precipitação em São Romão foi de apenas 6,4 mm.

As médias do IPN-1 de São Romão mostram a presença de chuvas fraca, moderada e severa variando de 0,51 a 1,51, sendo a maior parte dos eventos de intensidade fraca. O evento de maior duração estendeu-se de outubro de 2010 a março de 2011. Meses de chuva moderada ocorreram de outubro de 1978 a fevereiro de 1979, outubro a novembro de 1981, outubro a dezembro de 1989, janeiro a março de 1990, outubro a dezembro de 1992,

dezembro de 2002 a janeiro de 2003 e de dezembro de 2006 a fevereiro de 2007. Em média, o evento mais chuvoso com IPN de 1,51 durou de janeiro até fevereiro de 1983.

Tabela 3. Caracterização dos eventos secos e chuvosos do IPN-1 para São Romão/MG no período 1977-2012

Eventos de seca IPN-1					Eventos de chuva IPN-1				
Início	Fim	Duração (meses)	Pico	Média	Início	Fim	Duração (meses)	Pico	Média
Fev/77	Mar/77	2	-2,15	-1,92	Jan/78	Fev/78	2	1,32	0,73
Nov/77	Dez/77	2	-1,59	-0,87	Out/78	Fev/79	5	1,89	1,01
Nov/82	Dez/82	2	-3,71	-2,42	Out/79	Nov/79	2	0,87	0,61
Jan/84	Fev/84	2	-1,37	-1,00	Jan/80	Fev/80	2	1,09	1,00
Fev/86	Mar/86	2	-1,36	-0,93	Out/81	Nov/81	2	1,68	1,23
Out/86	Nov/86	2	-0,90	-0,78	Jan/83	Fev/83	2	1,67	1,51
Jan/87	Fev/87	2	-2,08	-1,48	Out/83	Dez/83	3	1,32	0,92
Dez/88	Jan/89	2	-0,79	-0,56	Dez/84	Jan/85	2	1,29	0,69
Jan/90	Mar/90	3	-1,77	-0,61	Dez/84	Mar/85	4	1,61	0,97
Dez/94	Jan/95	2	-1,14	-0,60	Out/85	Dez/85	3	1,13	0,83
Jan/96	Fev/96	2	-1,19	-1,11	Nov/87	Dez/87	2	0,93	0,74
Out/00	Mar/01	6	-0,98	-0,51	Out/89	Dez/89	3	2,13	1,23
Out/02	Nov/02	2	-1,11	-0,78	Out/90	Nov/90	2	0,51	0,51
Out/04	Nov/04	2	-0,91	-0,8	Jan/90	Mar/90	3	1,80	1,02
Jan/06	Fev/06	2	-2,49	-1,33	Nov/91	Fev/92	4	1,43	0,73
Nov/07	Dez/07	2	-1,13	-1,10	Out/92	Dez/92	3	1,74	1,30
Jan/10	Fev/10	2	-1,08	-0,84	Fev/99	Mar/99	2	1,36	0,94
Fev/12	Mar/12	2	-1,49	-0,87	Dez/99	Mar/00	4	0,96	0,57
Out/12	Dez/12	3	-1,87	-1,19	Out/01	Nov/01	2	1,06	0,79
					Jan/02	Fev/02	2	0,87	0,51
					Dez/02	Jan/03	2	1,22	1,08
					Jan/04	Mar/04	3	1,46	0,86
					Dez/04	Mar/05	4	1,09	0,75
					Nov/05	Dez/05	2	1,56	0,94
					Dez/06	Fev/07	3	2,05	1,04
					Nov/08	Jan/09	3	1,41	0,86
					Out/10	Mar/11	6	1,16	0,59

A distribuição de frequência dos eventos secos e chuvosos do IPN-1 de São Romão é mostrada na Figura 15. Observa-se que os maiores percentuais dos eventos estão situados dentro da normalidade (34,72%), isto é, em torno da média pluviométrica daquela localidade. Em seguida, o IPN-1 mostra que a ocorrência de chuvas fracas (29,17%) é comum na região. Outros percentuais que mostram eventos de seca e de chuva também podem ser destacados com menor frequência.

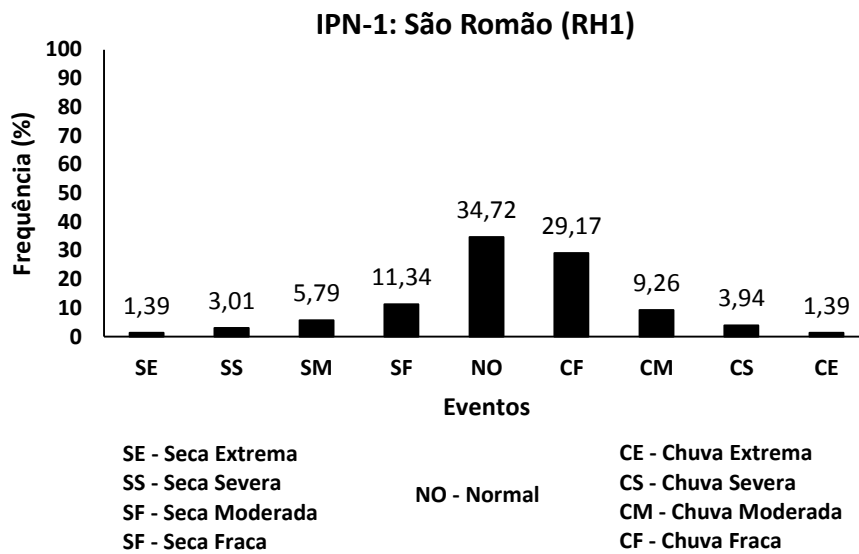


Figura 15. Distribuições de frequência para as nove categorias do IPN-1 em São Romão (RH1)

A Figura 16 ilustra a série temporal do IPN-1 para os meses chuvosos (outubro-março) para a localidade de Pedro Versiani - EFBM (RH2). Analisando a série temporal percebe-se mais índices positivos que negativos, quando comparado a RH1. Por outro lado, na RH1, os picos de seca são mais críticos se comparados a RH2. Os três maiores IPN de chuva (2,01; 3,76; 2,26) aconteceram em março e dezembro de 1987 e em outubro de 2009, nessa ordem. As secas mensais mais fortes registradas com índice de -2,58; -2,51 e -3,13 ocorreram em novembro de 1997, fevereiro de 2009 e dezembro de 2012, respectivamente. A seca máxima de 2012, que foi mostrada pelo índice, reflete a baixa quantidade de chuvas (15,1 mm) registrada em dezembro daquele ano naquele município.

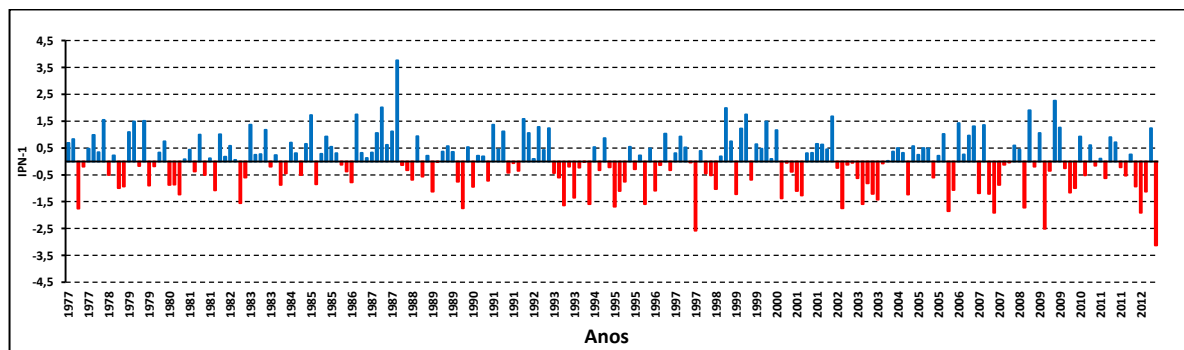


Figura 16. Variabilidade temporal do IPN-1 para o posto pluviométrico de Pedro Versiani – EFBM (RH2) no período 1977-2012

Na Tabela 4 constam as características do IPN mensal para Pedro Versiani (EFBM) no período estudado. Observam-se 22 eventos de chuva e 20 de seca, com duração igual ou superior a dois meses. Em termos médios, podem ser vistas chuvas fraca, moderada e severa, enquanto que apenas secas fraca e moderada foram constatadas. A maior sequência de meses secos perdurou por seis meses, de outubro de 2002 a março de 2003, sendo uma seca fraca, coincidindo com um período de El Niño (Anexo A). A seca mais crítica teve pico médio de -1,46 com duração de dois meses. Salienta-se que a maioria dos eventos secos está classificada como fraco, porém verificam-se alguns casos de seca moderada tais como: outubro a novembro de 1980, novembro a dezembro de 1982, dezembro de 1989 a janeiro de 1990, outubro a novembro de 1997, janeiro a fevereiro de 2006, fevereiro a março de 2009 e de 2012.

Tabela 4. Caracterização dos eventos secos e chuvosos do IPN-1 para Pedro Versiani (EFBM)/MG no período 1977-2012

Eventos de seca IPN-1					Eventos de chuva IPN-1				
Início	Fim	Duração (meses)	Pico	Média	Início	Fim	Duração (meses)	Pico	Média
Nov/78	Dez/78	2	-0,99	-0,97	Jan/77	Fev/77	2	0,83	0,76
Out/80	Nov/80	2	-1,23	-1,05	Nov/77	Fev/78	4	1,55	0,84
Nov/82	Dez/82	2	-1,56	-1,08	Jan/79	Fev/79	2	1,49	1,29
Jan/84	Fev/84	2	-0,87	-0,66	Jan/80	Fev/80	2	0,75	0,54
Jan/89	Fev/89	2	-1,12	-0,57	Jan/82	Mar/82	3	1,01	0,59
Dez/89	Jan/90	2	-1,74	-1,25	Jan/83	Mar/83	3	1,36	0,63
Jan/93	Mar/93	3	-1,64	-0,89	Dez/84	Jan/85	2	1,72	1,19
Out/93	Dez/93	3	-1,35	-0,59	Out/85	Dez/85	3	0,92	0,59
Jan/94	Fev/94	2	-1,59	-0,81	Out/86	Mar/87	6	2,01	0,93
Dez/94	Mar/95	4	-1,69	-0,94	Out/87	Dez/87	3	3,76	1,83
Out/97	Nov/97	2	-2,58	-1,31	Jan/91	Mar/91	3	1,37	0,98
Jan/98	Mar/98	3	-1,03	-0,67	Jan/92	Mar/92	3	1,58	0,91
Out/00	Fev/01	5	-1,37	-0,84	Out/92	Dez/92	3	1,28	0,98
Out/02	Mar/03	6	-1,74	-0,83	Jan/97	Mar/97	3	0,93	0,59
Out/03	Dez/03	3	-1,42	-0,90	Out/98	Dez/98	3	1,98	0,97
Jan/06	Fev/06	2	-1,85	-1,46	Fev/99	Mar/99	2	1,75	1,49
Out/07	Jan/08	4	-1,91	-0,74	Nov/99	Mar/00	5	1,48	0,77
Fev/09	Mar/09	2	-2,51	-1,43	Out/01	Fev/02	5	1,68	0,75
Dez/09	Fev/10	3	-1,16	-0,80	Nov/05	Dez/05	2	1,02	0,62
Fev/12	Mar/12	2	-1,91	-1,42	Out/06	Dez/06	3	1,31	0,84
					Fev/08	Mar/08	2	0,59	0,52
					Out/09	Nov/09	2	2,26	1,76

A chuva manteve-se acima da média por mais meses consecutivos entre outubro de 1986 e março de 1987, com média de 0,93 (chuva fraca). O período chuvoso mais intenso

perdurou de outubro a dezembro de 1987, com pico de 3,76, em novembro de 1987. Neste caso, o evento de chuva ocorreu num período de El Niño moderado. Tanto eventos secos quanto chuvosos foram registrados na fase quente do ENOS, indicando que a RH2 não responde de modo uniforme à influência desse mecanismo global. Isso sugere que, além do ENOS, outros fatores devem ser estudados para melhor compreender a variabilidade das chuvas. Embora prevaleçam eventos de chuva fraca, chuvas moderadas ocorreram de janeiro a fevereiro de 1979, dezembro de 1984 a janeiro de 1985 e de fevereiro a março de 1999.

A Figura 17 mostra a distribuição de frequência dos eventos de seca e de chuva do IPN-1 de Pedro Versiani. A análise do gráfico evidencia que 40,97% dos eventos estão situados dentro da média pluviométrica, ou seja, dentro da normalidade. Chuvas fracas e moderadas representam 23,61% dos eventos chuvosos. Além disso, esse percentual também é o mesmo para o caso das secas fracas e moderadas. Desse modo, se comparada a RH1, a RH2 apresenta maior simetria entre eventos secos e chuvos.

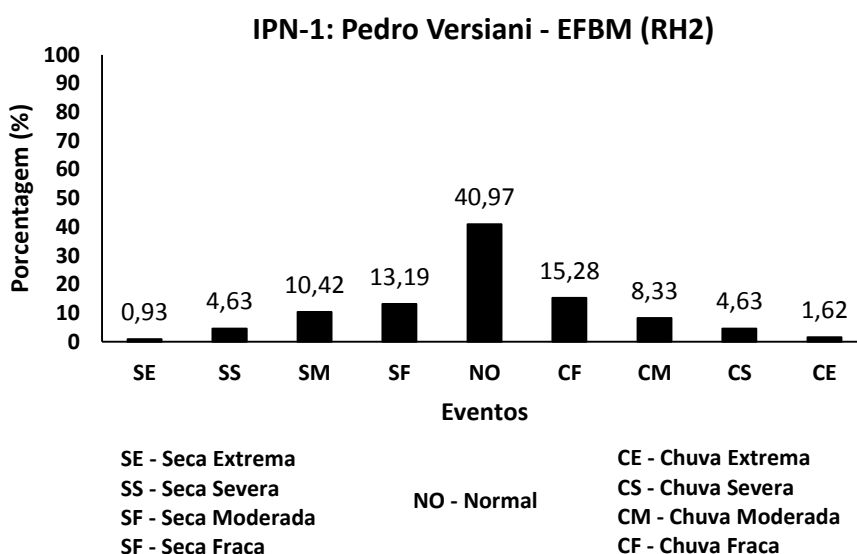


Figura 17. Distribuições de frequência para as nove categorias do IPN-1 em Pedro Versiani – EFBM (RH2)

A Figura 18 ilustra a série temporal do IPN-1 apenas nos meses considerados chuvosos (de outubro a março) para a localidade de Piranga (RH3). O IPN mensal destacou três picos de chuva mais intensos: 2,52 (janeiro de 1991); 2,37 (novembro de 1996) e 2,48 (dezembro de 2008). As secas mais acentuadas com IPN de -3,31; -2,77; -2,69 e -3,12 ocorreram em outubro de 1986, dezembro de 1990, março de 1992 e fevereiro de 1994, nessa sequência. As RH2 e RH3 estão mais sujeitas à influência da umidade oceânica que contrasta

com a continentalidade do triângulo mineiro e noroeste do estado (TONIETTO et al., 2006). Por ser uma RH intermediária, extensa e com a maior quantidade de postos/estações pluviométricas, a variabilidade temporal do IPN-1 da RH3 não apresenta um comportamento bem definido.

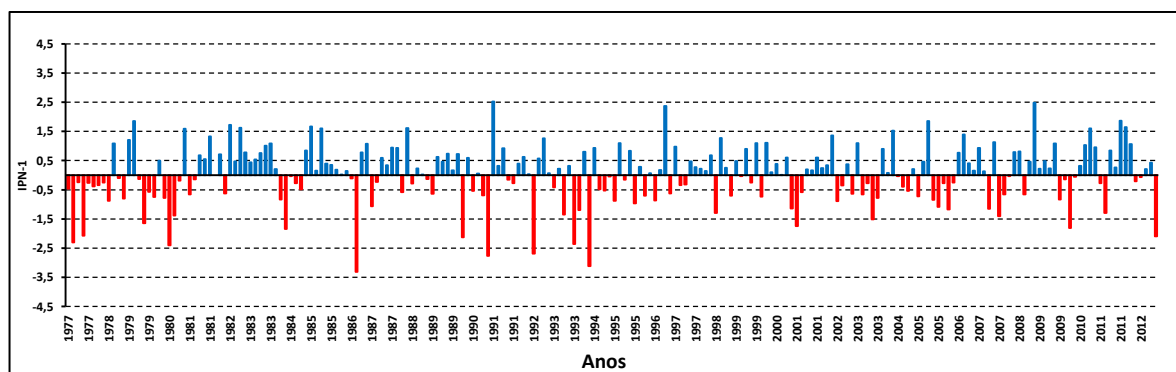


Figura 18. Variabilidade temporal do IPN-1 para o posto pluviométrico de Piranga (RH3) no período 1977-2012

Os eventos secos e chuvosos do IPN-1 de Piranga, para o período chuvoso, são mostrados na Tabela 5. Identificam-se 15 eventos de seca e 22 de chuva. Os valores médios do IPN-1 são classificados nas categorias fraca, moderada e severa. O período mais extenso de seca ocorreu de outubro de 1977 a março de 1978 (fraca). Secas moderadas aconteceram de dezembro de 2000 a fevereiro de 2001 e de outubro a novembro de 2003. Além disso, é possível destacar três episódios de secas severas: de fevereiro a março de 1980 e no bimestre novembro-dezembro dos anos 1990 e 1993. Apesar de localizada na mesorregião da zona da mata mineira, o município de Piranga mostrou-se vulnerável às secas no forte El Niño 1990/1993.

Para a categoria de eventos chuvosos, em termos médios, destacam-se os dois primeiros meses de 1979, com chuva severa. Um único evento com duração de seis meses pode ser visto desde outubro de 1982 a março de 1983. Outros períodos maiores de chuva acima da média também são registrados de outubro de 2001 a fevereiro de 2002, outubro de 2006 a fevereiro de 2007 e de novembro de 2008 a março de 2009. Como já mencionado, a RH3 está numa zona de transição e, por isso, os efeitos do ENOS (fase quente) não são uniformes, ora com perspectivas chuvosas, ora com características mais secas. Acrescentam-se ainda eventos de chuva moderada nos anos 1984/1985, 1991, 1996, 2005, 2010, 2011/2012.

Tabela 5. Caracterização dos eventos secos e chuvosos do IPN-1 para Piranga/MG no período 1977-2012

Eventos de seca IPN-1					Eventos de chuva IPN-1				
Início	Fim	Duração (meses)	Pico	Média	Início	Fim	Duração (meses)	Pico	Média
Jan/77	Mar/77	3	-2,31	-1,00	Jan/79	Fev/79	2	1,85	1,53
Out/77	Mar/78	6	-2,08	-0,69	Out/81	Jan/82	4	1,33	0,65
Out/79	Dez/79	3	-1,65	-0,99	Out/82	Mar/83	6	1,62	0,77
Fev/80	Mar/80	2	-2,40	-1,59	Out/83	Dez/83	3	1,09	0,77
Out/80	Nov/80	2	-1,38	-0,79	Dez/84	Mar/85	4	1,67	1,07
Jan/84	Mar/84	3	-1,84	-0,90	Nov/86	Dez/86	2	1,07	0,93
Jan/87	Fev/87	2	-1,07	-0,65	Out/87	Dez/87	3	0,94	0,74
Nov/90	Dez/90	2	-2,77	-1,73	Fev/89	Mar/89	2	0,62	0,54
Nov/93	Dez/93	2	-2,36	-1,78	Out/89	Dez/89	3	0,74	0,54
Dez/00	Fev/01	3	-1,75	-1,16	Jan/91	Mar/91	3	2,52	1,25
Out/03	Nov/03	2	-1,51	-1,15	Out/92	Dez/92	3	1,26	0,63
Out/05	Fev/06	5	-1,17	-0,73	Out/96	Nov/96	2	2,37	1,27
Nov/07	Jan/08	3	-1,41	-0,70	Out/98	Nov/98	2	1,27	0,76
Nov/09	Fev/10	4	-1,81	-0,71	Jan/00	Mar/00	3	1,11	0,53
Jan/11	Fev/11	2	-1,29	-0,79	Out/01	Fev/02	5	1,36	0,54
					Dez/03	Fev/04	3	1,53	0,84
					Fev/05	Mar/05	2	1,85	1,16
					Out/06	Fev/07	5	1,39	0,60
					Fev/08	Mar/08	2	0,81	0,80
					Nov/08	Mar/09	5	2,48	0,77
					Out/10	Dez/10	3	1,60	1,19
					Out/11	Jan/12	4	1,86	1,21

No município de Piranga (RH3), 39,35% dos eventos estão dentro da média pluviométrica, conforme pode ser visto na distribuição de frequência dos eventos secos e chuvosos do IPN-1 (Figura 19). Secas fracas e moderadas totalizaram 24,32% dos casos. Por outro lado, chuvas fracas e moderadas atingiram 23,37% dos eventos analisados. Outros percentuais de eventos secos e chuvosos de menor frequência também podem ser notados. Na RH3, assim como na RH2, em termos percentuais, ocorre uma relativa simetria entre eventos secos e chuvosos.

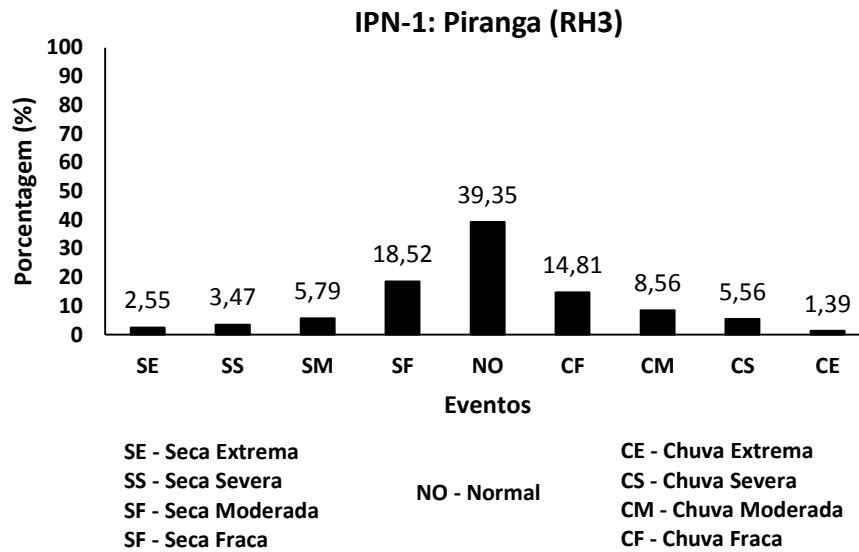


Figura 19. Distribuições de frequência para as nove categorias do IPN-1 em Piranga (RH3)

A Figura 20 apresenta a série temporal do IPN-1 para o período chuvoso da localidade de Cristina - Montante (RH4). Os meses mais chuvosos ocorreram nos anos de 1983, 1986, 1991, 1993, 1995, 2004 e 2008. Destaca-se, nesse caso, o período 1981/1983 com valores exclusivamente positivos de IPN, bem como o pico de 4,36 em novembro de 2008. Picos extremos negativos de IPN ocorreram em outubro de 2002 e em dezembro de 2009. Diante do exposto, observou-se que nos anos de El Niño forte (1982/1983) a localidade de Cristina – Montante registrou chuva acima da média. Vale ressaltar que a predominância de relevo acentuado traz importantes características ao regime pluviométrico dessa RH. Esses resultados estão de acordo os estudos realizados por Ávilla et al. (2009) onde os autores mostraram a relevância da orografia na ocorrência das precipitações mineiras.

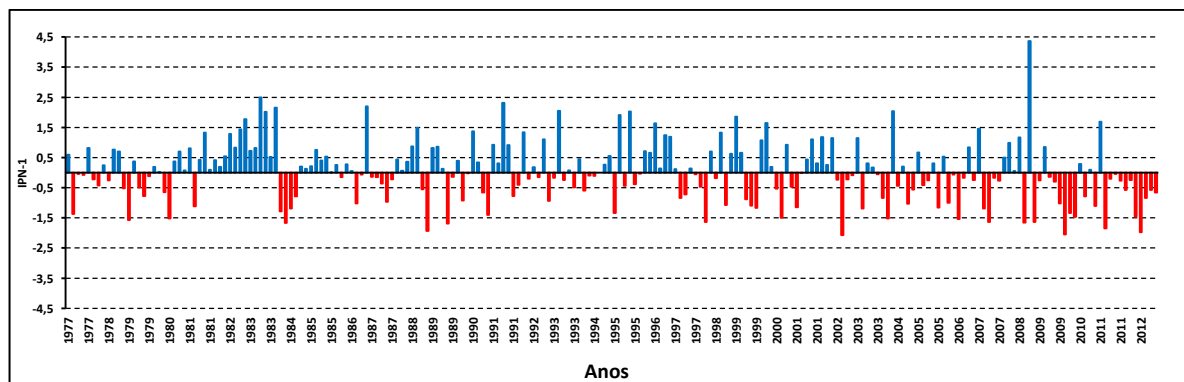


Figura 20. Variabilidade temporal do IPN-1 para o posto pluviométrico de Cristina – Montante (RH4) no período 1977-2012

Algumas características do IPN-1 para a localidade de Cristina – Montante, especificamente no semestre chuvoso, são mostradas na Tabela 6. O índice identificou mais eventos secos (25) do que chuvosos (13), porém a intensidade dos eventos chuvosos é maior. As secas médias consideradas fracas ou moderadas oscilaram entre -0,54 e -1,42, enquanto que o IPN médio de chuva variou entre 0,60 (chuva fraca) e 1,56 (chuva severa). Registrou-se um único evento de seca com duração de seis meses, de outubro de 2011 a março de 2012, com pico máximo de -1,98 e média -0,76 (seca fraca). Em termos de intensidade, destacam-se, por exemplo, as secas moderadas entre fevereiro e março de 2007 e de janeiro a fevereiro de 2010. Além dessas, registraram-se secas moderadas nos anos 1980, 1984, 1988, 1990, 1999, 2009 e 2011.

Tabela 6. Caracterização dos eventos secos e chuvosos do IPN-1 para Cristina – Montante/MG no período 1977-2012

Eventos de seca IPN-1					Eventos de chuva IPN-1				
Início	Fim	Duração (meses)	Pico	Média	Início	Fim	Duração (meses)	Pico	Média
Dez/78	Mar/79	4	-1,57	-0,74	Out/78	Nov/78	2	0,76	0,73
Fev/80	Mar/80	2	-1,52	-1,09	Out/81	Mar/82	6	1,33	0,64
Jan/84	Mar/84	3	-1,67	-1,38	Out/82	Mar/83	6	2,05	1,35
Out/86	Nov/86	2	-1,02	-0,54	Out/83	Dez/83	3	2,15	1,56
Out/87	Nov/87	2	-0,97	-0,60	Jan/89	Mar/89	3	0,86	0,60
Nov/88	Dez/88	2	-1,93	-1,24	Jan/91	Mar/91	3	2,31	1,18
Out/89	Nov/89	2	-1,69	-0,92	Jan/96	Mar/96	3	1,63	1,00
Nov/90	Dez/90	2	-1,40	-1,03	Out/96	Jan/97	4	1,24	0,67
Nov/91	Dez/91	2	-0,78	-0,59	Dez/98	Fev/99	3	1,86	1,05
Dez/92	Jan/93	2	-0,93	-0,55	Dez/99	Fev/00	3	1,65	0,97
Fev/97	Mar/97	2	-0,84	-0,78	Out/01	Dez/01	3	1,18	0,86
Nov/97	Jan/98	3	-1,64	-0,72	Out/01	Fev/02	5	1,18	0,80
Out/99	Nov/99	2	-1,17	-1,13	Dez/07	Mar/08	4	1,17	0,68
Dez/00	Fev/01	3	-1,15	-0,54					
Out/02	Dez/02	3	-2,07	-0,79					
Nov/03	Jan/04	3	-1,52	-0,80					
Nov/04	Dez/04	2	-1,03	-0,80					
Jan/06	Mar/06	3	-1,54	-0,87					
Fev/07	Mar/07	2	-1,64	-1,42					
Dez/08	Jan/09	2	-1,63	-0,94					
Out/09	Dez/09	3	-2,05	-1,12					
Jan/10	Fev/10	2	-1,47	-1,41					
Fev/11	Mar/11	2	-1,85	-1,03					
Out/11	Mar/12	6	-1,98	-0,76					
Out/12	Dez/12	3	-0,84	-0,69					

Observaram-se dois eventos chuvosos com duração de seis meses nos anos 1981/1982 e 1982/1983 (chuvas fraca e moderada, respectivamente). No entanto, a maior intensidade ocorreu de outubro a dezembro de 1983 (chuva severa), com pico de 2,15 e média de 1,56. Embora a maior parte das chuvas seja fraca, existem alguns casos de chuvas moderadas em 1982/1983, 1991 e entre dezembro de 1998 e fevereiro de 1999. Nesta RH4, os eventos de chuva estão de acordo com os resultados encontrados por Botelho e Morais (1999), ao apresentarem estimativas dos parâmetros da distribuição de probabilidade gama para a precipitação pluvial de Lavras-MG, quando mostraram que o ano de 1983 registrou a maior precipitação anual (2568 mm).

No município de Cristina - Montante (RH4), observa-se que 38,43% dos eventos estão dentro da média pluviométrica, conforme pode ser visto na distribuição de frequência dos eventos secos e chuvosos do IPN-1 (Figura 21). Os eventos secos atingiram o mesmo percentual obtido nos eventos chuvosos (30,79%). Secas fracas e moderadas totalizaram 25,47% dos casos. As chuvas fracas e moderadas, por outro lado, atingiram 24,77% dos eventos. Outros percentuais de eventos secos e chuvosos de menor frequência também podem notados. Na RH4, assim como na RH2 e RH3, o IPN-1 indicou simetria entre eventos secos e chuvosos.

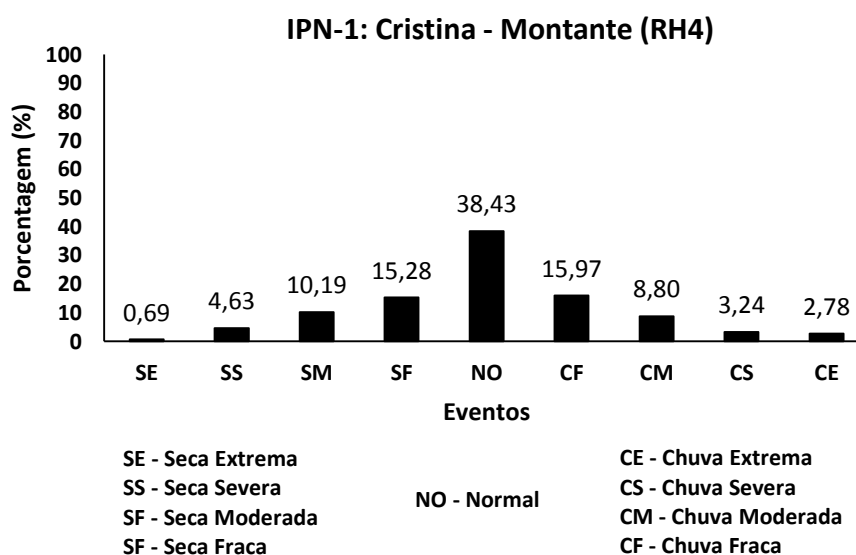


Figura 21. Distribuições de frequência para as nove categorias do IPN-1 em Cristina – Montante (RH4)

6.5 Padrões espaciais e temporais do IPN-3

A aplicação da ACP ao IPN-3 resultou na retenção de 18 fatores comuns que explicaram, aproximadamente, 76% da variância total dos dados. A retenção dos fatores comuns foi feita de acordo com o critério de truncamento de Kaiser que considera os autovalores superiores à unidade (NORTH et al., 1982; BEZERRA, 2007). Os dois primeiros padrões selecionados representam fisicamente a média e alguns aspectos gerais importantes do regime pluviométrico da região, dispensando, portanto, maiores comentários sobre os fatores subsequentes. Por isso, foram discutidos apenas os dois primeiros fatores não rotacionados que explicaram 53,54% da variabilidade mensal dos dados de IPN-3 (Tabela 7).

Tabela 7. Valores próprios (autovalores) e variâncias explicada e acumulada do IPN-3

CP	Fatores não rotacionados			Fatores rotacionados (Varimax)		
	Autovalor	Variância Explicada (%)	Variância Acumulada (%)	Autovalor	Variância Explicada (%)	Variância Acumulada (%)
1	63,72	43,06	43,06	23,21	15,68	15,68
2	15,52	10,49	53,54	20,31	13,73	29,41
3	5,82	3,93	57,47	19,76	13,35	42,76
4	4,46	3,01	60,49	12,54	8,47	51,23
5	2,83	1,91	62,40	6,67	4,51	55,74
6	2,60	1,76	64,16	5,15	3,48	59,22
7	2,31	1,56	65,72	4,16	2,81	62,03
8	1,98	1,34	67,06	3,92	2,65	64,67
9	1,67	1,13	68,19	2,87	1,94	66,61
10	1,51	1,02	69,21	1,92	1,30	67,91
11	1,45	0,98	70,18	1,80	1,22	69,13
12	1,39	0,94	71,12	1,74	1,18	70,30
13	1,28	0,86	71,98	1,70	1,15	71,45
14	1,23	0,83	72,81	1,43	0,96	72,41
15	1,17	0,79	73,60	1,31	0,89	73,30
16	1,14	0,77	74,37	1,31	0,89	74,18
17	1,06	0,72	75,09	1,20	0,81	75,00
18	1,04	0,71	75,79	1,18	0,80	75,79
...
148	...	...	100	...	...	100

A variabilidade espacial do primeiro fator comum do IPN-3, que explica aproximadamente 43,06% da variância total dos dados, tem altas correlações positivas nas regiões centrais e norte, decrescendo em direção ao sul e extremos oeste e nordeste do estado (Figura 22).

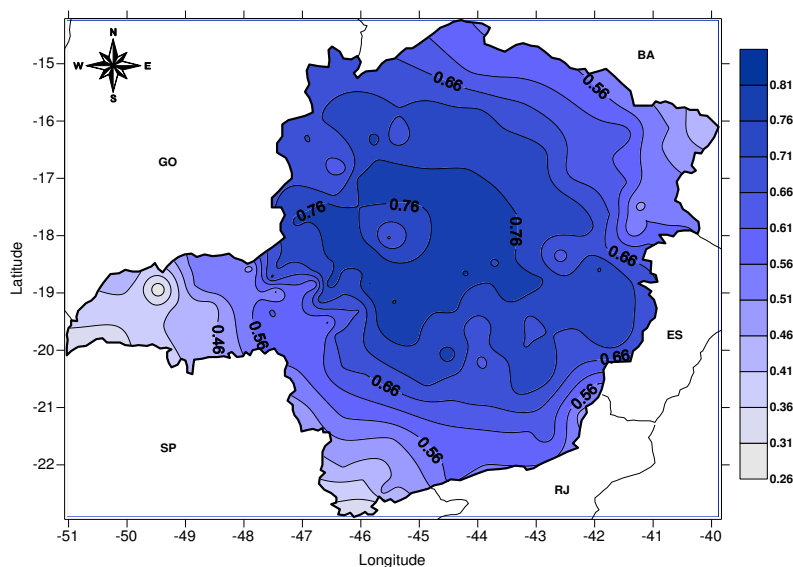


Figura 22. Padrão espacial do primeiro fator (correlações) do IPN-3 no estado de Minas Gerais

O primeiro fator mostrou um contraste importante entre o centro-norte de Minas e a regiões sul e oeste do estado. A análise do IPN-3 foi capaz de identificar as regiões do estado que são mais propensas à ausência de precipitação a curto e médio prazos, fornecendo uma estimativa dos efeitos da precipitação sazonal. Em geral, esses resultados concordam com aqueles obtidos por Melo e Viola (2013), ao mostrarem que a intensidade e o período das chuvas na porção norte/nordeste de Minas Gerais têm menor duração.

A Figura 23 ilustra a série temporal do IPN-3 associada ao primeiro fator (escores). A alternância entre valores positivos e negativos mostra a variabilidade na escala sazonal da precipitação. Observam-se escores máximos em alguns meses dos anos 1978/1979, 1981/1983, 1986, 1989/1990, 1992, 2004, 2006/2007 e 2009. Valores mínimos ocorreram nos anos de 1977, 1982, 1984, 1986, 1994, 2001, 2007 e 2011. A análise conjunta das correlações espaciais e dos escores temporais do primeiro fator identificou o contraste das chuvas para Minas Gerais. Meses consecutivos com escores máximos do IPN-3 ocorreram, em sua maioria, nas décadas de 70 e 80 (78/79, 81/82, 83) e nos anos de eventos de El Niño (2004 e 2006), enquanto que os mínimos predominaram para os anos de La Niña (2001 e 2007). Este resultado está coerente com o padrão mostrado para o centro-norte do estado (Figura 22). Ou seja, no setor norte-nordeste, os meses contínuos de escores positivos sugerem a diminuição de chuvas em anos de El Niño. Segundo Minuzzi et al. (2005), observa-se uma divisão na influência do El Niño em Minas Gerais, pois na metade sudoeste, onde há somente regiões com tendência de chuvas acima da média climática, prevalecem características da Região Sul

do país e na metade nordeste, com tendência oposta, observam-se influências semelhantes ao que ocorre na região Nordeste brasileira durante os eventos de El Niño.

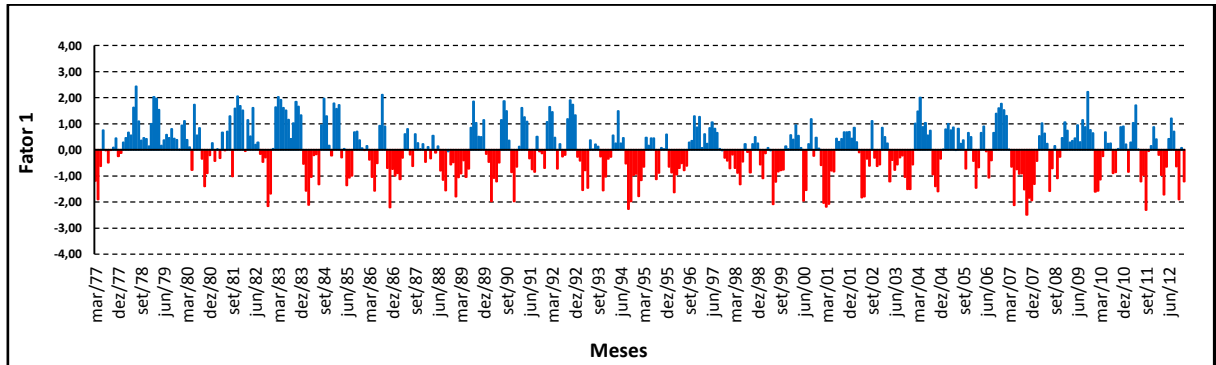


Figura 23. Série temporal do primeiro fator comum (escores) do IPN-3 para o período 1977-2012

O padrão do segundo fator, que explica 10,49% da variância total do IPN-3, apresenta correlações mais elevadas nas regiões oeste, sul, sudeste e sudoeste. Correlações negativas aparecem no norte e nordeste do estado, conforme ilustrado na Figura 24. Pode-se observar, assim como no segundo fator do IPN-1, uma clara separação na diagonal noroeste/sudeste entre valores positivos (sul/sudoeste) e negativos (norte/nordeste).

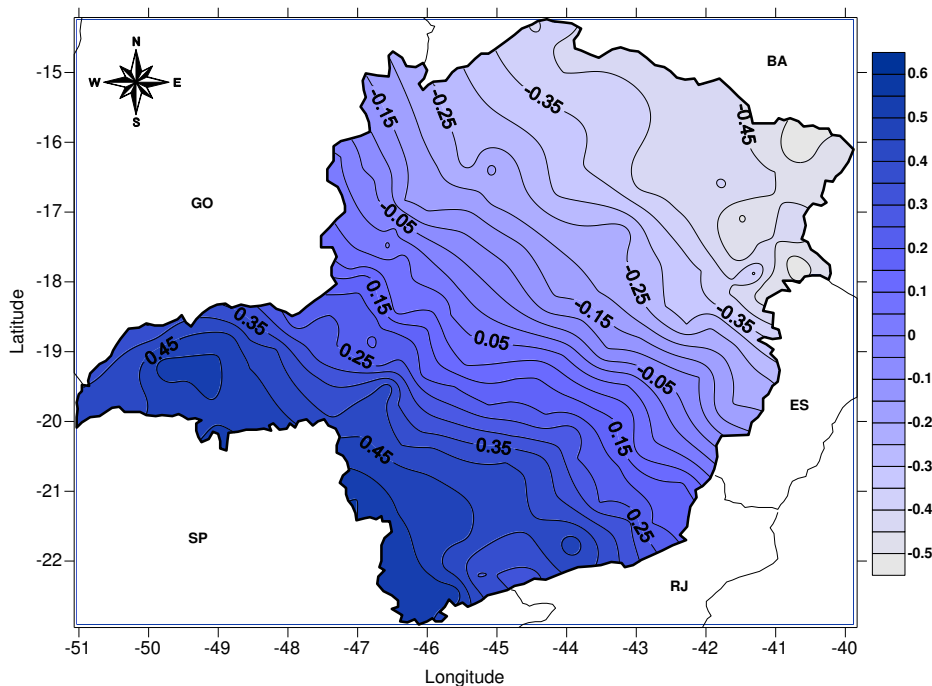


Figura 24. Padrão espacial do segundo fator (correlações) do IPN-3 no estado de Minas Gerais

A respeito disso, Minuzzi et al. (2007) descreveram que as regiões sul e sudoeste são as áreas mineiras que apresentam maior duração e intensidade do período chuvoso, concordando os resultados obtidos na secção 6.1 (Figura 7). Para os autores, há ainda a importância dos aspectos geográficos e continentalidade, sempre considerando os efeitos da orografia local como a Serra da Mantiqueira. Nesse contexto, Escobar (2014) menciona que cavados, frentes frias e estacionárias no oceano, ciclones extratropicais e subtropicais na superfície e sistemas de altitude geram forte divergência em altos níveis na caracterização da duração e intensidade da precipitação naquela região. A série temporal associada ao segundo fator do IPN-3 mostra a persistência de eventos de chuva num maior número de meses sequenciados (Figura 25). O período de novembro de 1982 a agosto de 1983 apresenta os índices positivos mais elevados e um pico máximo superior a 3,0. Uma vez que as maiores contribuições do segundo fator foram no sul/sudoeste, os resultados da distribuição temporal do IPN-3 mostraram escores positivos relacionados, neste caso, com a resposta das chuvas ao El Niño de 82/83. Segundo Minuzzi et al. (2005), as regiões sul/sudoeste mineiras são atingidas por elevada quantidade de precipitação nos anos de El Niño. Outros escores máximos de IPN-3 aconteceram em abril de 1993, fevereiro de 1995 e nos períodos de abril a outubro de 1998 e de janeiro a fevereiro de 2010. No tocante às condições de seca, mínimos inferiores a -2,0 ocorreram em 1977/1978, início e meados da década de 1980, assim como no início e final da década de 1990. No início da década de 2000 e em 2010, percebe-se também alguns meses de seca intensa. Boa parte dos escores negativos do IPN-3 ocorreu em meses da estação seca. Considerando-se a escala trimestral aqui discutida, é importante salientar que períodos de menor disponibilidade de água também puderam ser extraídos por esse fator.

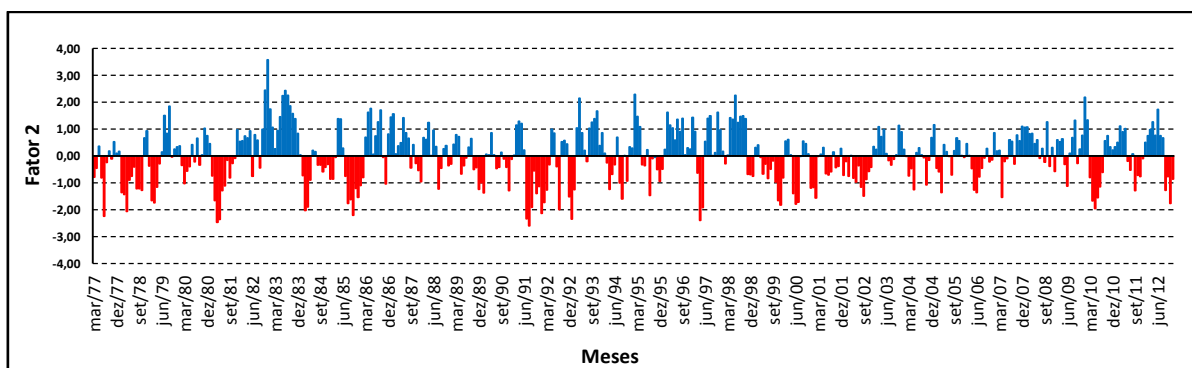


Figura 25. Série temporal do segundo fator comum (escores) do IPN-3 para o período 1977-2012

6.6 Regiões Homogêneas do IPN-3

Os principais fatores comuns explicaram, aproximadamente, 75,8% da variância sazonal dos dados do IPN-3. Adotando-se o mesmo procedimento realizado no IPN-1, foram definidas as regiões homogêneas do IPN-3. Desse modo, o estado foi classificado em quatro RH. A delimitação dessas regiões é mostrada na Figura 26 e suas principais características são brevemente descritas a seguir.

A RH1, composta de 65 postos pluviométricos, está localizada no norte/nordeste do estado. A RH2 caracteriza uma zona de transição, sendo composta por 61 postos pluviométricos. Observa-se ainda a RH3, subdividida nas porções sul e extremo oeste, com 21 postos pluviométricos. E, por fim, a técnica empregada possibilitou isolar a RH4, com um único posto pluviométrico (Cascalho Rico), como resposta aos efeitos da irregularidade orográfica.

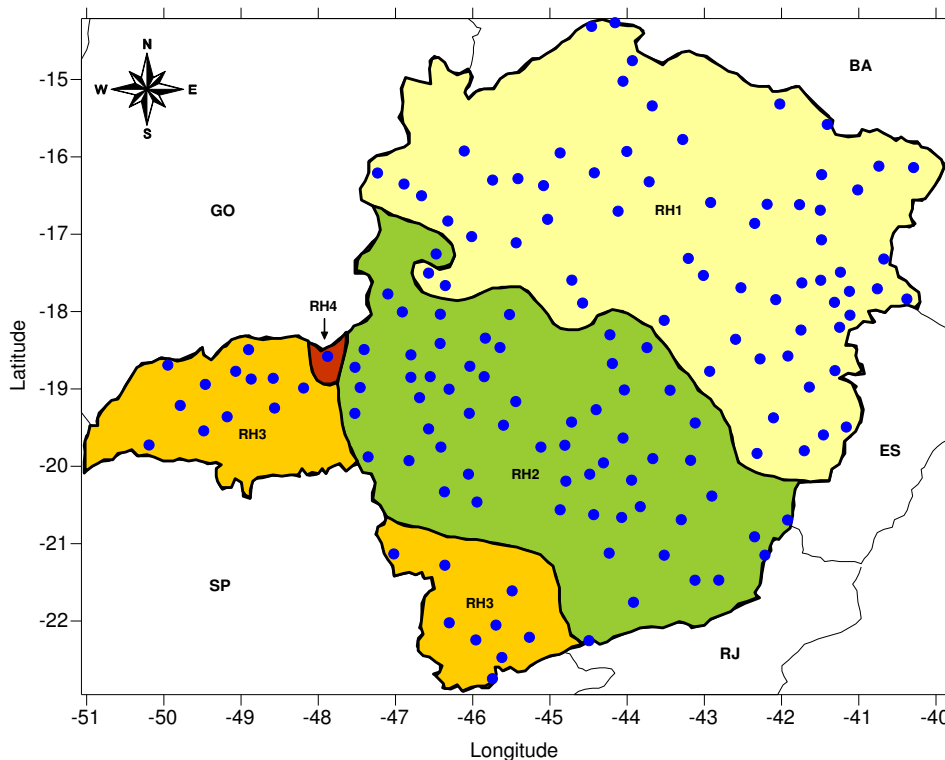


Figura 26. Espacialização das Regiões Homogêneas do IPN-3 para o estado de Minas Gerais

6.7 Características dos eventos secos e chuvosos do IPN-3

Escolheu-se um posto pluviométrico representativo da variabilidade temporal do IPN-3 em cada RH. Com isso, máximos e mínimos foram analisados. A Figura 27 ilustra a série temporal do IPN-3 para a localidade de São Romão (RH1).

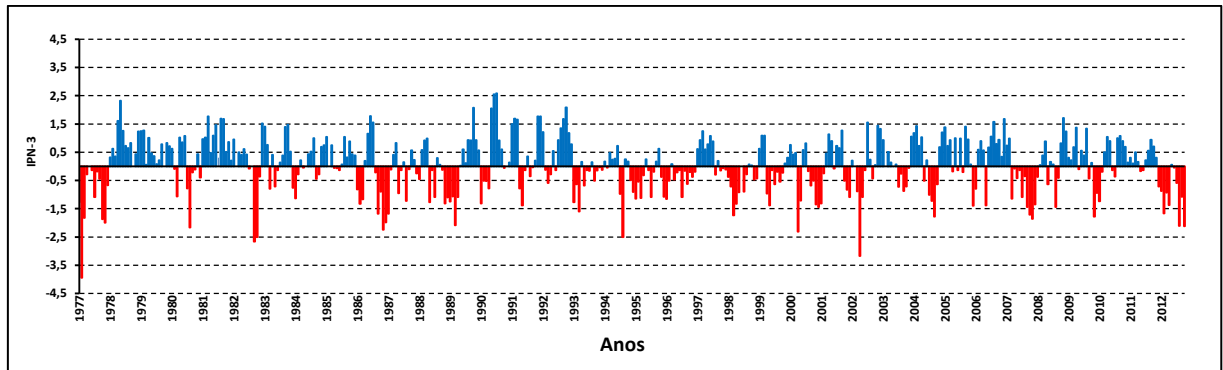


Figura 27. Variabilidade temporal do IPN-3 para o posto pluviométrico de São Romão (RH1) no período 1977-2012

Os índices mais intensos são de eventos secos, atingindo valores de -3,94 (seca severa) em 1977 e de -3,17 (seca severa) em 2002. Os maiores picos de chuva ocorreram em 1978 e 1990, com máximos entre 2,0 e 3,0 caracterizando também chuvas severas, porém de menor intensidade que os eventos secos. O IPN-3 evidenciou que a região norte mineira está vulnerável à falta de chuvas, conforme já havia sido descrito por Viola et al. (2010) que encontraram valores decrescentes no sentido sul-norte do estado.

Características dos principais eventos secos e chuvosos do IPN-3 para São Romão, com duração igual ou superior a três meses, são vistos na Tabela 8. Foram encontrados 22 eventos de seca e 24 de chuva. Os valores médios do IPN-3 indicaram intensidades de secas fraca, moderada e severa variando de -0,51 a -1,84. A maior duração de eventos secos ocorreu de janeiro de 1996 a fevereiro de 1997 com seca fraca. Secas moderadas aconteceram, por exemplo, entre outubro de 1986 e abril de 1987 e de maio a agosto de 2002. O evento mais intenso de seca severa ocorreu de novembro de 1982 a janeiro de 1983. As secas moderadas coincidiram com eventos de El Niño, sugerindo que este mecanismo interfere na precipitação de modo diferente ao observado no sul e sudoeste de Minas.

Tabela 8. Caracterização dos principais eventos secos e chuvosos do IPN-3 para São Romão/MG no período 1977-2012

Eventos de seca IPN-3					Eventos de chuva IPN-3				
Início	Fim	Duração (meses)	Pico	Média	Início	Fim	Duração (meses)	Pico	Média
Mar/77	Fev/78	12	-3,94	-1,06	Mar/78	Mar/80	25	2,32	0,72
Nov/82	Jan/83	3	-2,66	-1,84	Jun/80	Ago/80	3	1,08	0,98
Fev/84	Abr/84	3	-1,13	-0,72	Mar/81	Ago/82	18	1,77	0,88
Mar/86	Mai/86	3	-1,33	-1,11	Fev/83	Abr/83	3	1,52	1,23
Out/86	Abr/87	7	-2,24	-1,26	Set/83	Jan/84	5	1,47	0,78
Jul/88	Set/88	3	-1,27	-0,83	Ago/84	Out/84	3	1,00	0,65
Dez/88	Jun/89	7	-2,09	-1,15	Jan/85	Mar/85	3	1,04	0,83
Mar/90	Jun/90	4	-1,31	-0,78	Set/85	Fev/86	6	1,04	0,52
Jun/91	Nov/91	5	-1,38	-0,53	Jun/86	Set/86	4	1,78	1,17
Mar/93	Set/93	6	-1,6	-0,75	Abr/88	Jun/88	3	0,99	0,83
Jan/95	Jun/95	6	-1,15	-0,76	Jul/89	Fev/90	8	2,07	0,77
Jan/96	Fev/97	14	-1,16	-0,51	Jul/90	Mai/91	11	2,58	1,37
Out/97	Jul/98	10	-1,74	-0,55	Dez/91	Mar/92	4	1,77	1,24
Jun/99	Dez/99	7	-1,38	-0,58	Set/92	Fev/93	6	2,08	1,33
Out/00	Abr/01	7	-1,44	-0,82	Mar/97	Set/97	7	1,25	0,88
Dez/01	Fev/02	3	-1,09	-0,81	Mar/99	Mai/99	3	1,09	0,93
Mai/02	Ago/02	4	-3,17	-1,32	Set/02	Jun/03	10	1,55	0,68
Set/03	Jan/04	5	-0,87	-0,53	Fev/04	Jun/04	5	1,43	1,08
Jul/04	Dez/04	6	-1,78	-1,03	Jan/05	Mai/05	5	1,38	0,98
Mai/07	Mar/08	11	-1,86	-1,17	Nov/05	Jan/06	3	1,40	0,81
Nov/09	Abr/10	6	-1,78	-0,74	Abr/06	Abr/07	13	1,68	0,90
Fev/12	Dez/12	11	-2,12	-1,04	Dez/08	Out/09	11	1,71	0,86
					Out/10	Jun/11	9	1,08	0,54
					Set/11	Jan/12	5	0,94	0,54

A maior sequência de eventos chuvosos perdurou 25 meses e ocorreu de março de 1978 a março de 1980, com intensidade média de 0,72 e pico de 2,32. Os eventos chuvosos ocorridos no período em estudo oscilaram entre chuva fraca e moderada, com valores médios de 0,52 a 1,37. O evento de maior intensidade prolongou-se por 11 meses, com média de 1,37 e ocorreu entre julho de 1990 e maio de 1991 com pico de 2,58.

A distribuição de frequência dos eventos secos e chuvosos do IPN-3 de São Romão pode ser observada na Figura 28. Na RH1, observa-se que 40,93% dos eventos estão dentro da média pluviométrica. Esse resultado mostra que comparado à escala mensal, a escala de três meses obteve mais eventos classificados como normais, assim como maior frequência de eventos chuvosos (33,26%) do que secos (25,81%).

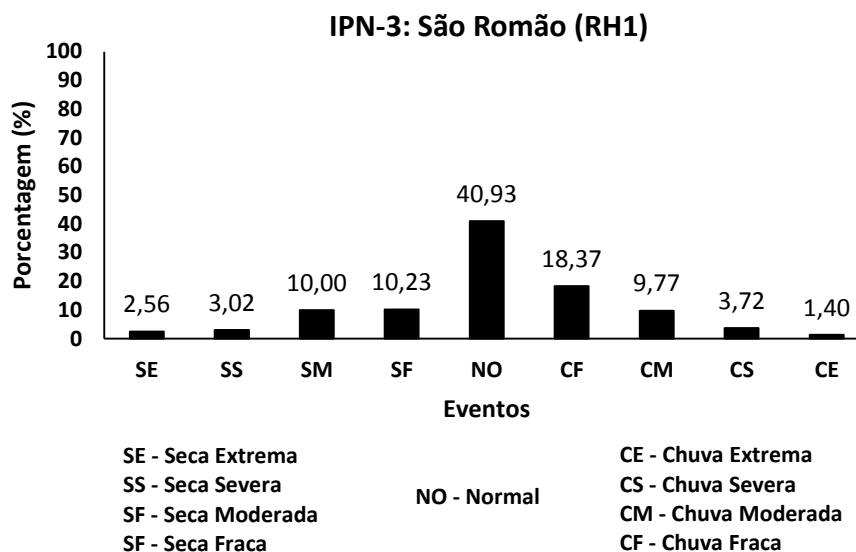


Figura 28. Distribuições de frequência para as nove categorias do IPN-3 em São Romão (RH1)

O município de Piranga (RH2) pertence a uma região homogênea com aspectos de transição entre a RH1 e a RH3. Na série temporal do IPN-3 (Figura 29), percebe-se que os mínimos negativos não são tão intensos quanto em São Romão. Os valores mais críticos de seca estão em 1990, 1999, 2001 e 2011, coincidindo com períodos de La Niña. Por outro lado, eventos chuvosos duradouros são visualizados com maior frequência quando comparados com São Romão (RH1), como em 1978/1979 e 1983. Além dos fatores sinóticos, os eventos de chuva podem estar associados à convecção local, haja vista que o município situa-se a mais de 600m de altitude nas proximidades das Serras do Espinhaço e da Mantiqueira.

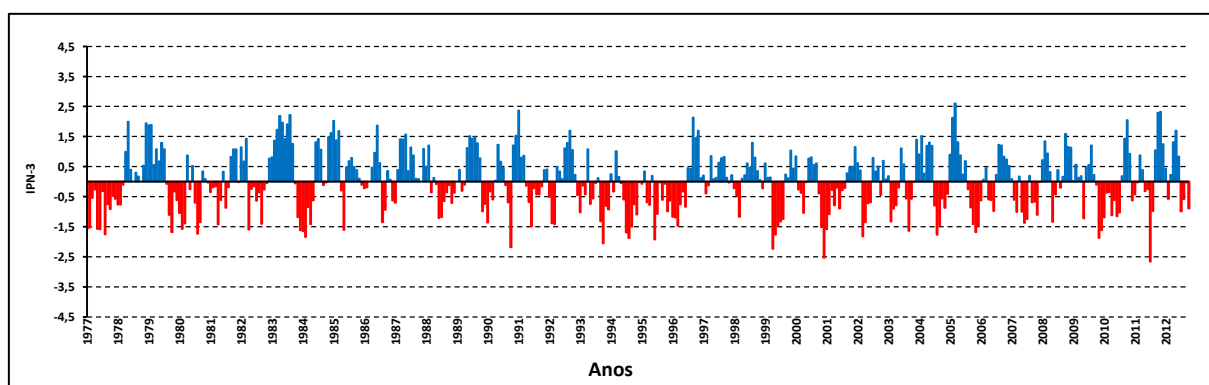


Figura 29. Variabilidade temporal do IPN-3 para o posto pluviométrico de Piranga (RH2) no período 1977-2012

A localidade de Piranga apresentou 24 eventos de seca e 25 de chuva para o IPN-3 (Tabela 9). Os valores médios indicaram intensidades de secas fraca, moderada e severa variando de -0,51 a -1,61. O maior período seco foi de quinze meses, entre março de 1977 e

maio de 1978, com média de -0,90 (fraca) e pico de -1,76. As três maiores secas médias identificadas foram: duas moderadas, de setembro a novembro de 1980 e de novembro de 1993 a fevereiro de 1994, e uma severa, de junho a outubro de 1999. Por outro lado, entre junho de 1978 e setembro de 1979, ocorreu a maior sequência de meses chuvosos com intensidade média moderada de 1,05. As chuvas médias variaram entre fraca, moderada e severa, com valores médios de 0,53 a 1,64. Vale ressaltar que, na RH2, a média de intensidade dos eventos chuvosos superou a RH1. As chuvas mais severas duraram dez e cinco meses e ocorreram, respectivamente, de fevereiro a novembro de 1983 e nos primeiros cinco meses de 1985.

Tabela 9. Caracterização dos principais eventos secos e chuvosos do IPN-3 para Piranga/MG no período 1977-2012

Eventos de seca IPN-3					Eventos de chuva IPN-3				
Início	Fim	Duração (meses)	Pico	Média	Início	Fim	Duração (meses)	Pico	Média
Mar/77	Mai/78	15	-1,76	-0,90	Jun/78	Set/79	16	1,99	1,05
Out/79	Mai/80	8	-1,68	-0,98	Nov/81	Jan/82	3	1,08	0,99
Set/80	Nov/80	3	-1,74	-1,26	Mar/82	Mai/82	3	1,43	1,08
Jun/82	Jan/83	8	-1,60	-0,59	Fev/83	Nov/83	10	2,22	1,56
Dez/83	Jul/84	8	-1,84	-1,16	Ago/84	Out/84	3	1,42	1,27
Jul/88	Fev/89	8	-1,21	-0,59	Jan/85	Mai/85	5	2,02	1,64
Jan/90	Mai/90	5	-1,36	-0,80	Mai/86	Set/86	5	1,86	0,78
Out/90	Dez/90	3	-2,18	-1,00	Abr/87	Abr/88	13	1,57	0,85
Jun/91	Dez/91	7	-1,49	-0,51	Jul/89	Dez/89	6	1,51	1,27
Nov/93	Fev/94	4	-2,05	-1,28	Jan/91	Mai/91	5	2,37	1,35
Jul/94	Mar/95	9	-1,87	-0,85	Jun/92	Jan/93	8	1,69	0,79
Ago/85	Ago/86	13	-1,93	-0,85	Set/96	Dez/96	4	2,13	1,11
Mar/98	Mai/98	3	-1,17	-0,62	Jan/97	Mar/97	3	1,70	0,67
Jun/99	Out/99	5	-2,23	-1,61	Nov/99	Mar/00	5	1,03	0,53
Dez/00	Out/01	11	-2,53	-0,89	Ago/00	Nov/00	4	0,81	0,69
Mai/02	Ago/02	4	-1,82	-1,14	Nov/01	Abr/02	6	1,15	0,56
Out/03	Jan/04	4	-1,64	-0,70	Fev/04	Ago/04	7	1,51	1,11
Set/04	Fev/05	6	-1,77	-0,98	Mar/05	Set/05	7	2,60	1,25
Out/05	Mar/06	6	-1,68	-1,05	Set/06	Mar/07	7	1,23	0,69
Jun/06	Ago/06	3	-0,98	-0,73	Mar/08	Jun/08	4	1,34	0,83
Abr/07	Fev/08	11	-1,37	-0,72	Nov/08	Jun/09	8	1,59	0,62
Dez/09	Set/10	10	-1,87	-0,94	Ago/09	Nov/09	4	1,21	0,62
Jul/11	Out/11	4	-2,66	-1,05	Out/10	Jan/11	4	2,05	1,15
Set/12	Dez/12	4	-0,99	-0,62	Nov/11	Mar/12	5	2,32	1,47
					Mai/12	Ago/12	4	1,70	1,02

Os postos pluviométricos de São Romão e Piranga estão localizados em áreas homogêneas diferentes. No entanto, o IPN trimestral apresentou semelhanças na identificação tanto do período seco, no segundo semestre de 1977 e início de 1978, como também das chuvas no decorrer de 1978.

A Figura 30 mostra a distribuição de frequência dos eventos secos e chuvosos do IPN-3 de Piranga (RH2). Eventos classificados como normais são os mais frequentes (37,91%). Secas fracas e moderadas, totalizando 25,35% dos casos, superaram os totais de eventos de chuva dessas mesmas categorias (23,26%). Além disso, o IPN-3 mostrou que para a escala trimestral a frequência de eventos secos (32,32%) foi pouco maior que a de eventos secos (29,78%).

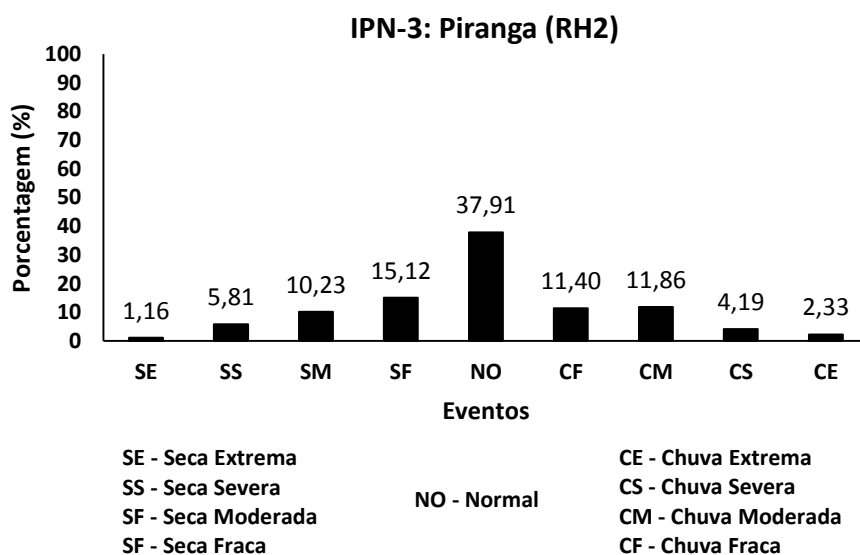


Figura 30. Distribuições de frequência para as nove categorias do IPN-3 em Piranga (RH2)

A Figura 31 ilustra a série temporal do IPN-3 para a localidade de Brasópolis (RH3). O período de maior duração e intensidade de chuva ocorreu em 1982/1983, coincidindo com uma intensa fase quente do ENOS (Anexo A). Por outro lado, o maior evento seco com pico de -4,36 (seca severa) ocorreu em junho de 2000 (La Niña fraco). Os resultados obtidos neste estudo corroboram com os descritos com Minuzzi et al. (2005) quando retratam que o sul de Minas responde de modo semelhante à região Sul do Brasil aos efeitos do El Niño.

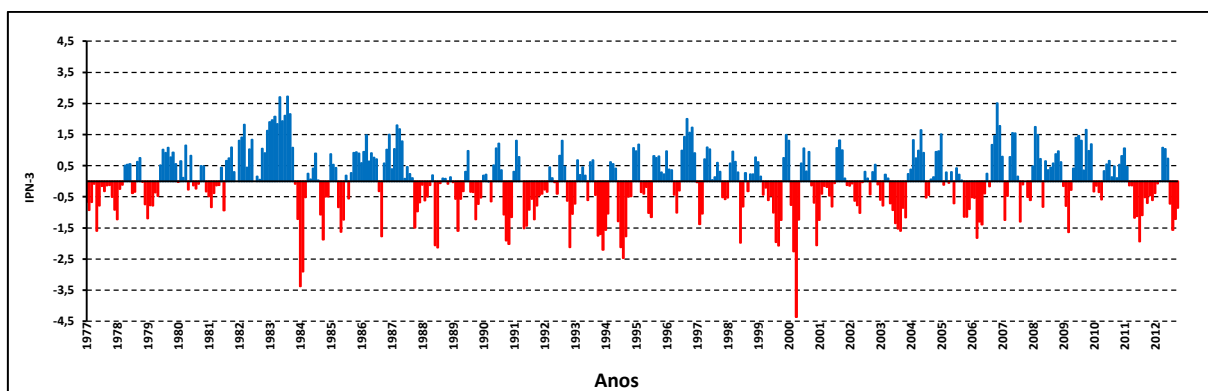


Figura 31. Variabilidade temporal do IPN-3 para o posto pluviométrico de Brasópolis (RH3) no período 1977-2012

Algumas características do IPN-3 de Brasópolis (RH3) são mostradas na Tabela 10. Identificaram-se 22 eventos de seca e 23 de chuva. As secas foram classificadas como fraca, moderada, severa e extrema, com valores médios negativos situados entre -0,51 e -2,15.

Tabela 10. Caracterização dos principais eventos secos e chuvosos do IPN-3 para Brasópolis/MG no período 1977-2012

Eventos de seca IPN-3					Eventos de chuva IPN-3				
Início	Fim	Duração (meses)	Pico	Média	Início	Fim	Duração (meses)	Pico	Média
Mar/77	Mai/78	15	-1,60	-0,60	Ago/79	Jun/80	11	1,15	0,77
Jan/79	Jul/79	7	-1,19	-0,62	Out/81	Dez/83	27	2,72	1,65
Jan/84	Mai/84	5	-3,38	-1,62	Mar/85	Mai/85	3	0,87	0,61
Nov/84	Fev/85	4	-1,87	-0,99	Nov/85	Set/86	11	1,48	0,82
Jun/85	Out/85	5	-1,63	-1,10	Dez/86	Nov/87	12	1,8	0,85
Dez/87	Out/88	11	-2,13	-0,88	Mar/91	Mai/91	3	1,31	0,80
Out/89	Fev/90	5	-1,23	-0,64	Set/92	Nov/92	3	1,31	0,87
Nov/90	Fev/91	4	-2,02	-1,54	Fev/95	Abr/95	3	1,18	0,97
Dez/92	Mar/93	4	-2,12	-1,13	Out/95	Mai/96	8	0,97	0,57
Nov/93	Abr/94	6	-2,2	-1,45	Set/96	Fev/97	6	2,01	1,44
Ago/94	Jan/95	6	-2,47	-1,44	Jun/97	Dez/97	7	1,09	0,56
Mai/95	Set/95	5	-1,15	-0,62	Abr/98	Jul/98	4	0,96	0,62
Mar/97	Mai/97	3	-1,38	-0,82	Jan/00	Mar/00	3	1,49	1,18
Mai/99	Dez/99	8	-2,07	-1,00	Ago/00	Nov/00	4	1,06	0,73
Abr/00	Jul/00	4	-4,36	-2,15	Out/01	Jan/02	4	1,32	0,87
Dez/00	Set/01	10	-2,06	-0,62	Fev/04	Ago/04	7	1,64	0,89
Jul/03	Jan/04	7	-1,60	-1,16	Nov/04	Mar/05	5	1,51	0,72
Dez/05	Ago/06	9	-1,82	-1,02	Nov/06	Mar/07	5	2,51	1,54
Out/07	Fev/08	5	-1,3	-0,51	Jun/07	Set/07	4	1,55	1,00
Mar/09	Jun/09	4	-1,64	-0,72	Mar/08	Fev/09	12	1,75	0,81
Mar/11	Abr/12	12	-1,94	-0,95	Jul/09	Fev/10	8	1,66	1,10
Set/12	Dez/12	4	-1,57	-1,10	Jul/10	Abr/11	10	1,06	0,51
					Mai/12	Ago/12	4	1,08	0,95

A maior duração de eventos secos ocorreu de março de 1977 a maio de 1978 com seca fraca. Eventos de seca moderada ocorreram, por exemplo, de novembro de 1993 a abril de 1994, de agosto de 1994 a janeiro de 1995 e de julho de 2003 a janeiro de 2004. Dois eventos de seca severa foram obtidos: o primeiro deles durou 5 meses e ocorreu entre janeiro e maio de 1984, com pico de -3,38 e média -1,62, enquanto que o segundo, com 4 meses, foi de novembro de 1990 a fevereiro de 1991.

Os eventos chuvosos médios oscilaram entre 0,51 e 1,65. A maior e mais intensa sequência chuvosa durou 27 meses desde outubro de 1981 até dezembro de 1983, cuja intensidade média atingiu 1,65, ou seja, um evento de chuva severa. O segundo evento mais severo deu-se entre novembro de 2006 e março de 2007. Outros eventos de chuva moderada e fraca também foram obtidos. Em Brasópolis, a sul do estado, além de linhas de instabilidade provocadas pela topografia, dos sistemas frontais que adentram o continente e de sistemas sinóticos que atuam sazonalmente na região intensificando ou inibindo a convecção, o padrão de seca ou de chuva do IPN-3 pode ter correspondência com as fases quente (chuvas severas em 1982/1983 e 2006/2007) e fria (seca severa em 1984 e seca extrema em 2000) do ENOS.

A Figura 32 ilustra a frequência dos eventos de seca e de chuva do IPN-3 de Brasópolis (RH3). A análise do gráfico evidencia que 38,6% dos eventos estão situados dentro da média pluviométrica, ou seja, dentro da normalidade. Chuvas fracas e moderadas atingiram 26,51% dos casos, superando as secas fracas e moderadas (21,86%). Além disso, diferentemente da RH2, na RH3 os eventos de chuva são mais frequentes que os de seca.

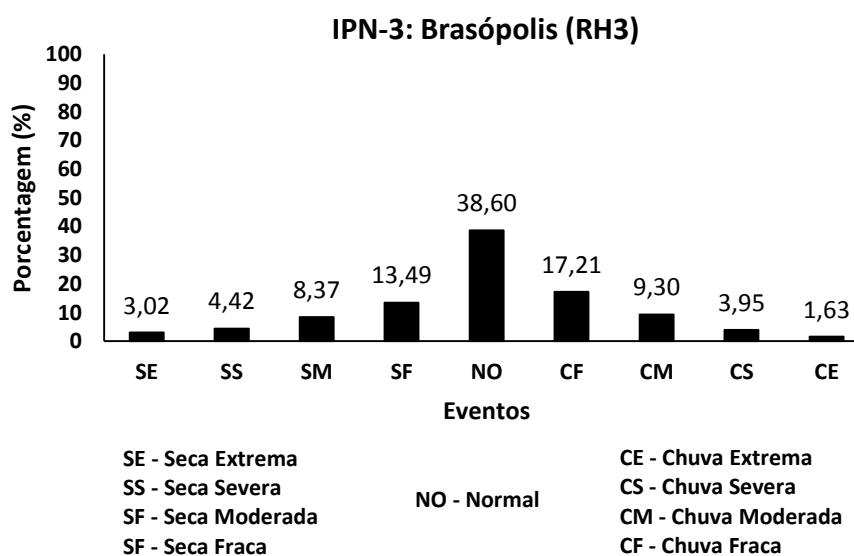


Figura 32. Distribuições de frequência para as nove categorias do IPN-3 em Brasópolis (RH3)

A Figura 33 ilustra a série temporal do IPN-3 para a localidade de Cascalho Rico (RH4). Esta RH é um caso particular do agrupamento, provavelmente como resposta dos aspectos do relevo à precipitação dessa região, conforme já mencionado anteriormente.

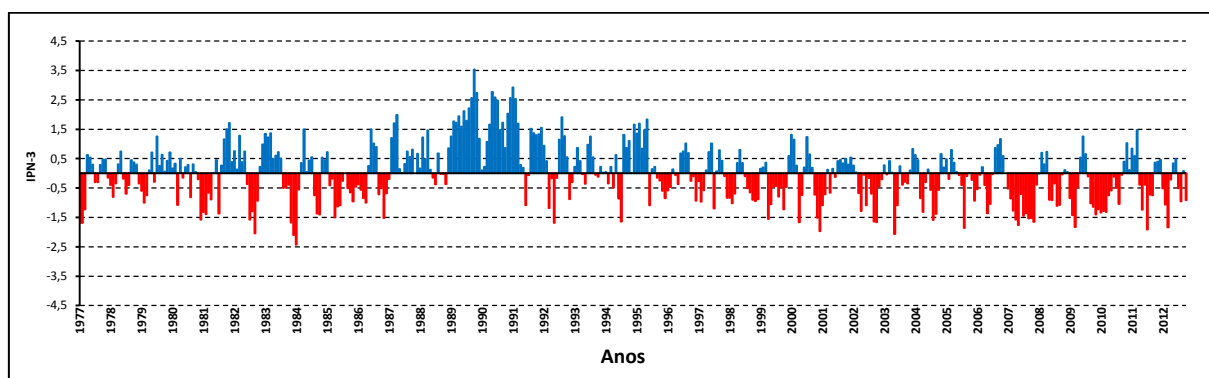


Figura 33. Variabilidade temporal do IPN-3 para o posto pluviométrico de Cascalho Rico (RH4) no período 1977-2012

Em Cascalho Rico, os picos de seca e de chuva são menos acentuados. Apenas dois picos máximos e mínimos de IPN-3 são observados. Geograficamente, a RH4 está localizada na região da Serra da Barça, a 810 m de altitude, fator esse que não pode ser descartado, com início e duração das chuvas fortemente influenciadas pelo ENOS (MINUZZI et al., 2005).

Na Tabela 11, estão descritos eventos de seca e de chuva do IPN-3. No período em estudo, foram encontrados 25 eventos de seca e 19 de chuva. A maioria das sequências secas foi classificada como fraca, mas também há secas do tipo moderada e severa, cujos valores médios estão entre -0,52 e -1,54. Uma seca (severa) de três meses foi obtida pelo IPN-3, entre março e maio de 1977. Os dois maiores casos de secas moderadas são vistos entre agosto e dezembro de 1982 e de outubro a dezembro de 1984. A sequência de seca mais extensa foi de abril de 1985 a junho de 1986, com seca fraca média de -0,66.

Os eventos chuvosos oscilaram entre valores médios de 0,57 e 1,75. A maior sequência de chuvas foi também a mais intensa, com duração de trinta meses, desde fevereiro de 1989 até julho de 1991, cuja intensidade média atingiu 1,75, ou seja, um evento de chuva severa. Nesse período, o pico de chuva chegou a 3,53. Os demais eventos chuvosos foram fracos e moderados. Pela particularidade da RH4, constituída apenas por um único posto pluviométrico, uma possível explicação da sequência chuvosa 1989/1991 pode ser a influência do forte La Niña no final da década de 1980.

Tabela 11. Caracterização dos principais eventos secos e chuvosos do IPN-3 para Cascalho Rico/MG no período 1977-2012

Eventos de seca IPN-3					Eventos de chuva IPN-3				
Início	Fim	Duração (meses)	Pico	Média	Início	Fim	Duração (meses)	Pico	Média
Mar/77	Mai/77	3	-1,70	-1,54	Out/81	Jul/82	10	1,72	0,84
Fev/79	Mai/79	4	-1,00	-0,67	Jan/83	Set/83	9	1,37	0,83
Jan/81	Jun/81	6	-1,58	-1,00	Mai/84	Set/84	5	1,50	0,58
Ago/82	Dez/82	5	-2,05	-1,24	Jan/85	Mar/85	3	0,72	0,57
Out/83	Abr/84	7	-2,43	-1,16	Jul/86	Out/86	4	1,50	0,92
Out/84	Dez/84	3	-1,40	-1,17	Abr/87	Jul/88	16	1,99	0,73
Abr/85	Jun/86	15	-1,50	-0,66	Fev/89	Jul/91	30	3,53	1,75
Nov/86	Mar/87	5	-1,52	-0,72	Out/91	Abr/92	7	1,55	1,20
Mai/92	Ago/92	4	-1,68	-0,80	Set/92	Dez/92	4	1,91	1,22
Dez/96	Mai/97	6	-0,97	-0,52	Ago/93	Out/93	3	1,26	0,93
Jan/98	Mai/98	5	-1,02	-0,69	Out/94	Jul/95	10	1,84	1,22
Set/98	Fev/99	6	-0,94	-0,66	Ago/96	Nov/96	4	1,02	0,79
Jun/99	Jan/00	8	-1,55	-0,81	Jun/97	Ago/97	3	1,02	0,61
Dez/00	Ago/01	9	-1,97	-0,73	Fev/00	Mai/00	4	1,31	0,83
Mai/02	Fev/03	10	-1,66	-0,79	Ago/00	Nov/00	4	1,24	0,57
Mai/04	Jul/04	3	-1,32	-0,82	Out/06	Fev/07	5	1,17	0,72
Set/04	Dez/04	4	-1,59	-1,02	Abr/08	Jun/08	3	0,73	0,58
Ago/05	Nov/05	4	-1,86	-0,60	Jul/09	Set/09	3	1,26	0,82
Jun/06	Ago/06	3	-1,36	-0,93	Dez/10	Mai/11	6	1,48	0,74
Mar/07	Mar/08	13	-1,76	-1,12					
Jul/08	Dez/08	6	-1,11	-0,73					
Mar/09	Jun/09	4	-1,83	-1,14					
Out/09	Nov/10	14	-1,40	-0,85					
Jun/11	Nov/11	6	-1,91	-0,90					
Mar/12	Jun/12	4	-1,84	-0,91					

A frequência dos eventos de seca e de chuva do IPN-3 de Cascalho Rico (RH4) está ilustrada na Figura 34. Nessa RH, a maioria dos eventos foi classificada como normal (42,09%), ou seja, dentro da média de chuva esperada. Secas fracas e moderadas foram mais presentes que os eventos de chuva fraca e moderada. No entanto, observa-se que 30,7% dos eventos foram secos, em contraste com 27,21% dos eventos de chuva acima da média, assemelhando-se ao que foi visto na RH2.

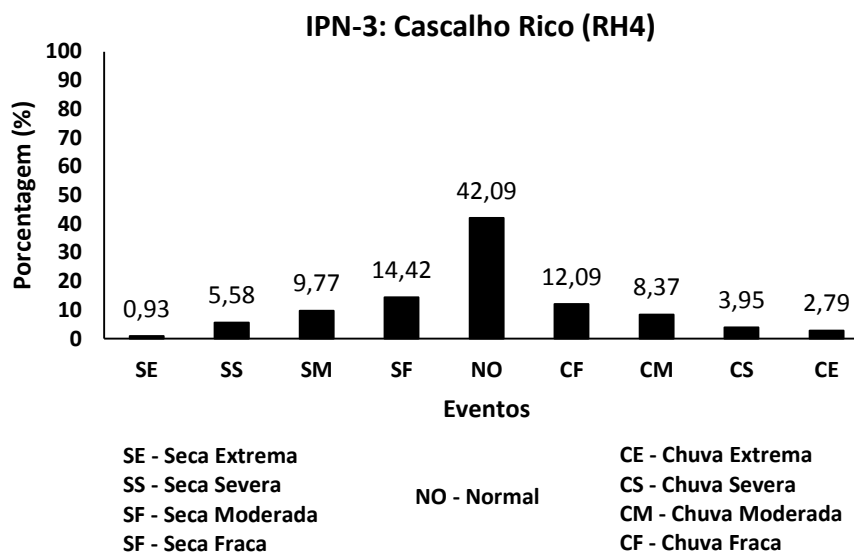


Figura 34. Distribuições de frequência para as nove categorias do IPN-3 em Cascalho Rico (RH4)

6.8 Análise de Ondeletas para dados mensais de precipitação

Com base na regionalização obtida para o IPN mensal e sazonal, aplicou-se a TO a séries de precipitação mensal de postos pluviométricos representativos de cada uma das RH no estado de Minas Gerais. A análise de multiescala visa detectar as oscilações atmosféricas responsáveis pelo regime de chuva em cada área homogênea, assim como investigar a atuação dos principais sistemas atmosféricos na região estudada. A Figura 35 (A) ilustra a variabilidade temporal da precipitação mensal para São Romão, onde se observa um máximo de 520 mm no final da década de 1980. Nos demais meses, as alturas pluviométricas são inferiores a 500 mm.

A localização de São Romão é mostrada na Figura 35 (B) e o escalograma de fase da ondeleta da precipitação mensal é exibido na Figura 35 (C). Nesta última figura, observa-se a predominância do ciclo anual interagindo com escalas menores (semianuais), principalmente na primeira metade das décadas de 1980, 1990 e 2000. Oscilações sazonais são persistentes em toda a série. Tais informações podem ser confirmadas no escalograma de ondeleta global da Figura 35 (D), cujos picos máximos situam-se na escala anual e em escalas inferiores a seis meses. É possível ainda notificar a presença de contribuições na escala bianual entre os anos 2005 e 2010. A escala anual e de dois anos, no norte de Minas Gerais, também foi mostrada por Santos (2011) quando aplicou a TO no índice de precipitação normalizada na região do rio São Francisco. Portanto, a aplicação da TO a dados mensais de precipitação ressaltou a importância da sazonalidade e do regime anual de chuvas no setor norte de Minas Gerais.

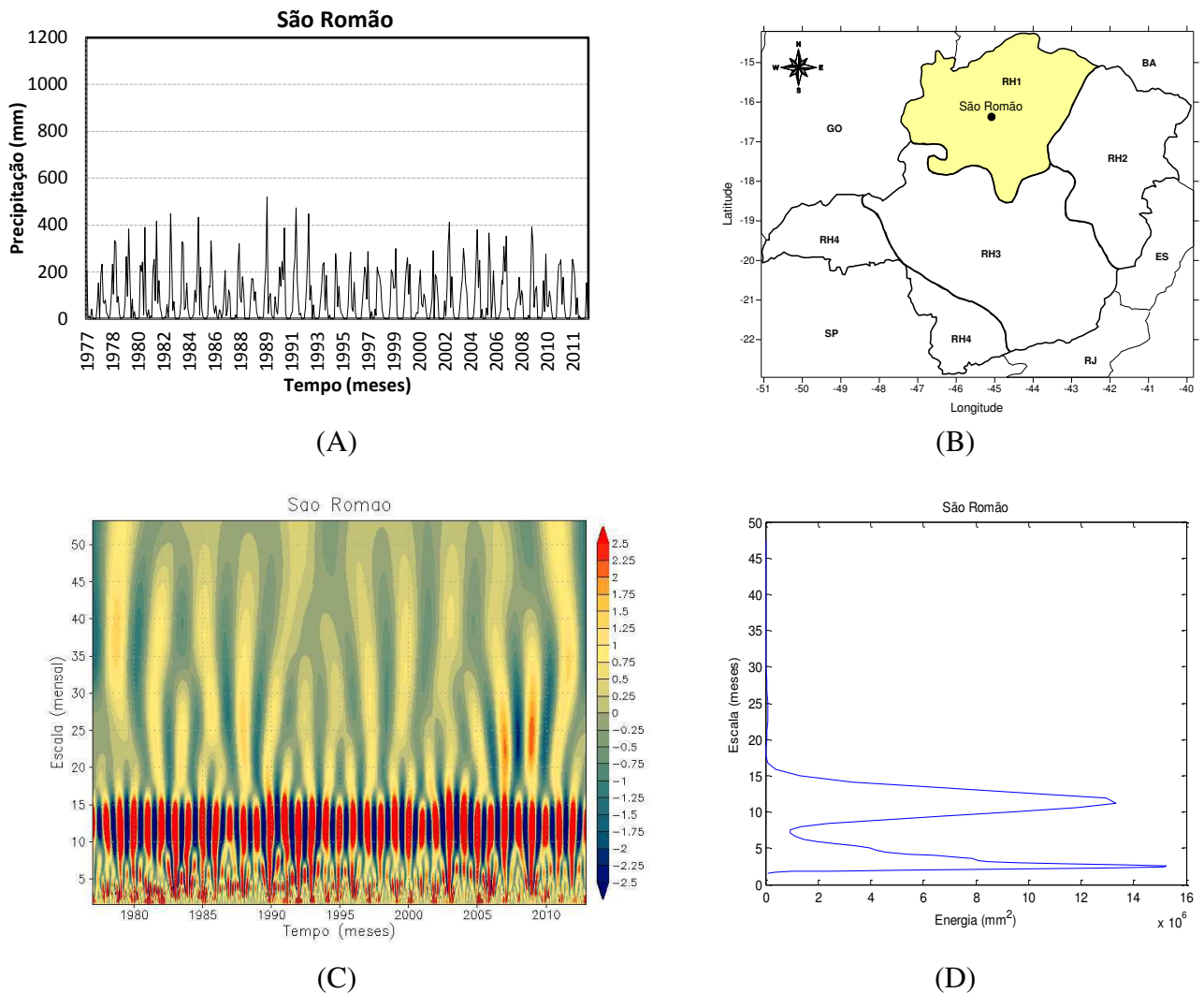


Figura 35. Série temporal da precipitação mensal no período 1977-2012 (A), localização do município de São Romão na RH1 (B), escalograma de fase da TO (C) e espectro global de ondeleta (D)

Na RH2, situada a nordeste de Minas Gerais, analisou-se a localidade de Pedro Versiani, pertencente a Teófilo Otoni. Na Figura 36, estão mostrados os resultados da aplicação da TO para o período estudado. Observa-se na série temporal, Figura 36 (A), um pico superior a 1000 mm no mês de dezembro de 1987. Analisando o espectro de fase da ondeleta da precipitação, constata-se que existe interação entre diferentes escalas de tempo no regime de chuva na região. Além do ciclo anual, cuja onda se propaga por toda a série temporal, observam-se ainda oscilações semianuais e entre 2-4 meses, principalmente na segunda década de 1980 e nas décadas de 1990 e 2000, concordando com os picos de variância observada na Figura 36 (D). O espectro de fase da ondeleta mostrou que, em 1987, contribuições positivas relacionadas à chuva prolongaram-se desde escalas sazonais até próximo dos cinquenta meses. Entre 1995 e 2000, a TO da chuva mostrou que escalas anuais,

de vinte meses e de trinta meses interagiam naquela região. Portanto, entre 1986-1987 e em 1998, períodos considerados por Gerólamo e Kayano (2010) como de atuação do El Niño, a TO da chuva mensal de Pedro Versiani identificou contribuições positivas em diferentes escalas. Nesse sentido, os resultados aqui apresentados concordam, em parte, com Kayano e Blain (2007) os quais mostraram que, em algumas localidades do Sudeste brasileiro, o sinal do ENOS na precipitação mensal mostra-se atuante, porém nem sempre conclusivo.

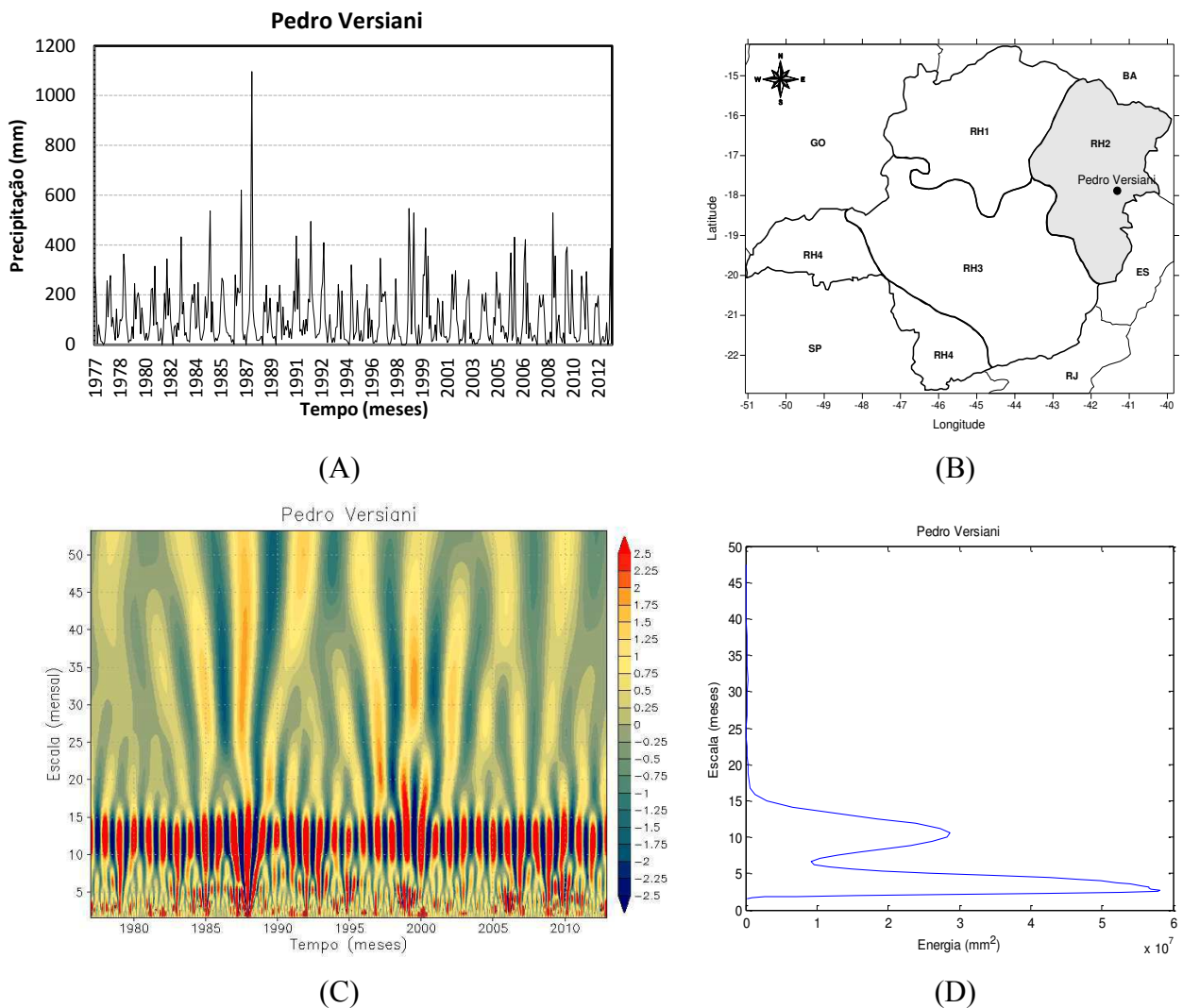


Figura 36. Série temporal da precipitação mensal no período 1977-2012 (A), localização do distrito Pedro Versiani na RH2 (B), escalograma de fase da TO (C) e espectro global de ondeleta (D)

A análise da TO para o município de Piranga, situado na zona da mata mineira, é ilustrada na Figura 37. Na série temporal, no mês de janeiro de 1991, visualiza-se um máximo de precipitação mensal próximo de 800 mm. A Figura 37 (C) corresponde ao escalograma de fase da ondeleta da precipitação mensal, onde mostra que a escala dominante é a escala anual,

com uma onda se propaga ao longo do tempo. Picos de variância são mostrados na Figura 37 (D), em escalas sazonais, semestrais e anuais nos períodos 1978-1981, 1985, 1986-1987, 1990-1992, 2003-2005 e de 2010 a 2012.

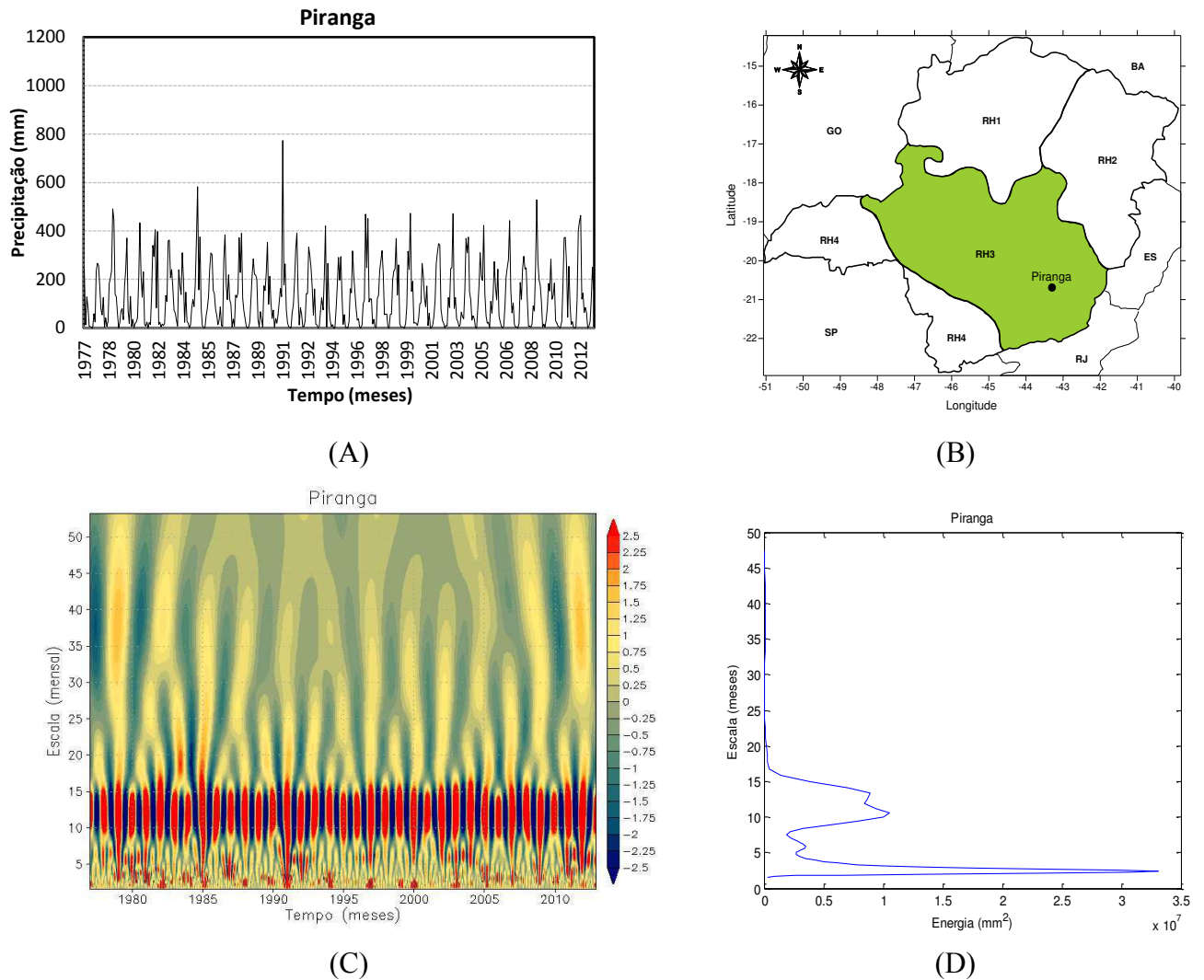
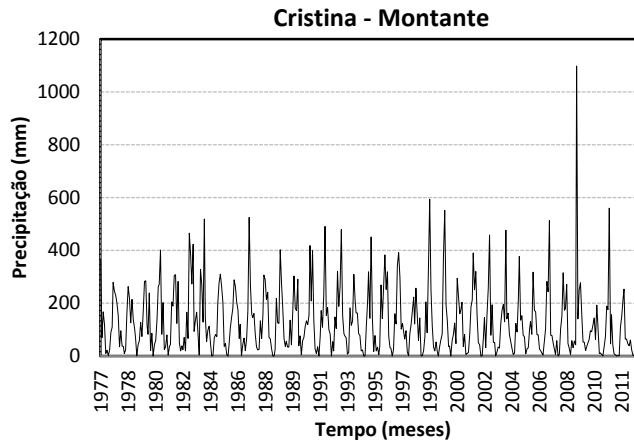


Figura 37. Série temporal da precipitação mensal no período 1977-2012 (A), localização do município de Piranga na RH3 (B), escalograma de fase da TO (C) e espectro global de ondeleta (D)

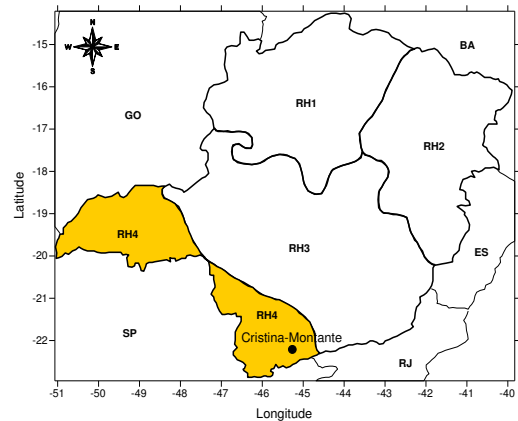
De modo não periódico, observam-se oscilações de alta frequência em diferentes intervalos da série. Além disso, quando comparado aos escalogramas de fase da ondeleta da precipitação mensal das áreas RH1 e RH2, Piranga mostra, entre 1978-1979, uma maior contribuição dos coeficientes reais da ondeleta que começa na escala sazonal e se prolonga até próximo da escala de quarenta meses. Contribuições entre quinze e vinte meses podem ser vistas em diversos períodos, a exemplo da primeira metade da década de 1980, início dos anos 1990 e ao longo da década de 2000. Na Figura 37 (A), em janeiro de 1985, a precipitação

esteve próximo dos 600 mm. Interações entre as escalas sazonais, semianuais, anuais e de 30 meses são vistas na Figura 37 (C).

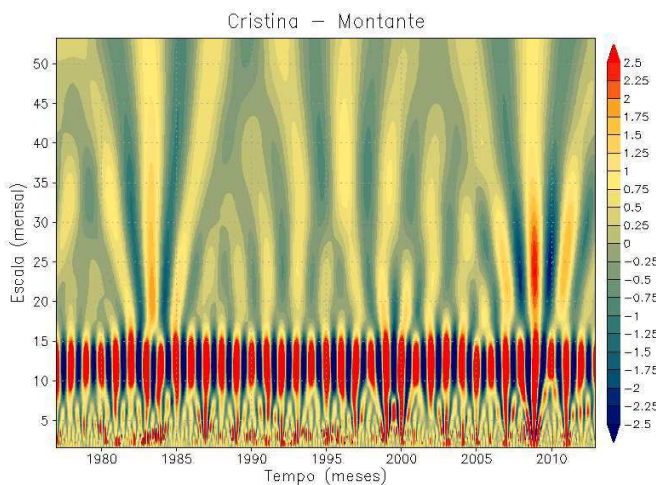
A RH4 é representada por Cristina-Montante e está situada na região sul e oeste de Minas Gerais. A série temporal desta localidade, na Figura 38 (A), apresenta precipitação superior a 400 mm em vários meses e um pico acima de 1000 mm no final de 2008.



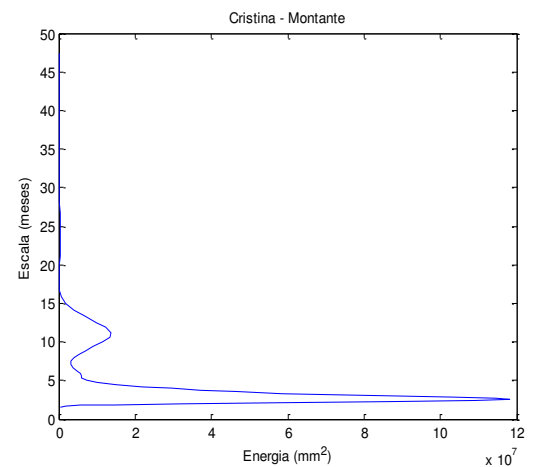
(A)



(B)



(C)



(D)

Figura 38. Série temporal da precipitação mensal no período 1977-2012 (A), localização do posto pluviométrico de Cristina-Montante na RH4 (B), escalograma de fase da TO (C) e espectro global de ondeleta (D)

O escalograma de fase da precipitação mensal identifica oscilações nas escalas sazonal, semestral, anual e bianual, conforme mostra a Figura 38 (C). Os picos de variância dominantes, Figura 38 (D), estão nas escalas 2-4 meses e na escala anual. Apesar dos dados usados na identificação das oscilações serem de ordem mensal, não permitindo a TO identificar sistemas de curto prazo que possam ter atuado naquela região, os resultados aqui

obtidos, descritos nas Figuras 38 (A) e 38 (C), estão de acordo com o CPTEC/INPE (2009) ao afirmar que três episódios de chuvas intensas ocorreram em dezembro de 2008, principalmente na região Sudeste do Brasil, sendo a Zona de Convergência do Atlântico Sul o principal sistema meteorológico responsável pela incidência dos totais pluviométricos acima da média histórica em grande parte da região. Segundo aquele órgão, no caso de algumas cidades mineiras como Bambuí e Paracatu, a atuação do último episódio de ZCAS, nos últimos dias de 2008, causou inúmeros transtornos à população.

Na fase da ondeleta, uma oscilação próxima da escala de dois anos aparece sutilmente em 1982/1983, e isso indica que a transformada de ondeleta foi capaz de detectar o início da escala de influência do ENOS, mostrando contribuições positivas à chuva em resposta ao forte El Niño 1982/1983. Nesse sentido, Silva (2006) descreve que as regiões do vale do São Francisco, Jequitinhonha e centro-norte de Minas Gerais, apresentam uma tendência a anomalias negativas de precipitação em anos de El Niño. Porém, nas demais áreas, segundo o autor, há uma tendência de anomalias positivas de precipitação entre 20% e 30%.

Identificado como uma particularidade no agrupamento do IPN-3, o município de Cascalho Rico constituiu-se numa RH. Então, aplicou-se a TO da precipitação mensal para tentar extrair possíveis oscilações da chuva nessa localidade (Figura 39). Na Figura 39 (A), encontra-se a série temporal da precipitação que destacou três anos com chuva mensal acima de 600 mm (1989, 1991 e 1995). Localizado na região do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, Figura 39 (B), é possível observar que a maior escala detectada pela TO da chuva de Cascalho Rico encontra-se em torno de doze meses, isto é, o ciclo anual, mostrado na Figura 39 (D). No entanto, oscilações de escalas subanuais também são destacadas em alguns períodos, como 1977-1985, 1989-1992 e, aleatoriamente, ao longo da década de 2000 (Figura 39-C). De acordo com Silva (2006), na região Sudeste brasileira, a variabilidade sazonal e interanual da precipitação depende de fatores tais como circulação atmosférica (cyclones, anticiclones e frentes frias) e dos fenômenos relacionados à interação da atmosfera com o oceano, a exemplo do El Niño e La Niña.

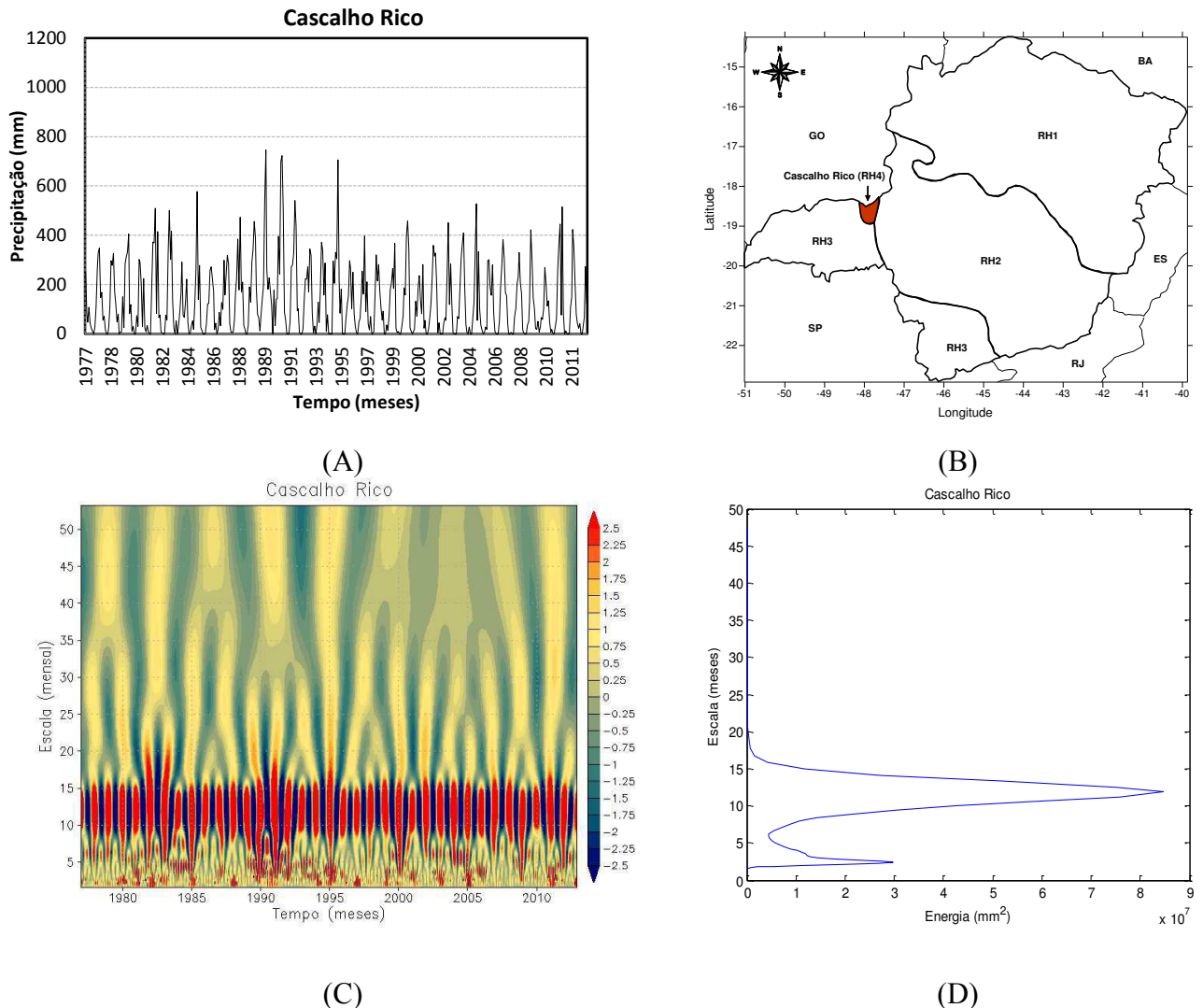


Figura 39. Série temporal da precipitação mensal no período 1977-2012 (A), localização do posto pluviométrico de Cascalho Rico na RH4 (B), escalograma de fase da TO (C) e espectro global de ondeleta (D)

De forma menos intensa, algumas flutuações estendem-se além do ciclo anual e atingem escalas próximas dos vinte meses, como se observa em 1982/1983, 1989/1990, 1995 e em alguns períodos dos anos 2000, 2003 e 2007. Portanto, os padrões de chuva na escala mensal para Cascalho Rico sofrem influências de oscilações atmosféricas de diferentes escalas, principalmente aquelas inferiores a vinte e cinco meses. Diversos autores já apontaram a existência de interações não lineares entre escalas da ordem de vinte e cinco e cinquenta meses e de três a sete anos (LAU e SHEU, 1988; BARNETT, 1991; SÁ et al., 1998). Com o auxílio da TO, Weng e Lau (1994) estenderam esse tipo de análise às variações nas escalas intrassazonais.

Além dos mecanismos dinâmicos, acredita-se que a altitude dessa região do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, onde está o município de Cascalho Rico, também pode

contribuir no comportamento das chuvas, necessitando, portanto, de estudos futuros mais detalhados que visem uma melhor caracterização da influência orográfica.

6.9 Análise de Ondeletas para dados diários de precipitação e de Radiação de Onda Longa (ROL)

A aplicação da TO nos dados de precipitação mensal mostrou persistência do ciclo anual, embora oscilações sazonais também tenham sido vistas em todas as áreas homogêneas. Diante dos resultados obtidos, não foi possível obter oscilações em escalas de curto prazo. Por isso, buscou-se aplicar a TO em dados de precipitação diária e de outra variável meteorológica que tivesse relação com a chuva (ROL). Assim, foi feita a análise de ondeletas para a escala de tempo diária com o intuito de decompor o sinal da precipitação e de ROL e encontrar padrões específicos em escalas menores de variabilidade da chuva mineira. Desta forma, a TO possibilitou identificar flutuações em frequências maiores que aquelas vistas anteriormente (secção 6.8). Uma das vantagens da aplicação da TO nos dados diários de precipitação e de ROL é a possibilidade de investigar a variabilidade subsazonal e associar as escalas presentes com eventos sinóticos ocorridos.

As estações pluviométricas usadas para análise diária de precipitação e ROL são mostradas na Figura 40. As regionalizações do IPN mensal e sazonal foram semelhantes, porém, o índice mensal encontrou algumas particularidades no setor norte-nordeste de Minas, subdividindo-o nas áreas RH1 e RH2. Por isso, aplicou-se a TO nas áreas homogêneas do IPN-1. Diante do exposto, selecionou-se estações pluviométricas que pudessem representar melhor cada RH. Considerando o número de estações pluviométricas e a extensão das regiões RH3 e RH4, fez-se a análise, nestes casos, para duas localidades diferentes, a fim de melhor compreender possíveis variabilidades espaciais dos efeitos locais e dinâmicos da precipitação. A escolha dessas estações é justificada pela ausência de falhas e pela qualidade dos dados de precipitação e de ROL entre 2003-2012.

Os coeficientes reais (expressos em cores) da TO para precipitação diária e ROL estão representados nas Figuras 41 e 42, respectivamente. Os eixos horizontais correspondem ao tempo (dia), entre outubro de 2010 e março de 2012, e os eixos verticais às frequências obtidas do sinal da TO (1 a 90 dias). Numa análise geral, nos escalogramas de precipitação e ROL, observa-se que entre maio e setembro de 2011, em todas as localidades, existe ausência de cores fortes. Isso ocorre provavelmente por se tratar de meses que estão dentro do período seco, ou seja, com pouca ou nenhuma precipitação.

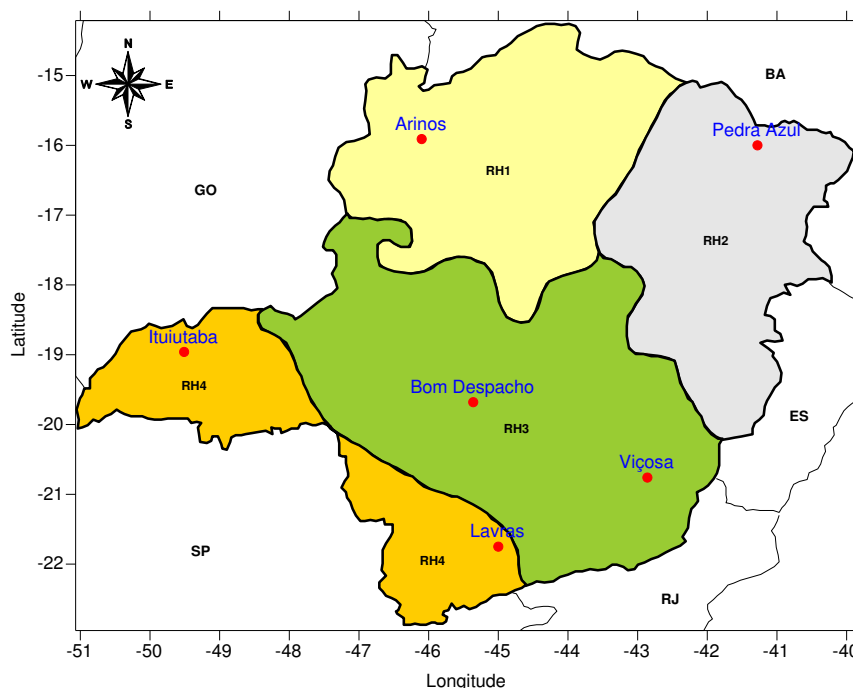


Figura 40. Localização das estações pluviométricas usadas na análise diária da TO para precipitação e ROL no estado de Minas Gerais

A análise dos escalogramas de fase da TO mostrou maior energia da chuva para Viçosa, Bom Despacho, Ituiutaba e Lavras, pertencentes às regiões centro-sul e oeste do estado. Essa característica extraída pela TO confirma os padrões médios de precipitação para o estado mineiro (Figura 7). Em Arinos, Figura 41 (A), há frequências de oscilações em torno de trinta e sessenta dias, entre novembro de 2010 e março de 2011. Além disso, escalas inferiores à mensal (10-20 dias) estão presentes no final de 2010 e início de 2011 e de novembro de 2011 a fevereiro de 2012. Somam-se a essas, frequências de oscilações inferiores a dez dias, em períodos intermitentes dos meses de novembro e dezembro de 2010, voltando a se repetir em janeiro, março e dezembro de 2011. No escalograma de ROL, Figura 42 (A), os padrões concordam com a precipitação, destacando-se maiores intensidades dos coeficientes nas escalas de 50-90 dias no início de 2011 e de 20-40 dias no primeiro trimestre de 2012.

No município de Pedra Azul, Figura 41 (B), nordeste de Minas, a variabilidade da chuva foi detectada pela TO em escalas submensais (abaixo de dez dias e entre 10-20 dias), nos meses de novembro e dezembro de 2010 e, com menor energia, no início e fim de 2011 e começo de 2012. O mês de janeiro de 2012 evidencia uma forte oscilação em torno de trinta dias. Características similares foram verificadas na análise do ROL da Figura 42 (B).

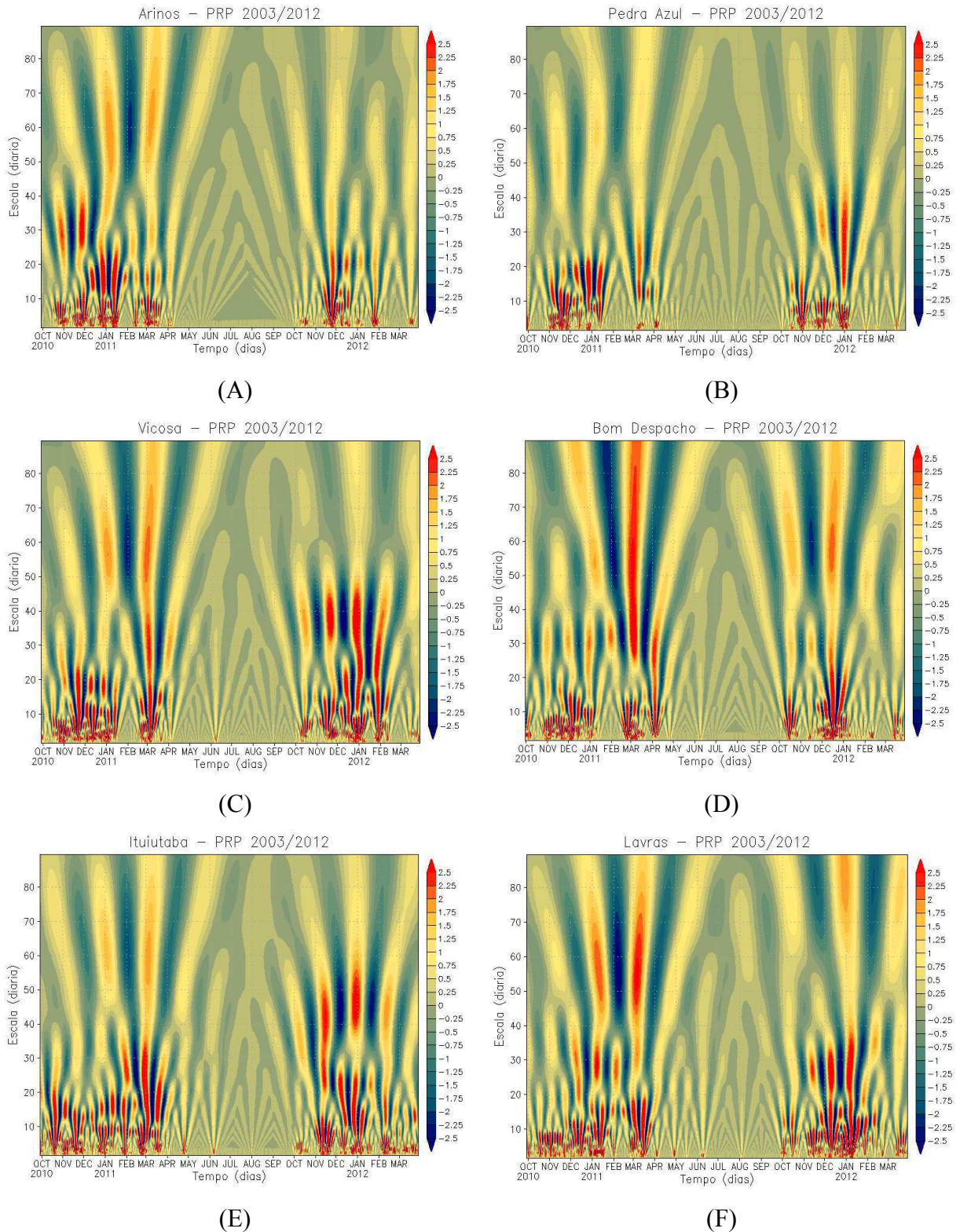


Figura 41. Análise de ondeleta da precipitação diária de: (A) – Arinos, (B) – Pedra Azul, (C) – Viçosa, (D) – Bom Despacho, (E) – Ituiutaba, (F) – Lavras. O período em destaque foi de outubro de 2010 a março de 2012

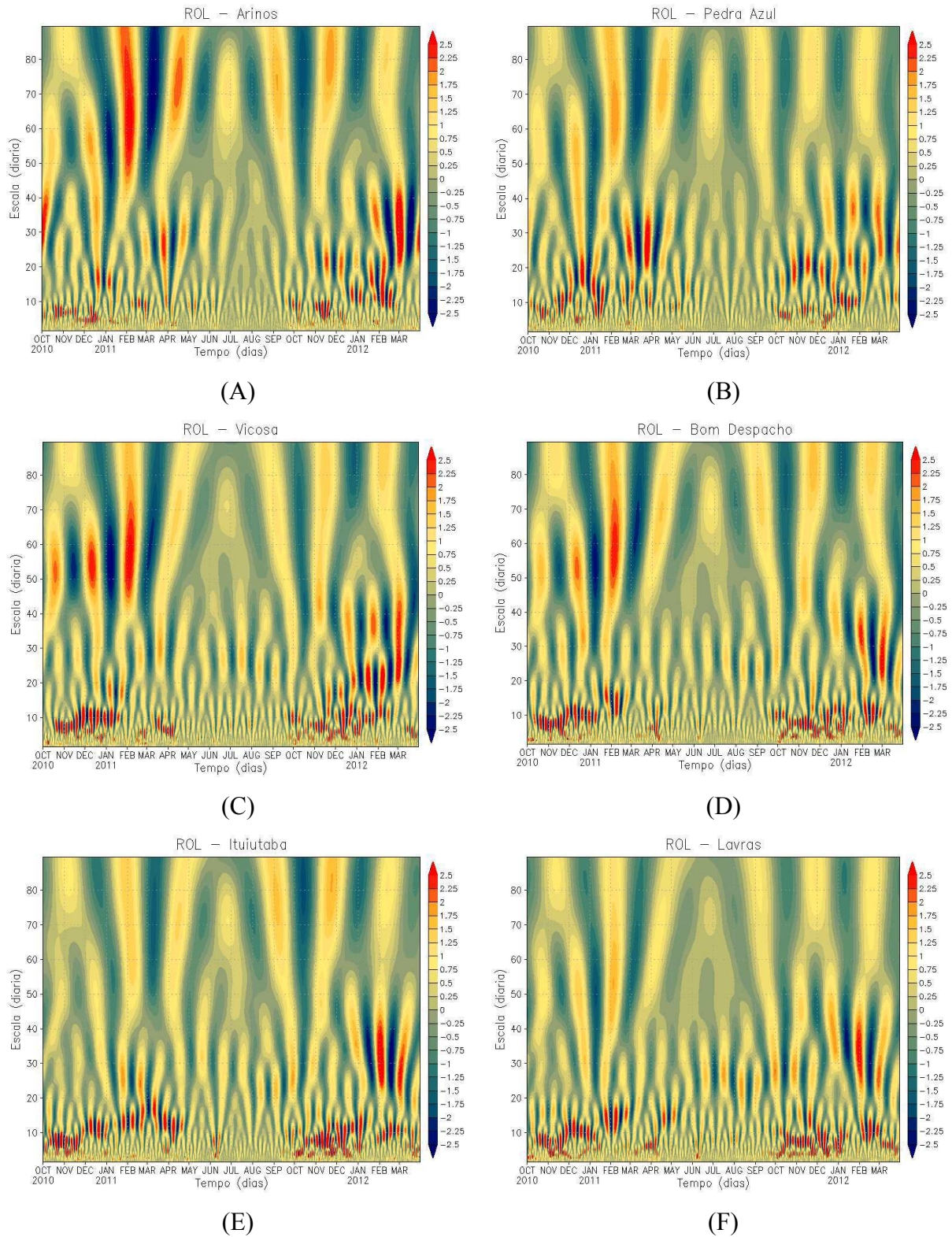


Figura 42. Análise de ondeleta de ROL diário de: (A) – Arinos, (B) – Pedra Azul, (C) – Viçosa, (D) – Bom Despacho, (E) – Ituiutaba, (F) – Lavras. O período em destaque foi de outubro de 2010 a março de 2012

Na porção central do estado (RH3), Viçosa e Bom Despacho apresentam padrões de chuva muito parecidos. Observa-se, no final de 2010, uma flutuação com escalas mais energéticas de até vinte dias, conforme mostram as Figuras 41 (C) e 41 (D), respectivamente. Nos meses seguintes, ou seja, no primeiro trimestre de 2011, a onda vai perdendo energia e diminuindo a frequência de oscilação, interagindo com escalas maiores em torno de trinta dias e persistindo até acima de oitenta dias. No final de 2011 e início de 2012, o sinal apresenta uma escala de 30-40 dias bem marcante, principalmente em Viçosa, e de sessenta dias em Bom Despacho. A TO aplicada nos dados de ROL segue o mesmo comportamento da chuva, como pode ser visto nas Figuras 42 (C) e 42 (D).

Nos escalogramas de fase da precipitação em Ituiutaba e Lavras, Figuras 41 (E) e 41 (F), respectivamente, ficam evidentes as escalas dominantes no final de 2010, isto é, abaixo de vinte dias. Porém, em ambos os municípios, as flutuações reduzem as frequências, aumentando para escalas de até trinta dias, conforme se vê em dezembro de 2010 em Lavras e de janeiro a março de 2012 em ambos os escalogramas. Observa-se ainda, de novembro de 2011 a fevereiro de 2012, que escalas abaixo de dez dias estavam interagindo com outras escalas maiores de até cinquenta dias, visto principalmente em Ituiutaba. De certo modo, nas Figuras 42 (E) e 42 (F), os escalogramas de ROL concordam com aqueles obtidos para a chuva, diferenciando-se somente na intensidade das contribuições, ou seja, a energia do ROL foi menor que a da chuva nesses municípios.

A série temporal diária do ROL (Figura 43) mostra que, entre maio e setembro de 2011, predominaram valores mais elevados de radiação (próximos de 300w/m^2), sugerindo pouca atividade convectiva nesse período. No início de março de 2011, o ROL oscila em torno dos 140W/m^2 , caracterizando intensa atividade convectiva nas porções norte, nordeste, extremos oeste e sul mineiro, de acordo com as Figuras 43 (A), (B), (E), (F), respectivamente. Analisando as Figuras 41 e 42, observam-se, nesse mesmo mês, interações entre diferentes escalas na TO da chuva e de ROL.

Os escalogramas de precipitação e ROL (Figuras 41 e 42, respectivamente) evidenciaram que, no início de 2011, as maiores contribuições estão nas escalas sinóticas e intrassazonais, principalmente nos escalogramas da precipitação de Viçosa, Bom Despacho, Ituiutaba e Lavras. Oscilações nas escalas de trinta dias e de sessenta dias são notadamente vistas em Bom Despacho e Lavras, entre janeiro e março. Esses padrões estão de acordo com a dinâmica da Oscilação de Madden-Julian (MADDEN-JULIAN, 1971; OLIVEIRA, 2012; OLIVEIRA et al., 2015), sugerindo que essa oscilação intensifica a atuação de sistemas moduladores do regime climático da região pesquisada. Em janeiro de 2011, a série temporal

da amplitude do índice de Madden-Julian (Figura 44) mostra que a OMJ está em uma fase ativa.

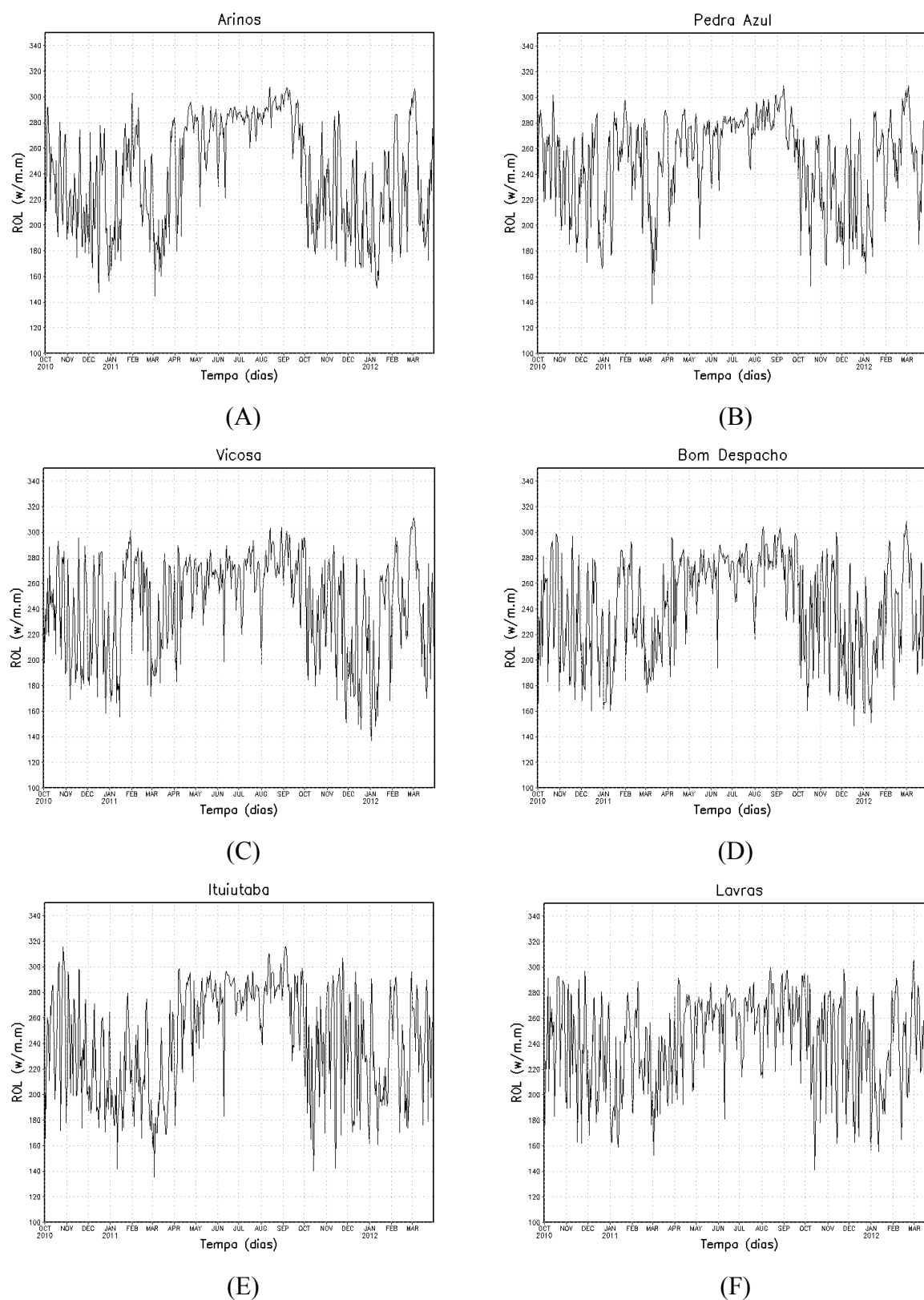


Figura 43. Série temporal diária de ROL entre 01 outubro de 2010 e 31 de março de 2012, em Arinos (A), Pedra Azul (B), Viçosa (C), Bom Despacho (D), Ituiutaba (E) e Lavras (F)

Como já discutido, o ROL (Figura 43) indicou forte atividade convectiva durante o mês de março de 2011. Nesse mesmo período, os escalogramas de precipitação mostraram flutuações inferiores a dez dias, intensificando para as escalas de 30-60 dias, conforme ilustram as Figuras 41 (D), (E), (F). Esses padrões de chuva estão coerentes, pois de acordo com o Melo e Coelho (2011), o aumento da precipitação na região Sudeste do Brasil esteve associado à formação de episódios da Zona de Convergência do Atlântico Sul e à forte modulação da Oscilação Madden-Julian, cujo sinal foi favorável às chuvas principalmente durante a primeira quinzena de março daquele ano.

O índice da OMJ mostra que essa oscilação também esteve ativa no último trimestre de 2011 e nos quatro primeiros meses de 2012 (Figura 44). Neste último período, a atuação da OMJ foi detectada pela TO nos escalogramas de fase da ondefeta de precipitação e ROL (Figuras 41 e 42, respectivamente). Para a chuva, frequências marcantes de trinta e oitenta dias são vistas em Lavras, de quarenta dias em Viçosa, de cinquenta dias em Ituiutaba e de sessenta dias em Bom Despacho. Segundo Oliveira (2012), constantes perturbações da OMJ ocorrem ao longo de seu deslocamento desde a Indonésia. Por isso, a frequência observada nas oscilações da chuva de Minas pode ser pouco diferente daquela originalmente detectada pelos precursores da OMJ.

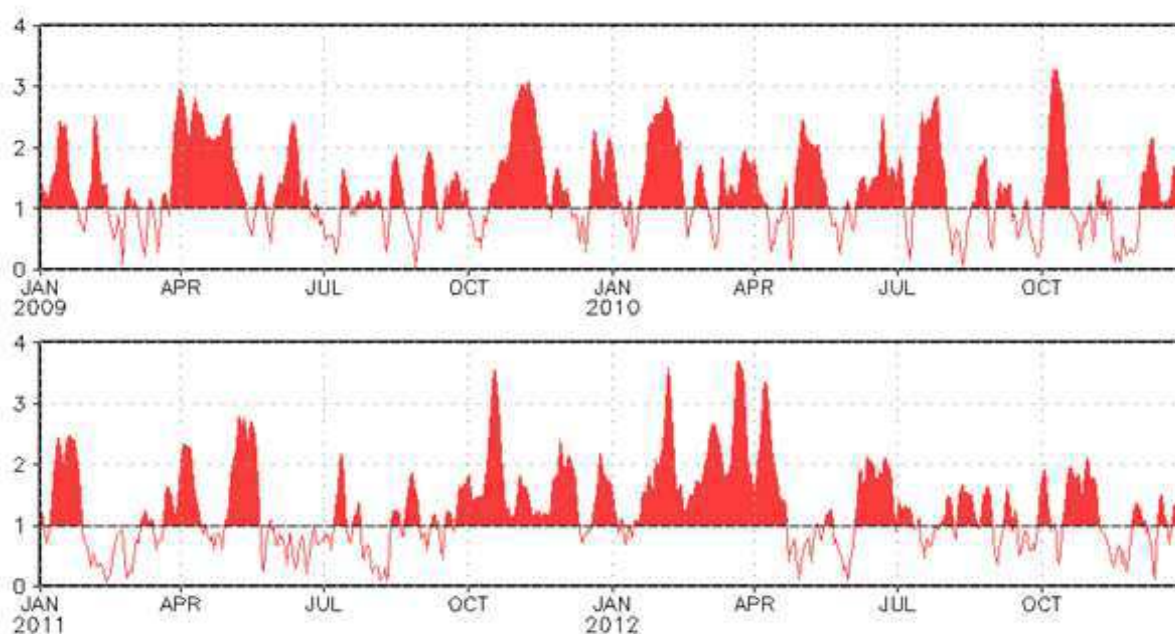
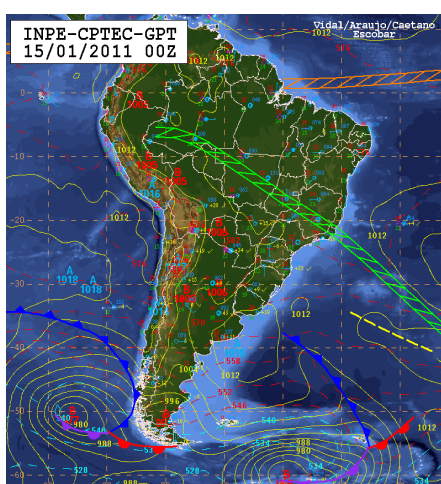


Figura 44. Série temporal diária da amplitude do índice de Madden-Julian entre janeiro de 2009 e dezembro de 2013. Fonte: (CPC/NCEP/NOAA, 2016)

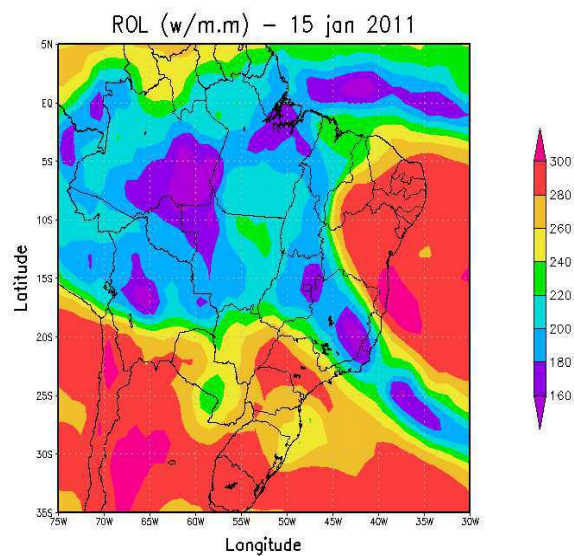
A intensidade das oscilações em escalas menores que dez dias foi vista, por exemplo, em meados de janeiro de 2011 e início de janeiro de 2012 (Figura 41) e isso sugere que sistemas de curto prazo atuaram na determinação da chuva mineira. Além disso, nessa época, é comum a presença da ZCAS que, segundo Pallota e Gan (2011), tem como um dos principais atributos a persistência de precipitação por no mínimo quatro dias, podendo prolongar-se, no entanto, por dez dias ou mais. Em 2011, de acordo com Melo e Coelho (2011), os eventos extremos que se observaram em meados de janeiro foram modulados pelo sinal da OMJ. Esses resultados corroboram com a amplitude do índice da Figura 44.

As Figuras 45 (A, B, C e D) reforçam a atuação de episódios de ZCAS sobre Minas Gerais que foram sugeridos pelas escalas de alta frequência da Figura 41. Vale ressaltar que, além das oscilações inferiores a dez dias, outras escalas de flutuações interagiram nos escalogramas de fase da TO da chuva e, por isso, também estavam presentes em períodos de atuação da ZCAS. Nessa perspectiva, Gregório (2015), também estudou a influência da OMJ sobre a ZCAS e apresentou um modo chamado de “gangorra” de convecção. Para o autor, tal modo ocorre entre a Indonésia e a porção tropical da América do Sul e ocorre pela associação entre o deslocamento de leste do sinal da OMJ e a convecção sobre as partes tropicais do Brasil. Além disso, os autores dividiram as ZCAS em três partes e comprovaram que a ocorrência de convecção da ZCAS também é influenciada pelo modo tropical da OMJ.

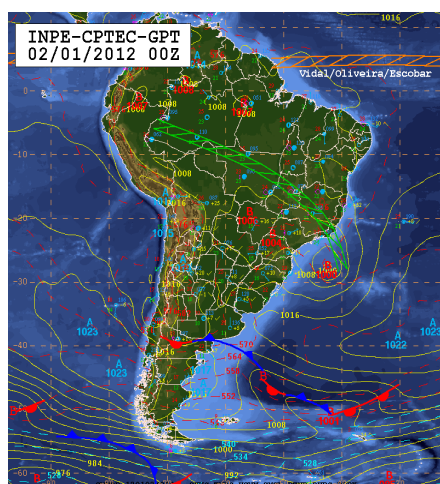
No início de 2012, os valores de ROL sobre boa parte de Minas situaram-se em torno dos 140W/m^2 (Figura 45-D), concordando com a dinâmica da ZCAS que atuava sobre a região. Analisando os escalogramas da precipitação (Figura 41), observa-se que escalas abaixo de dez dias concentraram relativa energia nesse período. Viçosa, Bom Despacho, Ituiutaba e Lavras destacaram-se na intensidade das contribuições. Essas escalas foram detectadas como resposta da TO aos episódios de ZCAS que ocorreram naquele começo de ano. Nesse contexto, o INMET (2012) divulgou que o número de dias com chuva na região Sudeste variou entre três e vinte e três dias e que dois episódios de ZCAS foram os principais responsáveis pelas chuvas na região Sudeste em janeiro de 2012. De acordo com o órgão, o primeiro episódio ocorreu no primeiro decêndio do mês, trazendo altos acumulados de chuva na região, com alagamentos, deslizamentos de terra e vários municípios em situação de emergência. Os maiores acumulados diários de precipitação em Minas Gerais foram observados, no dia 02, em Muriaé (157,6 mm) e, no dia 09, em Lavras (156,0 mm) e Divinópolis (154,0 mm).



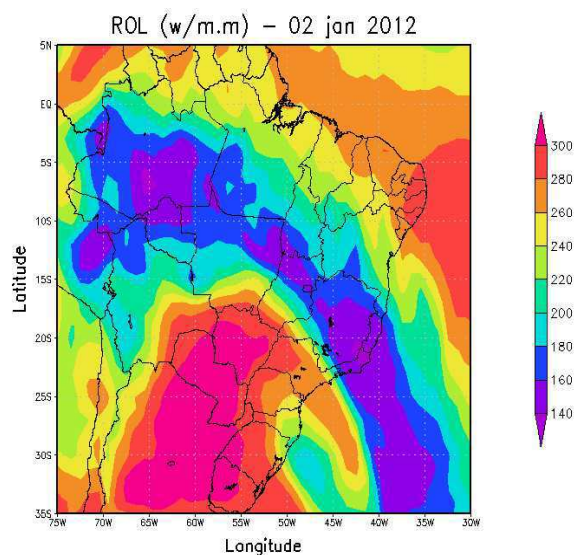
(A)



(B)



(C)



(D)

Figura 45. Carta sinótica de 15 de janeiro de 2011, às 00Z (A), ROL em 15 de janeiro de 2011 (B), Carta sinótica de 02 de janeiro de 2012, às 00Z (C), ROL em 02 de janeiro de 2012 (D), mostrando a atuação da ZCAS

7 CONCLUSÕES

A aplicação das técnicas estatísticas de análise multivariada das séries temporais do IPN e a utilização da técnica matemática da transformada de ondeletas nas séries de precipitação e ROL permitiram extrair as seguintes conclusões:

A Análise de Componentes Principais aplicada aos dados do IPN-1 resultou em treze fatores comuns e explicou, aproximadamente, 72% da variância total da chuva. Para o IPN-3, a ACP reteve dezoito fatores comuns que explicaram mais de 75% da variabilidade da precipitação. As correlações espaciais e os escores temporais do primeiro fator do IPN-1 mostraram um padrão bem definido nas porções centro-norte do estado. O segundo fator do IPN-1 identificou um padrão de dipolo com contribuições superiores a 2,0 nos anos 1982/1983, 1998, durante períodos de El Niño forte.

O primeiro fator do IPN-3 evidenciou contraste importante entre o centro-norte e as regiões sul e oeste do estado Minas, reafirmando o que foi visto no primeiro fator do IPN-1, ou seja, mostrando as regiões mais propensas à falta de chuva em curto e médio prazo. O padrão do segundo fator do IPN-3 apresentou correlações mais elevadas no oeste, sul e sudoeste e negativas no norte e nordeste do estado. No segundo fator do IPN-1 e IPN-3, observa-se uma clara separação na diagonal noroeste/sudeste entre valores positivos (sul/sudoeste) e negativos (norte/nordeste). A série temporal associada a este fator mostrou ainda as contribuições positivas da chuva em períodos como de El Niño (1982/1983) na porção centro-sul de Minas.

A Análise de Agrupamentos do IPN-1 e do IPN-3 encontrou quatro regiões homogêneas de precipitação. A porção menos chuvosa IPN-3 (RH1) foi subdividida no agrupamento do IPN-1 formando a RH1 e RH2, sugerindo, portanto, que na escala mensal é possível encontrar padrões diferentes da escala trimestral. Na porção intermediária e nos extremos sul e oeste do estado, o agrupamento definiu padrões homogêneos semelhantes tanto na escala mensal quanto trimestral. Portanto, a regionalização do IPN-1 mostrou-se mais coerente com a variabilidade das chuvas mineiras.

Na Análise de Ondeletas da precipitação mensal, para as regiões homogêneas do IPN-1, predominou o ciclo anual. Oscilações inferiores a doze meses também foram observadas, possivelmente decorrentes da sazonalidade da precipitação. A TO da precipitação e ROL diários possibilitou identificar flutuações com frequências maiores que aquelas vistas mensalmente. A TO mostrou maior energia relacionada à chuva nas localidades de Viçosa, Bom Despacho, Ituiutaba e Lavras, pertencentes às regiões centro-sul e oeste mineiro. Essa

característica extraída pela análise de ondeleta corrobora com os padrões do regime pluviométrico do estado.

Os escalogramas diários de precipitação e ROL indicaram, no início da série, maior energia nas escalas sinóticas e intrassazonais, principalmente em Viçosa, Bom Despacho, Ituiutaba e Lavras. Esses padrões refletem possíveis associações da chuva com a Oscilação de Madden-Julian, sugerindo que essa oscilação intensifica a atuação de sistemas moduladores do regime climático de Minas Gerais.

Oscilações em escalas menores que dez dias foram detectadas nos anos 2011 e 2012, sugerindo que sistemas de curto prazo atuaram na determinação da chuva mineira. Nesses anos, os eventos extremos que se observaram em meados de janeiro foram modulados pelo sinal da OMJ, corroborando com a amplitude do índice e a atuação de episódios de ZCAS sobre o estado.

Sugere-se, para trabalhos futuros, a aplicação do IPN-6 e IPN-12 afim de verificar a variabilidade da precipitação em escalas maiores, assim como propõe-se que a TO de dados diários e mensais sejam aplicados a partir de séries temporais mais longas e em diferentes locais da área pesquisada. Nessa perspectiva, acredita-se que outros estudos poderão colaborar com mais discussões acerca do comportamento da precipitação de Minas Gerais.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAMOWITZ, M.; STEGUN, I. A. **Handbook of Mathematical Functions With Formulas, Graphs, and Mathematical Tables**. New York: National Bureau of Standards, 1972. 1046 p.

ABREU, M. L. Climatologia da Estação Chuvosa de Minas Gerais: de Nimer (1977) à Zona de Convergência do Atlântico Sul. **Revista Geonomos**, Belo Horizonte, MG, v. 6, p. 9-16, 1998.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, 22:711-728, 2013.

ALTAMIRANO, R. J. A. **Climatologia dos eventos chuvosos e secos severos, extremos e muito extremos usando o Índice de Precipitação Normalizada (SPI) para as regiões centro-oeste, sudeste e sul do Brasil**. 2010. 168 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010.

ALVES, L. M. et al. Início da Estação Chuvosa na Região Sudeste do Brasil: Parte 1 - Estudos Observacionais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 20, n. 3, p. 385-394, 2005.

AMANAJÁS, J. C. **Interação entre padrões pluviométricos na Amazônia oriental e Temperatura da Superfície do Mar dos oceanos Pacífico e Atlântico tropicais**. 2011. 64 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.

ANDRADE, K. M. **Climatologia e comportamento dos sistemas frontais sobre a América do Sul**. 2005. 187 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005.

ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T. Enso-related Rainfall Anomalies in South America and Associated Circulation Features during Warm and Cold Pacific Decadal Oscillation Regimes. **International Journal of Climatology**, v. 25, p. 2017-2030, 2005.

AQUINO, R. F. et al. Variabilidade espacial da erosividade da chuva na região Sul de Minas Gerais, Brasil. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 36, n. 5, p. 533-542, 2012.

ARAÚJO, W. S. **Estudo da variabilidade hidrometeorológica no nordeste do Brasil utilizando análise multivariada e espectral**. 2013. 198 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2013.

ASSIS, W. L.; PARIZZI, M. G.; RIBEIRO, S. M. Identificação dos sistemas atmosféricos responsáveis por inundações e deslizamentos no município de Belo Horizonte: análise dos períodos chuvosos de 2011-2012 e 2012-2013. **Revista Geografias**, Belo Horizonte, v. 9, n. 2, p. 38-55, 2013.

ÁVILLA, L. F. et al. Mapeamento da precipitação mínima provável para o sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, (Suplemento), p. 906-915, 2009.

BARBOSA, A. C. B.; BLITZKOW, D. **Ondaletas: Histórico e Aplicação**. São Paulo, 2008. 39 p. (Apostila).

BARNETT, T. P. The interaction of multiple time scales in the tropical climate system. **Journal of Climate**, v. 4, n. 3, p. 269-285, 1991.

BATISTA JÚNIOR, W. **Identificação e avaliação dos fatores de ocorrência de secas na bacia do rio Guandu - Espírito Santo**. 2012. 146 p. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

BEZERRA, F. A. Análise Fatorial. In: CORRAR, L. J. et al. (Org.). **Análise Multivariada**. São Paulo: Atlas, 2007. cap. 2.

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**, São José dos Campos, v. 26, n. 1, p. 137-148, 2011.

BLANCO, C. M. R. **Processos de intensificação orográfica da precipitação na Serra do Mar em São Paulo**. 1999. 158 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

BOLZAN, M. J. A. Análise da transformada de 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. 8, n. 4, p. 563-567, 2006.

BOTELHO, V. A. V. A.; MORAIS, A. R. Estimativas dos parâmetros da distribuição Gama de dados pluviométricos do município de Lavras, estado de Minas Gerais. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v. 23, n. 3, p. 697-706, 1999.

BOUROCHE, J-M; SAPORTA, G. **Análise de Dados**. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1982. 117 p. Tradução Marcus Panchel.

BRAGA, C. C. et al. The Role of the Tropical Atlantic and Pacific Oceans SST in Modulating the Rainfall of Paraíba State, Brazil. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 32, n. 1, p. 97-107, 2014.

CAÑÓN, J.; GONZÁLEZ, J.; VALDÉS, J. Precipitation in the Colorado River Basin and its low frequency associations with PDO and ENSO signals. **Journal of Hydrology**, v. 333, p. 252-264, 2007.

CARDOSO NETA, L.; GOMES, R. G. Precipitation on the surface and cloud-to-ground lightning during a storm in southeastern Brazil, 2013, Belo Horizonte. In: **Anais... XII INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LIGHTNING PROTECTION**, 2013.

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

CARVALHO, L. M. V. et al. The South Atlantic Convergence Zone: intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. **Journal of Climate**, v. 17, p. 88-108, 2004.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C. Zona de Convergência do Atlântico Sul. In: CAVALCANTI, I. F. A. et al. (Org.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. cap. 6.

CASTRO, A. C. **Padrões de variabilidade intrasazonal sobre a cidade de São Paulo e o oceano Atlântico sul adjacente utilizando a Análise de Ondeleta, no período de 1982 a 2005**. 2007. 91 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

CATALDI, M. et al. Estudo da influência das anomalias da TSM do Atlântico Sul extratropical na região da Confluência Brasil-Malvinas no regime hidrometeorológico de verão do Sul e Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de meteorologia**, São José dos Campos, v. 25, n. 4, p. 513-524, 2010.

CAVALCANTI, I. F. A. Large scale and synoptic features associated with extreme precipitation over South America: A review and case studies for the first decade of the 21st century. **Atmospheric Research**, v. 118, p. 27-40, 2012.

CAVALCANTI, I. F. A.; KOUSKY, V. E. Frentes Frias sobre o Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A. et al. (Org.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. cap. 9.

CEBALLOS, J. C.; BRAGA, C. C. Missing data assessment in a solarimetric network. **International Journal of Climatology**, v. 15, p. 325-340, 1995.

CERQUEIRA, H. D. V. **Modulação da temperatura da superfície do mar do Pacífico e Atlântico Tropical na precipitação no estado da Paraíba**. 2010. 112 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.

CHEN, Y. D. et al. Precipitation variability (1956-2002) in the Dongjiang River (Zhujiang River basin, China) and associated large-scale circulation. **Quaternary International**, v. 244, p. 130-137, 2011.

COSTA, C. M. R. et al. (Org.). **Biodiversidade em Minas Gerais - um Atlas para sua Conservação**. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 1998.

CPC/NCEP/NOAA.

Disponível

em: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_mjo_index/pentad.shtml>.

Acesso em: 21 jan. 2016.

CPTEC/INPE. **Infoclima**, São José dos Campos, ano 16, n. 1, 26 jan. 2009. Disponível em: <<http://infoclima.cptec.inpe.br/>>. Acesso em 27 jan. 2016.

CUPOLILLO, F. **Período de estiagem durante a estação chuvosa no estado de Minas Gerais: espacialização e aspectos dinâmicos**. 1997. 148 p. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

ECHER, M. P. S. et al. Wavelet analysis of a centennial (1895–1994) southern Brazil rainfall series (Pelotas, 31°46'19"S 52°20'33"W). **Climatic Change**, v. 87, p. 489-497, 2008.

EDWARDS, D. C.; MCKEE, T. B. **Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales**. Fort Collins: Colorado State University, 1997. 174 p.

ELLOUZE, M.; AZRI, C.; ABIDA, H. Spatial variability of monthly and annual rainfall data over Southern Tunisia. **Atmospheric Research**, v. 93, p. 832-839, 2009.

ESCOBAR, G. Jatos de Altos Níveis. In: CAVALCANTI, I. F. A. et al. (Org.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. cap. 8.

ESCOBAR, G. C. J. Padrões de circulação em superfície e em 500 hPa na América do Sul e eventos de anomalias positivas de precipitação no estado de Minas Gerais durante o mês de dezembro de 2011. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 29, n. 1, p. 105-124, 2014.

ESCOBAR, G. C. J.; SELUCHI, M. E. Classificação sinótica dos campos de pressão atmosférica na América do Sul e sua relação com as Baixas do Chaco e do Noroeste Argentino. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 27, n. 3, p. 365-375, 2012.

ESTEBAN, P.; MARTIN-VIDE, J.; MASES, M. Daily atmospheric circulation catalogue for western Europe using multivariate techniques. **International Journal of Climatology**, v. 26, p. 1501-1515, 2006.

- EVERITT, B. **Cluster Analysis**. Heinemann Educational Books, 3. ed. London, 1993. 170 p.
- FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, S. et al. Connection between autumn Sea Surface Temperature and winter precipitation in the Iberian Peninsula. **Global and Planetary Change**, v. 121, p. 9-18, 2014.
- FERREIRA, N. J.; SANCHES, M.; SILVA DIAS, M. A. F. Composição da Zona de Convergência do Atlântico Sul em períodos de El Niño e La Niña. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 19, n. 1, p. 89-98, 2004.
- FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A. Visão além do alcance: uma introdução à análise fatorial. **OPINIÃO PÚBLICA**, Campinas, v. 16, n. 1, p. 160-185, 2010.
- FRAGOSO, M.; GOMES, P. T. Classification of daily abundant rainfall patterns and associated large-scale atmospheric circulation types in Southern Portugal. **International Journal of Climatology**, v. 28, p. 537-544, 2008.
- GÉROLAMO, R. O. P.; KAYANO, M. T. Variações do ciclo anual da temperatura da superfície do mar no pacífico tropical. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 25, n. 2, p. 237-245, 2010.
- GOCIC, M. TRAJKOVIC, S. Analysis of precipitation and drought data in Serbia over the period 1980-2010. **Journal of Hydrology**, v. 494, p. 32-42, 2013.
- GREEN, M. C.; FLOCCHINI, R. G.; MYRUP, L. O. Use of temporal principal component analysis to determine seasonal periods. **Journal of Applied Meteorology**, v. 32, p. 986-995, 1993.
- GREGÓRIO, M. A. **Monitoramento da Oscilação Madden Julian utilizando o método RMM**. 82 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2015.
- GRIMM, A. M.; FERRAZ, S. E. T.; GOMES, J. Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. **Journal of Climate**, v. 11, n. 11, p. 2863-2880, 1998.

GRIMM, A. M. Interannual climate variability in South America: impacts on seasonal precipitation, extreme events, and possible effects of climate change. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 25, n. 4, p. 537-554, 2011.

GRIMM, A. El Niño, novamente! **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 30, n. 4, p. 351-357, 2015.

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

GUEDES, R. L. et al. Trajetórias dos sistemas convectivos sobre o continente americano. Belo Horizonte. In: **Anais...** VIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, II Congresso Latino-Ibérico de Meteorologia, v. 2, p.77-80, 1994.

GUEDES, R. L. et al. Série temporal de precipitação mensal de Fortaleza, Brasil: Comparação entre observações e dados de reanálise do NCEP/NCAR. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 20, n. 1, p. 83-92, 2005.

GUIMARÃES, et al. Áreas homogêneas de precipitação no estado de Minas Gerais. **Anais...** III Simpósio Internacional de Climatologia, 2009.

HAYES, M. J. et al. Monitoring the 1996 Drought Using the Standardized Precipitation Index. **Bulletin of the American Meteorological Society**, Boston, v. 80, n. 3, p. 429-438, 1999.

HENDON, H. H.; LIEBMANN, B. A Composite Study of Onset of the Australian Summer Monsoon. **Journal of the Atmospheric Sciences**, 47:2227–2240, 1990.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapas de Biomas e de Vegetação**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 11 fev. 2016.

INMET. Boletim Agroclimatológico Mensal. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=agrometeorologia/boletinsAgroclimatologicos>. Acesso em: 27 jan. 2016.

KAYANO, M. T.; KOUSKY, V. E. Sobre o monitoramento das oscilações intrasazonais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 7, n. 2, p. 593-602, 1992.

KAYANO, M. T.; BLAIN, G. C. Análisis de ondeletas de series mensuales de precipitación, temperaturas máximas y mínimas mensuales en Campinas, 2007, Maracay. In: **Anais... IV CONGRESO VENEZOLANO DE AGROMETEOROLOGIA**, 2007.

LABAT, D. Recent advances in wavelet analyses: Part 1. A review of concepts. **Journal of Hydrology**, v. 314, p. 275-288, 2005.

LAU, K.-M.; SHEU, P. Annual cycle QBO and Southern oscillation in global precipitation. **Journal of Geophysical Research: series D**, v. 93, n. 9, p. 10975-10988, 1988.

LIMA, K. C.; SATYAMURTI, P.; FERNÁNDEZ, J. P. R. Large-scale atmospheric conditions associated with heavy rainfall episodes in Southeast Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 101, p. 121-135, 2009.

LIMA, K. C.; FERNÁNDEZ, J. P. R. A influência das anomalias de temperatura da superfície do mar e da topografia em dois eventos de precipitação intensa ocorridos no sudeste do Brasil. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, Espírito Santo do Pinhal, v. 8, n. 1, p. 309-319, 2011.

MADDEN, R. A.; JULIAN, P. R. Detection of a 40-50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 28, n. 5, p. 702-708, 1971.

MARQUES, J. M.; MENDES MARQUES, M. A. As componentes principais no descarte de variáveis em um modelo de regressão múltipla. **Revista FAE**, Curitiba, v. 8, n. 1, p. 93-101, jan./jun. 2005.

MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY, 8, 1993. Anaheim, California. **American Meteorological Society**, 1993, p. 179-184.

MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. Drought monitoring with multiple time scales. In: CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY, 9, 1995. Dallas, Texas. **American Meteorological Society**, 1995, p. 233-236.

MELO, A. B. C.; COELHO, C. A. S. **Infoclima**, São José dos Campos, ano 18, n. 2, 25 abr. 2011. Disponível em: < <http://infoclima.cptec.inpe.br/>>. Acesso em 27 jan. 2016.

MELO, A. B. C.; COELHO, C. A. S. **Infoclima**, São José dos Campos, ano 18, n. 4, 25 abr. 2011. Disponível em: < <http://infoclima.cptec.inpe.br/>>. Acesso em 27 jan. 2016.

MELLO, C. R. et al. Erosividade mensal e anual no estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 4, p. 537-545, 2007.

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

MINAS GERAIS (estado). **Portal do Governo de Minas Gerais**. Disponível em: <<http://www.mg.gov.br/governomg/portal/c/governomg/conheca-minas>>. Acesso em: 11 fev. 2014.

MINUZZI, R. B. et al. El Niño: ocorrência e duração dos veranicos do estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 3, p. 364-371, 2005.

MINUZZI, R. B. et al. Climatologia do comportamento do período chuvoso da Região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 22, n. 3, p. 338-344, 2007.

MORETTIN, P. A. **Ondas e Ondaletas: Da Análise de Fourier à Análise de Ondaletas**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1999.

MOURA, C. R. W.; ESCOBAR, G. C. J.; ANDRADE, K. M. Padrões de circulação em superfície e altitude associados a eventos de chuva intensa na região metropolitana do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 28, n. 3, p. 267-280, 2013.

NAKKEN, M. Wavelet analysis of rainfall-runoff variability isolating climatic from anthropogenic patterns. **Environmental Modelling e Software**, v. 14, p. 283-295, 1999.

OBREGON, G. O.; SILVA DIAS, P. L.; FERREIRA, N. J. Variabilidade intrassazonal da vortacidade nas vizinhanças da América do Sul no verão de 1979/1980. Salvador. In: **Anais...** VI Congresso Brasileiro de Meteorologia, p. 264-268, 1990.

NOBRE, D. A. C. et al. Norte de Minas Gerais: o cluster para produção de sementes. **Informativo ABRATES**, v. 22, n. 2, 2012.

NORTH, G. R. et al. Sampling Errors in the Estimation of Empirical Orthogonal Functions. **American Meteorological Society**, 1982, p. 699-706.

OLIVEIRA, J. V. **A Oscilação Madden-Julian na Amazônia Oriental: variáveis superficiais**. 112 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Belém, 2012.

OLIVEIRA, J. V.; VITORINO, M. I.; SÁ, L. D. A. Implication of Madden-Julian Oscillation phase on the Eastern Amazon climate. **Atmospheric Science Letters**, v. 16, p. 318-323, 2015.

OMONDI, P. et al. Decadal rainfall variability modes in observed rainfall records over East Africa and their relations to historical sea surface temperature changes. **Journal of Hydrology**, v. 464-465, p. 140-156, 2012.

PALLOTA, M.; GAN, M. A. Caracterização do Mês de Janeiro de 2010 em Relação a Não Ocorrência de ZCAS: Uma Comparação com a Climatologia, 2011, João Pessoa. **Anais...** IV Simpósio Internacional de Climatologia, 2011.

PANDŽIĆ, K. Principal component analysis of precipitation in the Adriatic-Pannonian area of Yugoslavia. **International Journal of Climatology**, v. 8, p. 357-370, 1988.

POHLMANN, M. C. Análise de Conglomerados. In: CORRAR, L. J. et al. (Org.). **Análise Multivariada**. São Paulo: Atlas, 2007. cap. 6.

PRATES, J. E.; SILVA DIAS, M. A. F. Efeito da topografia na distribuição espacial da chuva no estado de Minas Gerais no verão de 1984/1985, 1994, Belo Horizonte. **Anais ...** VIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, v. 2, p. 187-189, 1994.

PRATES, J. E.; SILVA DIAS, M. A. F. Assimilação de dados em um modelo regional em área com topografia complexa: uma análise de desempenho, 1996, Campos do Jordão. **Anais ... IX Congresso Brasileiro de Meteorologia**, v. 2, p. 1400-1403, 1996.

SILVA, L. J.; REBOITA, M. S. Climatologia de Sistemas Frontais na cidade de Itajubá – MG. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, TECNOLÓGICA E DE INOVAÇÃO, 2011, Itajubá. **Anais...** Universidade Federal de Itajubá, 2011. p. 82.

QUIROZ, R. et al. Improving daily rainfall estimation from NDVI using a wavelet transform. **Environmental Modelling and Software**, v. 26, p. 201-209, 2011.

RAO, D. U. M.; REDDY, T. S.; REDDY, G. R. Atmospheric radar signal processing using principal component analysis. **Digital Signal Processing**, v. 32, p. 79-84, 2014.

REBOITA, M. S. et al. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010.

RICHMAN, M. B. Rotation of principal components. **Journal of Climatology**, v. 6, p. 293-335, 1986.

RICHMAN, M. B.; ADRIANTO, I. Classification and regionalization through kernel principal component analysis. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 35, p. 316-328, 2010.

SÁ, L. D. A. et al. Ondeleta de Morlet aplicada ao estudo da variabilidade do nível do rio Paraguai em Ladário, MS. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, número especial, p. 1775-1785, 1998.

SANSIGOLO, C. A. Análise Comparativa do Desempenho dos Índices de Seca de Palmer (PDSI) e da Precipitação Normalizada (SPI) em Piracicaba, SP (1917-2001). **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 19, n. 3, p. 237-242, 2004.

SANTOS, M. S. **Caracterização espaço-temporal de secas utilizando Ondaletas e o Standardized Precipitation Index: uma aplicação para a parcela mineira da Bacia do rio São Francisco**. 2011. 163 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

SANTOS, S. R. Q. **Determinação de regiões homogêneas do índice de precipitação normalizada (SPI) no estado do Pará por meio da análise multivariada.** 2013. 97 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2013.

SANTOS, L. F.; GARCIA, S. R. Início e Fim da Estação Chuvosa no estado de Minas Gerais: Comparação de duas Metodologias Diferentes. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 31, n. 1, 92-104, 2016.

SILVA, A. E. **Variabilidade da circulação e transporte de umidade no regime de monção da América do Sul.** 2009. 159 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

SILVA, A. M. et al. Erosividade da chuva e erodibilidade de Cambissolo e Latossolo na região de Lavras, Sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1811-1820, 2009.

SILVA, E. S. **Variabilidade da precipitação pluviométrica nas regiões sudeste e sul do Brasil.** 187 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2006.

SILVA, D. F. et al. Influência da variabilidade climática e da associação de fenômenos climáticos sobre sub-bacias do rio São Francisco. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 19, p. 46-56, 2011.

SILVA, L. J.; REBOITA, M. S. Climatologia de Sistemas Frontais na cidade de Itajubá – MG. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, TECNOLÓGICA E DE INOVAÇÃO, 2011, Itajubá. **Anais...** Universidade Federal de Itajubá, 2011. p. 82.

SILVA DIAS, M. A. F. Sistemas de mesoescala e previsão de tempo a curto prazo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 2, p. 133-150, 1987.

SILVA DIAS, M. A. F.; ROZANTE, J. R.; MACHADO, L. A. Complexos Convectivos de Mesoescala na América do Sul. In: CAVALCANTI, I. F. A. et al. (Org.). **Tempo e Clima no Brasil.** São Paulo: Oficina de Textos, 2009. cap. 12.

SIMIELLI, M. E. **Geoatlas.** São Paulo: Editora Ática, 1991.

SOUZA, M. J. H. et al. Disponibilidade hídrica do solo e produtividade do eucalipto em três regiões da Bacia do Rio Doce. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 399-410, 2006.

STATHIS, D.; MYRONIDIS, D. Principal component analysis of precipitation in Thessaly Region (Central Greece). **Global NEST Journal**, v. 11, n. 4, p. 467-476, 2009.

STEVENS, K. A.; RUSCHER, P. H. Large scale climate oscillations and mesoscale surface meteorological variability in the Apalachicola-Chattahoochee-Flint River Basin. **Journal of Hydrology**, v. 517, p. 700-714, 2014.

SUN, X. et al. A general regional frequency analysis framework for quantifying local-scale climate effects: A case study of ENSO effects on Southeast Queensland rainfall. **Journal of Hydrology**, v. 512, p. 53-68, 2014.

TAKEMI, T. Convection and precipitation under various stability and shear conditions: Squall lines in tropical versus midlatitude environment. **Atmospheric Research**, v. 142, p. 111-123, 2014.

TEIXEIRA, C. F. A. et al. Intensidade da seca utilizando índices de precipitação. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 8, n. 3, 2013.

TONIETTO, J. et al. Caracterização macroclimática e potencial enológico de diferentes regiões com vocação vitícola de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 27, n. 234, p. 32-55, 2006.

TORRENCE, C.; COMPO, G. P. A Practical Guide to Wavelet Analysis. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 79, p. 61-78, 1998.

VASCONCELLOS, F. C.; CAVALCANTI, I. F. A. Extreme precipitation over Southeastern Brazil in the austral summer and relations with the Southern Hemisphere annular mode. **Atmospheric Science Letters**, v. 11, p. 21-26, 2010a.

VASCONCELLOS, F. C.; CAVALCANTI, I. F. A. Uma avaliação das previsões do modelo regional eta em alta resolução para dois casos de chuva intensa ocorridos na região da Serra do Mar. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, p. 287-294, 2010b.

VIANELLO, R. L.; MAIA, L. F. P. G. Estudo preliminar da climatologia dinâmica do estado de Minas Gerais. **Revista Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 138, p. 6-8, 1986.

VIEIRA, J. P.G. et al. Estudo da precipitação mensal durante a estação chuvosa em Diamantina, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 7, p. 762-767, 2010.

VIOLA, M. R. et al. Métodos de interpolação espacial para o mapeamento da precipitação pluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 9, p. 970-978, 2010.

VITORINO, M. I. **Análise das oscilações intrasazonais sobre a América do Sul e oceanos adjacentes utilizando a análise de ondeletas**. 2002. 433 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2002.

VITORINO, M. I.; SILVA DIAS, P. L.; FERREIRA, N. J. Observational study of the seasonality of the submonthly and intraseasonal signal over the tropics. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 93, p. 17-35, 2006.

VENTRICE, M. J. et al. A Modified Multivariate Madden–Julian Oscillation Index Using Velocity Potential. **American Meteorological Society**, v. 141, p. 4197-4210, 2013.

WAYLEN, P.; OWUSU, K. Changes in expectations and extremes in the rainfall climatology of Accra, Ghana, 1895-2005. **Applied Geography**, v. 52, p. 99-109, 2014.

WENG, H.; LAU, K.-M. Wavelet, Period Doubling, and Time-Frequency Localization with Application to Organization of Convection over the Tropical Western Pacific. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 51, n. 17, p. 2523-2541, 1994.

WILKS, D. S. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences**. 2. ed. London, Academic Press, 2006. 649p.

YAN-JUN, L. et al. Analysis of Drought Evolvement Characteristics Based on Standardized Precipitation Index in the Huaihe River Basin. **Procedia Engineering**, v. 28, p. 434-437, 2012.

ANEXO

ANEXO A. Ocorrência de eventos de El Niño (vermelho) e La Niña (azul) no período 1977-2012

Ano	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1977	0.7	0.6	0.4	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6	0.8	0.8
1978	0.7	0.4	0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.1	0
1979	0	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.5	0.6
1980	0.6	0.5	0.3	0.4	0.5	0.5	0.3	0.2	0	0.1	0.1	0
1981	-0.2	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	0
1982	0	0.1	0.2	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.5	1.9	2.1	2.1
1983	2.1	1.8	1.5	1.2	1.0	0.7	0.3	0	-0.3	-0.6	-0.8	-0.8
1984	-0.5	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.3	-0.6	-0.9	-1.1
1985	-0.9	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.3
1986	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0	0.2	0.4	0.7	0.9	1.0	1.1
1987	1.1	1.2	1.1	1.0	0.9	1.1	1.4	1.6	1.6	1.4	1.2	1.1
1988	0.8	0.5	0.1	-0.3	-0.8	-1.2	-1.2	-1.1	-1.2	-1.4	-1.7	-1.8
1989	-1.6	-1.4	-1.1	-0.9	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1
1990	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4
1991	0.4	0.3	0.2	0.2	0.4	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	1.2	1.4
1992	1.6	1.5	1.4	1.2	1.0	0.8	0.5	0.2	0	-0.1	-0.1	0
1993	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	0.6	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
1994	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.9	1.0
1995	0.9	0.7	0.5	0.3	0.2	0	-0.2	-0.5	-0.7	-0.9	-1.0	-0.9
1996	-0.9	-0.7	-0.6	-0.4	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.5
1997	-0.5	-0.4	-0.2	0.1	0.6	1.0	1.4	1.7	2.0	2.2	2.3	2.3
1998	2.1	1.8	1.4	1.0	0.5	-0.1	-0.7	-1.0	-1.2	-1.2	-1.3	-1.4
1999	-1.4	-1.2	-1.0	-0.9	-0.9	-1.0	-1.0	-1.0	-1.1	-1.2	-1.4	-1.6
2000	-1.6	-1.4	-1.1	-0.9	-0.7	-0.7	-0.6	-0.5	-0.6	-0.7	-0.8	-0.8
2001	-0.7	-0.6	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3
2002	-0.2	-0.1	0.1	0.2	0.4	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.3	1.1
2003	0.9	0.6	0.4	0	-0.2	-0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4
2004	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
2005	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.2	0.1	0	0	-0.1	-0.4	-0.7
2006	-0.7	-0.6	-0.4	-0.2	0.0	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8	0.9	1.0
2007	0.7	0.3	0	-0.1	-0.2	-0.2	-0.3	-0.6	-0.8	-1.1	-1.2	-1.3
2008	-1.4	-1.3	-1.1	-0.9	-0.7	-0.5	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3	-0.5	-0.7
2009	-0.8	-0.7	-0.4	-0.1	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7	1.0	1.2	1.3
2010	1.3	1.1	0.8	0.5	0	-0.4	-0.8	-1.1	-1.3	-1.4	-1.3	-1.4
2011	-1.3	-1.1	-0.8	-0.6	-0.3	-0.2	-0.3	-0.5	-0.7	-0.9	-0.9	-0.8
2012	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.1	0.1	0.3	0.4	0.4	0.2	-0.2

Fonte: (CPC/NCEP/NOAA, 2016)